



Cadavre de Noctule de Leisler (C. LOUVET)



Site éolien. L. JUNG ©



Cadavre de Pipistrelle commune (C. LOUVET)

## Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions (Etude bibliographique)

**Céline Heitz & Lise JUNG**

**août 2016**

**Complété mai 2017**



Parc éolien de Puech Cornet. L. JUNG ©

## Réalisation:

---



### ECOSPHERE :

24, rue Thomann  
67000 STRASBOURG  
Tél. : 03.88.45.86.76  
E-mail : [agence.nord-est@ecosphere.fr](mailto:agence.nord-est@ecosphere.fr)

#### Recherches bibliographiques et rédaction

Assistance, traductions allemandes et commentaires

Coordination du dossier

Version du document

Cécile Heitz (stage Master II, université de Metz) en 2016

Lise Jung (stage ingénieur - Agro-sup Dijon) en 2014

Cécile Arnold, Roberto d'Agostino, Guillaume Marchais, Sébastien Roué, Loya Schoeffel, Marc Thauront

Marc Thauront

Aout 2016 complété mai 2017 (bibliographie supplémentaire non traitée dans le rapport)

## PROJET :

---

Les enjeux liés au développement éolien et à la mortalité des chauves-souris dans les parcs installés ont pris beaucoup d'ampleur ces dernières années. Les administrations, les professionnels et les associations rivalisent d'idées pour étudier ou gérer la question. Néanmoins aucune étude bibliographique un tant soit peu exhaustive n'avait été produite jusqu'à présent en France. C'est pourquoi Ecosphère a décidé de mener à bien, sur fonds propres, un travail de synthèse sur la problématique, ses causes et les solutions actuellement connues.

## LIMITES DU RAPPORT:

---

De nombreux exemples cités dans le rapport peuvent n'être valides que dans le contexte environnemental ou géographique où ils ont été étudiés. Certaines données sont aussi un peu anciennes avec un manque d'information sur les caractéristiques des éoliennes en place. Le parti a donc été pris de ne pas toujours tirer de recommandations des exemples trouvés.

Enfin les données bibliographiques analysées s'arrêtent à mi-2016. Une bibliographie spécifique complémentaire a été ajoutée pour la période 2016-2017 (cf. p 104) mais ces documents n'ont pas été analysés. Plusieurs livres et rapports de synthèse sont ainsi parus.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, hors du cadre des besoins de la présente étude, et faite sans le consentement de l'entreprise auteur est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L.122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal.

# Sommaire

## **1 - problématique et enjeux .....6**

- 1.1 - Les chiroptères et l'énergie éolienne ..... 6**
- 1.2 - Focus sur l'énergie éolienne en France et dans le monde ..... 6**
  - 1.2.1 - Politiques de soutien à l'énergie éolienne ..... 6
  - 1.2.3 - Données chiffrées sur la production ..... 8
- 1.3 - Enjeux et besoins : quelle cohabitation ? ..... 10**

## **2 - Données sur la mortalité des chiroptères au droit des parcs éoliens .....12**

- 2.1 - Les causes mortalité des chiroptères au sein des parcs éoliens ... 12**
  - 2.1.1 - Collisions et barotraumatisme .....12
  - 2.1.2 - Différentes causes de mortalité .....12
  - 2.1.3 - Les éoliennes attirent-elles les chauves-souris ? .....13
  - 2.1.4 - Facteurs d'attraction directs .....15
    - 2.1.4.1 - Attraction par le balisage lumineux des éoliennes ..... 15
    - 2.1.4.2 - Une perception erronée des éoliennes ..... 16
  - 2.1.5 - Facteurs d'attraction indirects .....16
    - 2.1.5.2 - Les éoliennes comme terrain de chasse ..... 17
    - 2.1.5.3 - Concentrations d'insectes en altitude ..... 17
    - 2.1.5.4 - La couleur du mat ..... 18
- 2.2 - Informations chiffrées sur les données de mortalité ..... 18**
  - 2.2.1 - Données globales sur la mortalité .....18
  - 2.2.2 - La mortalité en fonction des espèces .....20
  - 2.2.3 - La mortalité en fonction des milieux .....21
- 2.3 - Impacts de la mortalité sur les populations ..... 23**

## **3 - Facteurs de risque et leurs variabilités .....25**

- 3.1 - Variabilité des risques selon la hauteur de vol des espèces ..... 25**
  - 3.1.1 - Différences entre l'activité au sol et en altitude .....25
  - 3.1.2 - Variations selon les périodes .....26
  - 3.1.3 - Variation selon les espèces et sensibilité à l'éolien .....27
    - 3.1.3.1 - Espèces fréquemment présentes en altitude ..... 28
    - 3.1.3.2 - Espèces occasionnellement présentes en altitude ..... 30
    - 3.1.3.3 - Espèces rarement présentes en altitude ..... 32
    - 3.1.3.4 - Tableau de synthèse sur la sensibilité des espèces à l'éolien ..... 32
- 3.2 - Facteurs temporels ..... 33**
  - 3.2.1 - Fluctuation selon l'année et la période de l'année .....33
  - 3.2.2 - Fluctuation selon l'heure de la nuit .....36

<b>3.3 -</b>	<b>Les facteurs météorologiques .....</b>	<b>38</b>
3.3.1 -	Les précipitations et la température .....	38
3.3.2 -	Le vent .....	39
<b>3.4 -</b>	<b>Variation du risque de collision en fonction du type d'éoliennes</b>	<b>43</b>
3.4.1 -	Base de données techniques sur les éoliennes .....	43
3.4.2 -	Analyse des caractéristiques des éoliennes pouvant représenter un risque pour les chiroptères.....	44
3.4.2.1 -	La hauteur balayée par les pales et la garde au sol.....	44
3.4.2.2 -	Vitesse en bout de pale et surface balayée par les pales .....	46
3.4.3 -	Le classement des éoliennes en fonction de leur dangerosité vis-à-vis des chiroptères.....	47
3.4.4 -	La mortalité sur les petites éoliennes .....	49
<b>4 -</b>	<b>Techniques de prévention et de réduction des risques .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 -</b>	<b>Les mesures préventives en pré-installation .....</b>	<b>50</b>
4.1.1 -	Les mesures d'évitement .....	50
4.1.2 -	Le choix des caractéristiques de l'éolienne.....	50
<b>4.2 -</b>	<b>Les mesures de réduction des risques après l'installation des éoliennes .....</b>	<b>51</b>
4.2.1 -	Les mesures de régulation simples .....	51
4.2.1.1 -	Mesure non contraignante : la mise en drapeau des pales par vent faible .....	51
4.2.1.2 -	Mesure contraignante simple : l'augmentation de la cut-in-speed définie par le fabricant.....	52
4.2.2 -	Les mesures contraignantes par anticipation (prédiction) .....	53
4.2.2.1 -	Fixed Environmental Stop Programm (FESP) .....	54
4.2.2.2 -	Chirotech© .....	54
4.2.2.3 -	ID Stat® .....	54
4.2.3 -	Arrêt programmé par des mesures en direct (réaction).....	55
4.2.3.1 -	ReBAT® et TIMR <sup>SM</sup> .....	55
4.2.3.2 -	DTBat® .....	56
4.2.3.3 -	ProBat (Sens of Life) .....	58
4.2.3.4 -	SafeWind .....	59
4.2.4 -	Un programme intégré : RENEBAT .....	60
4.2.4.1 -	Modélisation du rapport entre l'activité en hauteur et le nombre de victimes retrouvées .....	60
4.2.4.2 -	Algorithme de fonctionnement respectueux des chiroptères .....	62
4.2.4.4 -	Probat (WindBat) .....	65
4.2.4.5 -	Fleximaus® .....	65
4.2.5 -	Prendre en compte les pertes de rendement .....	66
4.2.6 -	Les méthodes de dissuasion .....	68
4.2.6.1 -	Dissuasion acoustique .....	68
4.2.6.2 -	Dissuasion visuelle .....	69
4.2.6.3 -	Dissuasion par émission de champ électromagnétique .....	70
<b>5 -</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>72</b>
<b>6 -</b>	<b>Bibliographie par numéro .....</b>	<b>73</b>
<b>7 -</b>	<b>Bibliographie alphabétique .....</b>	<b>88</b>

8 -	Bibliographie non traitée .....	102
9 -	Annexes .....	103
9.1 -	Annexe 1 : Protocoles de suivi direct de la mortalité .....	103
9.2 -	Annexe 2: le protocole national et ses limites .....	116
9.3 -	Annexe 3 : Mortalité en Europe - échantillon d'études .....	123
9.4 -	Annexe 4 : Nombre de cas de mortalité en Europe .....	131
9.5 -	Annexe 5 : base de données techniques sur les éoliennes (échantillon) .....	133
9.6 -	Annexe 6 : Algorithme RENEBAT. ....	141

Figure 1: Carte des vitesses du vent à 50 mètres au-dessus du sol en fonction de la topographie (en km/h).....	7
Figure 2: Evolution de la puissance éolienne cumulée au niveau mondial entre 1997 et 2015. ....	8
Figure 3 : Evolution de la puissance éolienne onshore installée en France métropolitaine entre 2000 et 2015 et prévision pour l'atteinte de l'objectif d'ici 2030. ....	9
Figure 4 : Puissance éolienne raccordée mi-2015. ....	10
Figure 5 : Enchaînement d'images thermiques infrarouges filmant la collision d'une chauve-souris sur la pale d'une éolienne. ....	13
Figure 6 : Exemple d'une trajectoire de chauves-souris aux abords d'une éolienne. ....	14
Figure 7 : Comparaison de la densité d'activité (ordonnée) avec la distance à la nacelle (abscisse).....	14
Figure 8 : Positionnement d'une caméra infrarouge lors de l'étude.....	15
Figure 9 : Répartition des données de mortalité due aux éoliennes (n=5.833) en Europe (19 pays concernés) selon les groupe d'espèces de chauves-souris.....	20
Figure 10 : Répartition des données de mortalité due aux éoliennes en France à gauche (n=973) et en Allemagne à droite (n=2750) selon les groupes d'espèces de chauves-souris.....	20
Figure 11 : Carte de la distribution et du statut de conservation de <i>Nyctalus noctula</i> en Europe de l'Ouest selon le rapportage 2007-2012 des Etats membres de l'Union européenne au titre de la directive Habitats.....	21
Figure 12 : Mortalités constatées par éolienne selon les milieux. ....	22
Figure 13 : Mortalité des chiroptères selon la saison en Allemagne <sup>(286)</sup> . ....	26
Figure 14 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure du coucher du soleil .....	27
Figure 15 : Nombre de contacts de pipistrelles au sol (bleu) et en altitude (rouge) au niveau d'une éolienne en fonction de l'heure après le coucher du soleil (nuit du 7 au 8 septembre 2014).....	27
Figure 16 : Hauteurs de vol des différentes espèces dans le Nord de la France (hors pipistrelle commune) .....	28
Figure 17 : Nombre de contact au niveau de nacelles en Allemagne.....	29
Figure 18 : Evolution mensuelle de la mortalité de chauves-souris sur le site de Bouin .....	33
Figure 19 : évolution des chronologies de mortalité observées en 2008 et 2009 sur le site de Castelnaud (12).....	34

Figure 20 : activité de la Pipistrelle commune sur plusieurs sites français. (Flèche rouge = pic d'activité)	34
Figure 21 : Comparaison de l'activité observée au niveau d'une éolienne sur le site de Castelnaud en 2010 et 2011.	35
Figure 22 : Phénologie des chauves-souris retrouvées mortes lors de RENEBAT I	35
Figure 23 : Activité de plusieurs espèces de chiroptères en fonction de l'écoulement du temps au cours de la nuit.	36
Figure 24 : Distribution des contacts enregistrés en nacelle sur le parc de Lomont en fonction de l'heure après le coucher du soleil du 7 août au 4 novembre 2014.	36
Figure 25 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure de coucher du soleil et de la saison.	36
Figure 26 : Activité acoustique de la Pipistrelle commune et de la Pipistrelle de Nathusius mesurée tout au long de la nuit sur deux sites.	37
Figure 27 : Activité acoustique de quelques espèces de chiroptères en fonction de l'écoulement du temps au cours de la nuit.	37
Figure 28 : Activité de la pipistrelle de Nathusius en fonction de la température mesurée sur deux sites.	38
Figure 29 : Activités des sérotines et noctules en fonction de la température mesurées sur deux sites	38
Figure 30 : Activité acoustique des espèces de haut vol mesurée à différentes températures.	39
Figure 31 : Activité du groupe des Pipistrelles et des Sérotules en fonction du vent	40
Figure 32 : Activité des chiroptères mesurée en fonction du vent à une hauteur inférieure à 25m et supérieure à 25 m.	40
Figure 33 : Amplitude des vitesses de vent (m/s) nocturne selon les classes de vent moyen par tranches de 10 mn du 7 août au 4 novembre 2014.	41
Figure 34 : Vitesses de vent et rotation des pales sur les tranches de 10 mn avec contacts de Pipistrelle commune sur une éolienne quelques jours avant la découverte de 3 cadavres au sol le 2 septembre.	42
Figure 35 : Mortalité et activité en fonction de la vitesse du vent	42
Figure 36 : Evolution de la taille des éoliennes depuis les années 1980 (Source : IPCC)	43
Figure 37 : Graphique représentant la hauteur balayée par les pales des éoliennes de notre échantillon.	45
Figure 38 : Surface balayée par une pale en 5 secondes en fonction du diamètre du rotor des éoliennes	47
Figure 39 : Eoliennes de l'échantillon selon la hauteur de la garde au sol*, la surface balayée par les pales en 5 secondes au cut-in-speed et la puissance nominale.	48
Figure 40 : Exemple de courbe de puissance d'une éolienne moderne, ici modèle Vesta V90-1,8mW & 2.0mW	52
Figure 41 : fonctionnement du système Chirotech©	54
Figure 42 : Comparaison de la distance et du taux de détection entre un appareil non protégé et un appareil dans la coque imperméable ReBAT™	56
Figure 43 : Performance de réduction du DTBat® en fonction de différents scénarios en utilisant un ou deux détecteurs à différentes hauteurs.	57
Figure 44 : Pourcentage de perte de production selon les différents protocoles d'arrêt sur la période étudiée (pourcentage nettement moins forts sur l'année.	58
Figure 45 : Graphique représentant le lien entre le nombre de victimes prédit à l'éolienne étudiée, le seuil de victime préalablement défini et les pertes de rendement estimées en fonction de la vitesse de démarrage des éoliennes.	65
Figure 46 : Relation entre la vitesse minimale du vent et la vitesse de rotation minimale du rotor, sur des classes de 10 mn entre le 1 <sup>er</sup> Juillet et le 4 Novembre 2014, sur une éolienne de Franche Comté.	67

Figure 47 : Relation entre la vitesse maximale du vent et la vitesse de rotation maximale du rotor, sur des classes de 10 mn entre le 1<sup>er</sup> Juillet et le 4 Novembre 2014, sur une éolienne de Franche Comté. ... 67

Figure 48 : Renard roux récupérant un cadavre de Pipistrelle commune sous une éolienne du parc de Lomont.<sup>(260)</sup> ..... 108

Figure 49 : Robustesse de l'estimation de la mortalité en fonction du nombre de cadavres trouvés..... 111

Tableau 1: Puissance éolienne installée à travers le monde à la fin 2014 et à la fin 2015, en MW..... 9

Tableau 2 : Nombre de chauves-souris tuées par éoliennes et par an en fonction du type de milieu en Europe et aux Etats-Unis..... 21

Tableau 3 : Sensibilité connue à ce jour des espèces présentes en France..... 32

Tableau 4 : Récapitulatif des différents coefficients et paramètres de mortalité..... 115

Tableau 5 : Indice de vulnérabilité attribué aux espèces en fonction de leur enjeu de conservation et de leur sensibilité à l'éolien. .... 116

Tableau 6 : Détermination des niveaux de sensibilité pour les chiroptères en France, en région Centre et en Franche Comté..... 117

Tableau 7 : Modalités de suivi de l'activité des chiroptères suivant l'indice de vulnérabilité des espèces présentes et la significativité de l'impact résiduel. .... 119

Tableau 8 : Modalités de suivi de la mortalité des chiroptères suivant l'indice de vulnérabilité des espèces présentes et la significativité de l'impact résiduel..... 120

Tableau 9 : Paramètres du modèle pour le calcul de la prévision de l'activité des chauves-souris..... 144

Tableau 10 : Valeur du facteur de distribution de l'activité (G) suivant le mois, la période de la nuit et le détecteur acoustique utilisé. .... 144

## Index

Cut-in-speed :	Vitesse de vent à laquelle démarre la production d'électricité, dépend des modèles de machine
Free-wheeling :	Rotor en rotation mais sans production d'électricité (lors des faibles vents)
Garde au sol :	Hauteur entre le sol et le bout de pale d'une éolienne
Hystérésis	Propriété d'un système qui tend à demeurer dans un certain état quand la cause extérieure qui a produit le changement d'état a cessé
RPM :	Rotation Par Minute du rotor
Sérotule :	Groupe virtuel composé des Sérotines ( <i>Eptesicus</i> ) et des Noctules ( <i>Nyctalus</i> )
Mise en drapeau des pales	Correspond au frein aérodynamique (par opposition au frein d'urgence) que l'on peut entre autres mettre en œuvre aux vitesses de vent inférieures au cut-in-speed

### 1.1 - Les chiroptères et l'énergie éolienne

Les Etats Membres de l'Union européenne ont pour ambition d'arrêter et d'inverser à terme la perte de biodiversité<sup>(293)</sup>. La prise en compte de la préservation des chiroptères est donc essentielle d'autant plus que les populations de chauves-souris sont fragiles. En effet, ces mammifères volant ont adopté une stratégie de reproduction de type « K » avec une maturité sexuelle tardive<sup>(42)</sup> pour certaines espèces, une longue espérance de vie<sup>1</sup> et un faible taux de reproduction (en général un petit/an). Ce type de stratégie engendre une croissance des populations lente et, de ce fait, un épisode de mortalité important peut avoir des conséquences néfastes sur la pérennité des populations<sup>(60)</sup>.

Alors que l'impact des éoliennes sur les oiseaux était déjà connu, une nouvelle problématique pour le développement de l'éolien est apparu avec la description de cas de mortalité sur les chauves-souris principalement documentés à partir du milieu des années 1990<sup>(207, 231)</sup>. La problématique « chauves-souris et énergie éolienne » fut discutée pour la première fois en Europe dans deux articles publiés en Allemagne en 1999 par Bach et Rahmel. A titre d'exemple, on estime aujourd'hui le nombre de chauves-souris victimes des parcs éoliens à 250.000 individus par an pour l'Allemagne<sup>(225)</sup>. Les chiroptères sont victimes des parcs éoliens, mais aussi de la route, de la rénovation énergétique des bâtiments ou des modifications des pratiques agricoles par exemple.

L'enjeu éolien est l'un des sujets étudiés dans le cadre de l'accord international EUROBATS, qui regroupait en janvier 2016 36 pays européens dans le but de préserver les chauves-souris. Ainsi EUROBATS a publié des lignes directrices pour la prise en compte des chiroptères dans les projets éoliens<sup>(262)</sup>.

Toutes les espèces de chauves-souris trouvées en Europe sont protégées par une directive communautaire (92/43/CEE) afin de les maintenir dans un état de conservation favorable. Ainsi toutes les espèces sont protégées dans le droit français et des plans nationaux d'action sont mis en place en France afin de trouver des solutions pour améliorer l'état de conservation des espèces de chiroptères. Le plan national d'action 2016-2025, en cours d'adoption, comprend une action spécifique à la problématique chiroptère/éolien. Celle-ci a pour but d'améliorer la prise en compte des chauves-souris dans la planification et le développement des projets, de développer des études évaluant concrètement l'impact des parcs éoliens ou encore de diffuser les retours d'expérience sur les impacts et les mesures d'atténuation des parcs éoliens<sup>(291)</sup>. La présente étude y contribue donc.

L'énergie éolienne est considérée comme favorable à l'environnement, en lien avec les changements globaux, et à l'économie, du fait d'une moindre dépendance énergétique. Ainsi les enjeux de développement des énergies renouvelables sont forts en France puisque la **part de l'éolien dans la consommation électrique doit passer de 4% en 2015 à 20% d'ici 2030**<sup>(292)</sup>. Reste à étudier ce qui est soutenable ou non pour les chauves-souris selon la façon dont elles sont pris en compte.

### 1.2 - Focus sur l'énergie éolienne en France et dans le monde

#### 1.2.1 - Politiques de soutien à l'énergie éolienne

La politique énergétique de l'Union européenne est dirigée par deux objectifs majeurs : l'indépendance énergétique et la lutte contre le changement climatique. En effet, la perspective d'une augmentation rapide du prix de l'énergie et de la dépendance croissante vis-à-vis des importations nuit à la fiabilité de l'approvisionnement et constitue une menace pour l'économie<sup>(179)</sup>. D'autre part, des mesures doivent être prises pour réduire radicalement les émissions de gaz à effet de serre et freiner le changement climatique. La principale solution à ces enjeux est le développement des énergies renouvelables combiné à la maîtrise des consommations d'énergie.

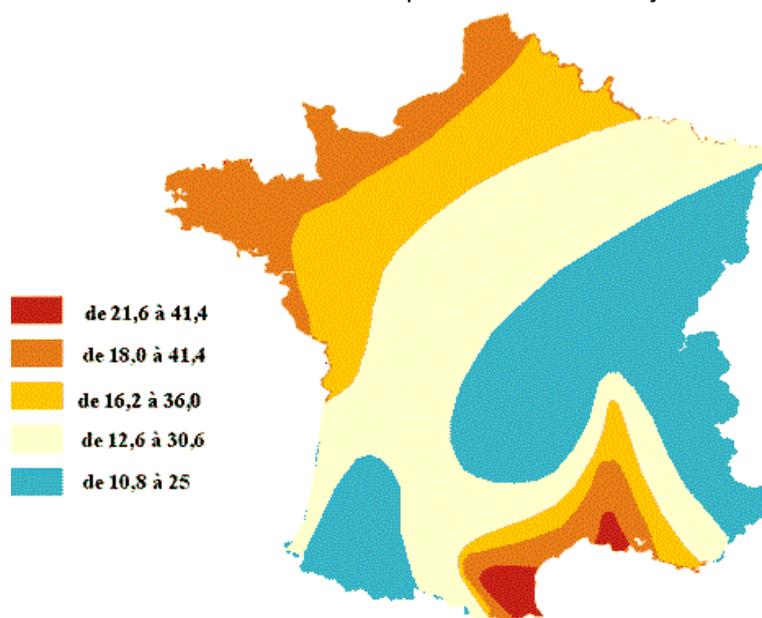
<sup>1</sup> Longévité d'une douzaine d'année pour la Noctule commune à plus de 30 ans pour le Grand Rhinolophe ou le Grand Murin<sup>(125)</sup>

Adopté lors du Conseil européen du 24 octobre 2014, un nouveau **Paquet Energie-Climat** constitue un plan d'action devant permettre à l'UE d'atteindre les objectifs suivants d'ici 2030 : réduire de 40% les émissions de gaz à effet de serre par rapport au niveau de 1990, **porter la part des énergies renouvelables à 27% de la consommation** et améliorer de 27% l'efficacité énergétique. Le paquet Energie-Climat promeut ces sources d'énergies renouvelables dans le cadre de la mise en œuvre du protocole de Kyoto en lien avec la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.

Divers textes réglementaires ont été publiés pour soutenir ces objectifs dont, dans le cadre de l'ancien Paquet Energie-Climat, la directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

En France, 19,5 % de l'électricité produite était d'origine renouvelable fin 2015 et la loi du 17 août 2015, relative à la transition énergétique, a fixé pour objectif de porter à 40% la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité d'ici 2030<sup>(292)</sup>.

Dans l'hexagone, la filière éolienne est l'une des principales sources à venir d'énergie renouvelable puisque la France possède le deuxième meilleur potentiel en Europe pour l'éolien, après la Grande-Bretagne, grâce notamment à son littoral étendu<sup>(149)</sup> (cf. Figure 1). Néanmoins, la filière éolienne, sur laquelle repose une bonne part de la croissance des énergies renouvelables électriques, présente actuellement un rythme de raccordement insuffisant pour attendre les objectifs fixés.



**Figure 1: Carte des vitesses du vent à 50 mètres au-dessus du sol en fonction de la topographie (en km/h).**  
AREN, 2006

D'une manière concrète, pour encourager cette filière l'état a mis en place depuis 2000 un dispositif incitatif : l'obligation d'achat<sup>2</sup>. Les distributeurs d'électricité doivent acheter l'électricité produite à partir de l'énergie éolienne aux exploitants qui en font la demande à un tarif d'achat fixé par arrêté<sup>(152)</sup>.

Dès 2011, les parcs éoliens ont été considérés comme des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) pour en améliorer le contrôle par les services de l'état. Après un essoufflement entre 2011 et 2013 (cf. Figure 3), le secteur éolien a repris une dynamique de raccordement positive depuis 2014 du fait de la loi Brottes (mars 2013) qui a donné lieu à plusieurs simplifications administratives comme la suppression des zones de développement de l'éolien (ZDE) remplacées par une planification régionale avec les Schémas Régionaux éoliens (SRE).

<sup>2</sup> Des modifications de ce système, en cours, vont bientôt faire évoluer cette situation sans que les conséquences soient claires sur l'évolution de la filière.

### 1.2.3 - Données chiffrées sur la production

L'analyse des données de la production permet de resituer l'impact de la mortalité éolienne au regard des courbes de croissance récentes ou à venir

La capacité mondiale de production totale est passée de 0,8 GW de puissance installée en 1995 à plus de 430 GW fin 2015 (cf. Figure 2). Globalement, le rythme de croissance mondial de l'éolien reste soutenu<sup>(190)</sup> et les industries éoliennes ont installé plus de 60 GW en 2015, ce qui représente une croissance annuelle mondiale de 22%. Rappelons que les populations de chauves-souris n'ont pas de frontière et que la problématique existe dans tous les pays du globe.

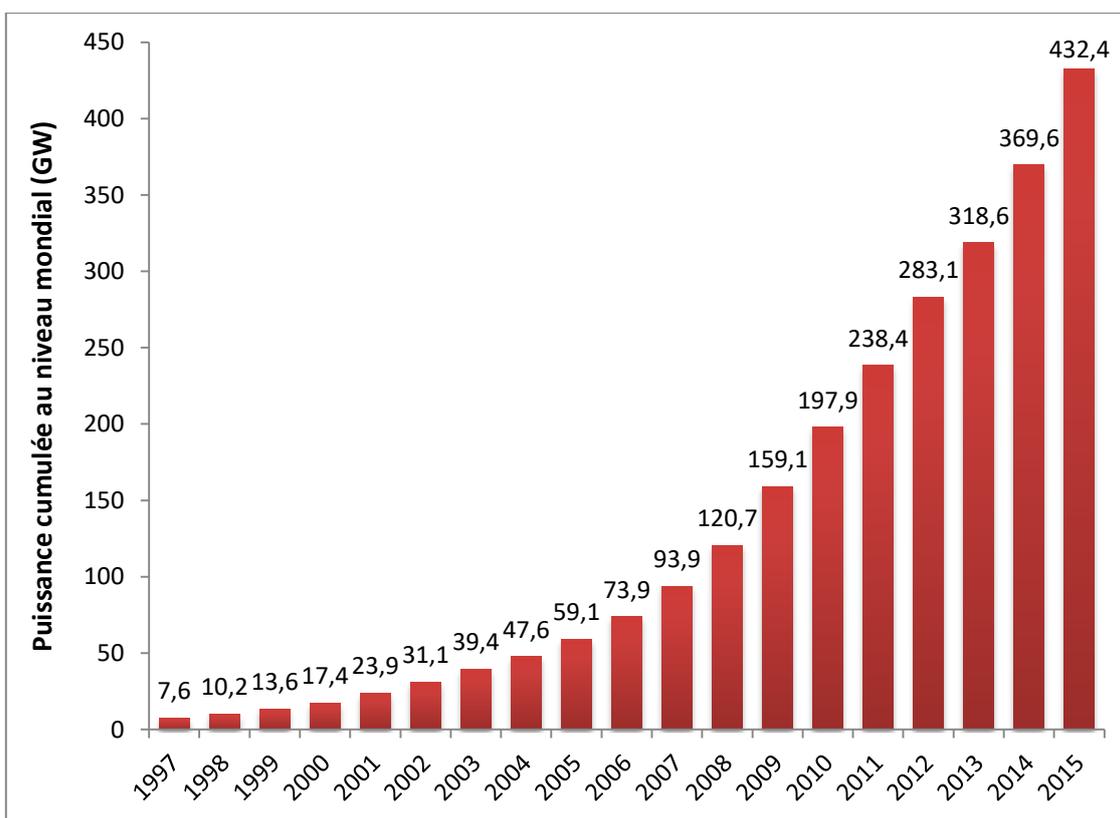


Figure 2: Evolution de la puissance éolienne cumulée au niveau mondial entre 1997 et 2015.

Données : GWEC.

Il existe actuellement dans le monde trois grandes régions d'installations de centrales éoliennes<sup>(190)</sup>: l'Asie, l'Europe et l'Amérique du Nord. Fin 2015, l'Europe se retrouvait au 2<sup>ème</sup> rang des continents ayant la puissance éolienne la plus importante (derrière l'Asie) et elle a franchi le cap des 140 GW (cf. Tableau 1). Pour une superficie quasiment équivalente, la capacité installée en Europe est environ deux fois plus importante que celle des Etats-Unis où les recherches sur la problématique chiroptères et éolien sont pourtant beaucoup plus importantes. Néanmoins en Allemagne les programmes de recherche se sont fortement développés ces dernières années alors qu'en France la recherche en la matière reste pauvre.

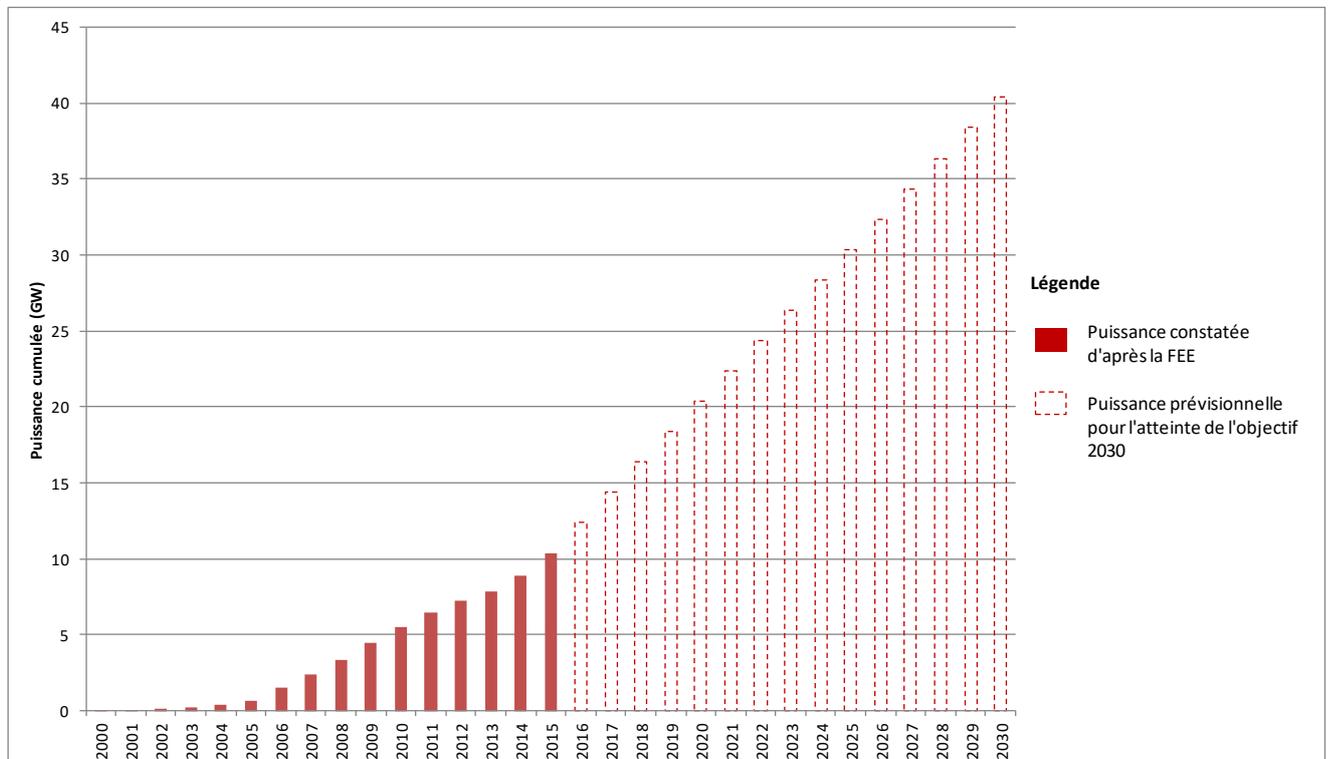
On notera que la marge de progression de l'éolien reste énorme dans des zones comme l'Afrique ou l'Amérique latine par exemple, secteur où les problématiques chiroptères et éolien doivent être similaires même si elles sont mal connues.

	Total 2015	Augmentation de 2015
Union Européenne	141 578	12 800
Reste de l'Europe	6 193	1 005
<b>Total Europe</b>	<b>147 771</b>	<b>13 805</b>
Etats-Unis	74 471	8 598
Reste de l'Amérique du Nord	11 573	2 220
<b>Total Amérique du Nord</b>	<b>88 744</b>	<b>10 817</b>
Chine	145 104	30 500
Reste de l'Asie	30 469	3 106
<b>Total Asie</b>	<b>175 573</b>	<b>33 606</b>
Afrique et Moyen Orient	3 289	753
Amérique latine	12 220	3 652
Région Pacifique	4 822	380
<b>Total monde</b>	<b>432 419</b>	<b>63 013</b>

**Tableau 1: Puissance éolienne installée à travers le monde à la fin 2014 et à la fin 2015, en MW.**

Données : GWEC.

La puissance installée en France métropolitaine s'élevait à 10,36 GW fin 2015<sup>(254)</sup>. En 2014, les nouveaux raccordements éoliens représentaient une puissance de 1,04 GW<sup>(153)</sup>. Pour atteindre l'objectif de 40 GW onshore d'ici 2030<sup>(292)</sup>, il faudrait donc approximativement doubler la vitesse de raccordement actuelle en mettant 2 GW en service chaque année jusqu'en 2030 (cf. Figure 3).

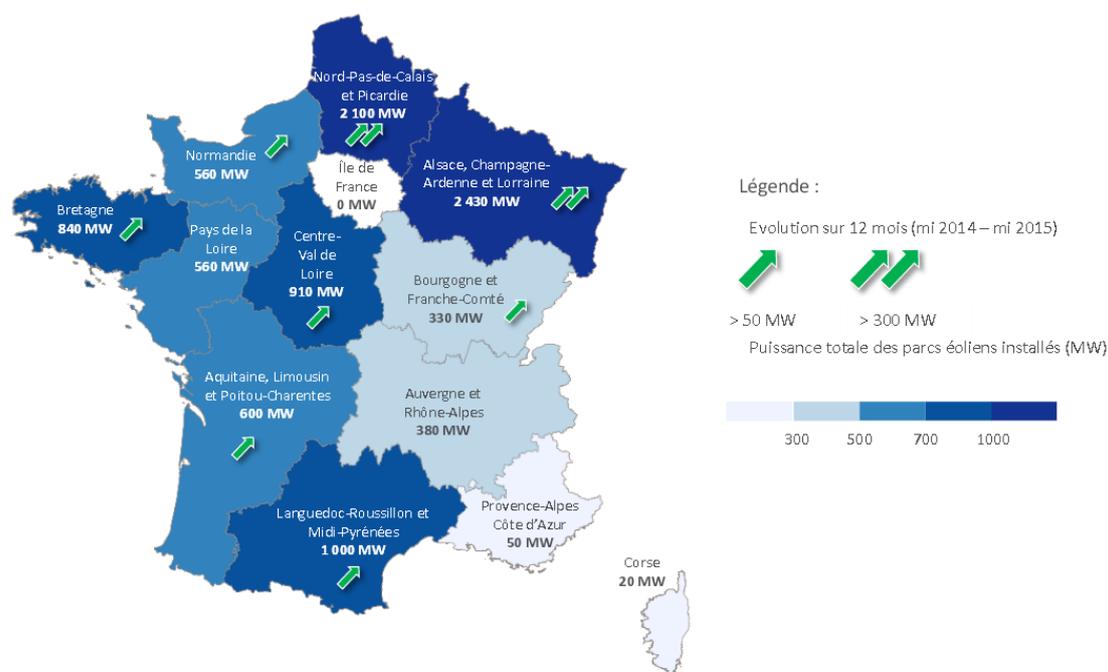


**Figure 3 : Evolution de la puissance éolienne onshore installée en France métropolitaine entre 2000 et 2015 et prévision pour l'atteinte de l'objectif d'ici 2030.**

Données : FEE, 2015.

La Figure 3 met en évidence l'importante augmentation de puissance prévue dans les années à venir pour atteindre les 40 GW d'éolien onshore. Néanmoins, cette augmentation de puissance ne se traduit pas seulement par une multiplication du nombre de mâts sur le territoire. En effet, les éoliennes installées au début des années 2000 seront progressivement remplacées par des éoliennes plus puissantes lors des projets de repowering dès lors que les obligations liées aux contrats d'obligation d'achat prendront fin<sup>3</sup>. Les évolutions technologiques ont permis de tripler la puissance générée par une seule machine, en partie grâce à l'augmentation de la taille des aérogénérateurs. Par exemple, la plus grande éolienne installée en France en 2005 (hauteur de la nacelle : 79m ; diamètre du rotor : 99m) était capable de fournir une puissance de 1,3MW tandis qu'en 2015 la machine la plus grande en France (hauteur de la nacelle : 93m, diamètre du rotor : 114m) possède une puissance de 3,2 MW<sup>(153)</sup>. En Belgique, sur le parc d'Estinnes, sont installées des éoliennes encore plus puissantes : 4,2 MW (hauteur de la nacelle : 135, diamètre du rotor : 127m).

Le parc de production éolien français en exploitation se compose à mi-2015 de 4.900 éoliennes réparties sur 850 parcs (cf. Figure 4). Les régions Hauts de France et Grand Est sont les plus actives avec plus de 0,3 GW raccordés sur leurs territoires depuis mi 2014 et comptent chacune plus de 2 GW installés.



**Figure 4 : Puissance éolienne raccordée mi-2015.**  
FEE, 2015.

### 1.3 - Enjeux et besoins : quelle cohabitation ?

Il est aujourd'hui avéré que les parcs éoliens peuvent représenter une menace pour le maintien à long terme des populations de chauves-souris alors que toutes les espèces sont protégées réglementairement. La protection des chiroptères se confronte actuellement à l'expansion du secteur éolien, décidée par les gouvernements afin de limiter les changements globaux et la dépendance énergétique. Outre l'augmentation du nombre de parcs en service, il est important de considérer l'impact que peuvent avoir les éoliennes de forte puissance arrivant sur le marché et qui remplaceront

<sup>3</sup> Les contrats d'obligation d'achat étant signés sur 15 ans, les exploitants sont tenus de produire de l'électricité en continue durant cette période

progressivement celles déjà en place dans les anciens parcs (volume brassé nettement supérieur). Vu les enjeux de protection des chauves-souris et la nécessité de produire une énergie « verte », il est essentiel de trouver des solutions pour limiter les phénomènes de mortalité observés tout en assurant la production d'électricité nécessaire.

Outre le risque de mortalité directe des chiroptères dû aux parcs éoliens, il existe des impacts indirects qui restent à préciser comme la dégradation ou la perte d'habitat limitant la fréquentation par les chauves-souris<sup>(222,223)</sup>, les effets du bruit, des effets de barrière sur les corridors de vol<sup>(14)</sup>, des effets sur les métapopulations, et éventuellement des effets sur le comportement<sup>(36)</sup>. Ces aspects ne sont pas abordés dans le présent rapport qui est centré sur les questions de mortalité directe. De même, l'effet des éoliennes offshore sur les chiroptères ne sera pas abordé, la synthèse étant restreinte à l'impact des éoliennes terrestres sur les chauves-souris.

Après avoir réalisé une synthèse sur les différentes causes de mortalité des chauves-souris au droit des éoliennes et sur l'ampleur du phénomène, les facteurs de risque seront analysés (sensibilité des espèces, facteurs temporels et météorologiques, facteurs liés aux machines). L'un des objectifs importants sera de dresser un bilan des techniques de prévention et de réduction des risques aujourd'hui appliquées ainsi que des perspectives d'avenir à promouvoir.



**Analyse de la fréquentation des chauves-souris à hauteur de nacelle (Ecosphère)**

### 2.1 - Les causes mortalité des chiroptères au sein des parcs éoliens

#### 2.1.1 - Collisions et barotraumatisme

Les chauves-souris sont victimes de collisions avec les éoliennes ou de barotraumatismes. Cela a été prouvé par de nombreux cadavres retrouvés au pied des éoliennes qui présentaient des blessures incluant des ailes cassées ou amputées, des crânes écrasés, des colonnes vertébrales brisées, et des lacerations graves<sup>(52)</sup>. Le premiers cas répertorié date de 1972<sup>(231)</sup> en Australie mais la problématique a surtout été étudiée à partir de la fin des années 90 et montre que les collisions directes avec les pales sont régulières.

Le barotraumatisme, autre cause de mortalité engendrée par les éoliennes, a été mis en évidence plus tardivement. Il s'agit d'un phénomène causé par un changement rapide ou excessif de pression qui se produit à proximité des pales des éoliennes, autour du rotor ou entre la pale et le mât. Ce phénomène engendre des lésions tissulaires internes mortelles dans les structures qui contiennent de l'air. Le barotraumatisme touche donc les poumons et provoque des hémorragies pulmonaires occasionnant des ruptures des tissus alvéolaires ou encore des œdèmes<sup>(1)</sup>. Ainsi la pression, engendrée par le passage d'une pale, est souvent létale pour les chauves-souris<sup>(7)</sup>.

La preuve en a été apportée par Baerwald *et al.* qui a ainsi montré que 90% des chauves-souris cendrées (*Lasiurus cinereus*) et des chauves-souris argentées (*Lasionycteris noctivagans*) tuées par une installation d'énergie éolienne dans le sud-ouest de l'Alberta (Canada), ont été victimes d'une hémorragie interne compatible avec un barotraumatisme<sup>(1)</sup>, avec ou sans collision. La majorité des chauves-souris retrouvées mortes (57%) n'avait pas de blessures externes, ce qui indique que la cause de la mort n'était bien due qu'à ce phénomène<sup>(1)</sup>.

La réduction de pression nécessaire pour provoquer ce type de blessures internes sur les chauves-souris reste à ce jour encore inconnue. La chute de pression dans le tourbillon de la lame à la pointe est de l'ordre de 5-10 kPa ce qui se révèle suffisant pour causer de graves dommages à divers mammifères<sup>(50)</sup>.

Le barotraumatisme ne touche pas les oiseaux, qui sont d'ailleurs, sur la plupart des sites éoliens, moins tués que les chauves-souris<sup>(1)</sup>. Cela s'explique en partie par des différences d'anatomie et de sensibilité. En effet, la chauve-souris est le seul mammifère volant. Les chiroptères possèdent donc, en plus des caractéristiques des mammifères, des adaptations liées au vol. Par exemple, elles ont de grands poumons et un grand cœur, une capacité de transport d'oxygène du sang élevée, et des barrières hémato-gaz plus minces que celles des mammifères terrestres<sup>(1)</sup>. Cela rend donc les chauves-souris particulièrement sensibles au barotraumatisme.

#### 2.1.2 - Différentes causes de mortalité

Les collisions et barotraumatismes peuvent être classés en trois catégories : aléatoire, de coïncidence ou résultant d'une attraction<sup>(52)</sup> :

Les collisions ou barotraumatismes aléatoires peuvent être définis comme ceux qui se produisent exclusivement par hasard. Tous les individus d'une même espèce sont également vulnérables lorsque qu'ils se trouvent près des éoliennes, indépendamment du sexe, de l'âge, de l'état de reproduction ou la période de l'année.

Les collisions ou barotraumatismes de coïncidence impliquent, elles, des chauves-souris mortes après avoir eu un comportement (vol en hauteur, migration) qui les a exposées à un plus grand risque de collision fortuite.

Enfin, les collisions ou barotraumatismes résultant d'une attraction sont directement liées à un phénomène externe d'attirance de la chauve-souris dans la zone à risque. Cette hypothèse est fréquemment admise aujourd'hui.

Les collisions et barotraumatismes se produisent quand l'animal est dans la zone brassée par le rotor. Leur nombre varie en fonction de l'abondance de l'espèce et du mode de vie de celle-ci puisque certaines chauves-souris approchent plus régulièrement les rotors que d'autres(36), engendrant des collisions de coïncidence ou résultant d'attractions. Les collisions purement liées au hasard ne sont donc pas les plus nombreuses mais on ne dispose que de très peu de données pour les chiffrer.

Certains affirment qu'il peut exister des collisions directes sur les mâts pendant les flux migratoires lorsque les chauves-souris n'émettent pas d'ultrasons (7 ; 52) mais cela a été démenti par Arnett et al. (2008) qui n'a retrouvé aucune victime sous des éoliennes à l'arrêt complet.

### 2.1.3 - Les éoliennes attirent-elles les chauves-souris ?

Contrairement aux oiseaux, peu de cadavres de chauves-souris sont retrouvés au niveau de structures anthropiques autres que les éoliennes<sup>(52)</sup>. Suite à ce constat, de nombreuses études ont été réalisées afin de comprendre les raisons pour lesquelles les éoliennes représentent un risque pour les chauves-souris et, depuis une dizaine d'années, l'hypothèse d'une attractivité a été avancée par plusieurs auteurs.

Une étude réalisée par Horn *et al.* en août 2004<sup>(51)</sup> sur un site éolien situé en Virginie occidentale (USA) a permis de mieux comprendre le comportement de vol et la phénologie de collision aux abords des éoliennes. Cette étude a été effectuée à l'aide de caméras thermiques infrarouges.

Les auteurs ont ainsi montré que les chauves-souris approchent à la fois les pales qui tournent et celles qui ne tournent pas (pas d'attraction engendrée par le mouvement des pales).

Les chauves-souris ont volé trois fois plus à hauteur du rotor (29-111 m) qu'à plus basse et plus haute altitude. **Les chauves-souris passeraient ainsi davantage de temps à chasser dans la zone brassée par les pales**, ce qui tendrait à faire penser qu'il y a attraction. Sur les 998 passages de chauves-souris enregistrés à proximité des éoliennes, seulement 5 collisions directes ont été relevées (soit 0,5% des observations). Les collisions se sont produites uniquement sur des pales en mouvement, y compris tournant lentement (3,1 tour/mn).

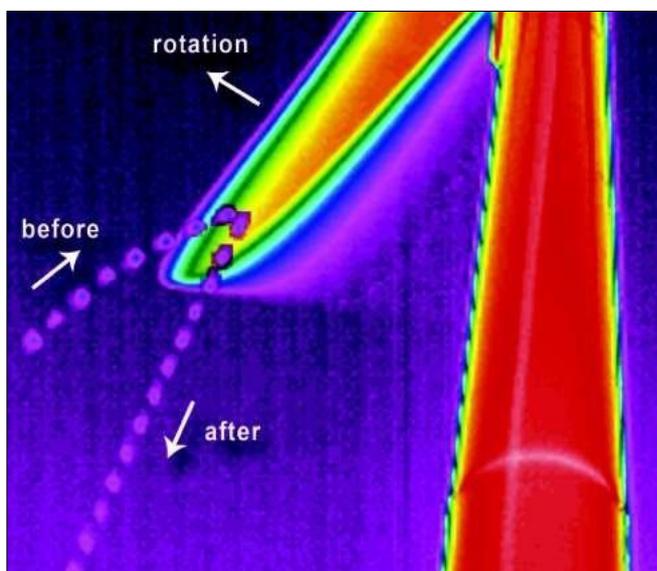


Figure 5 : Enchaînement d'images thermiques infrarouges filmant la collision d'une chauve-souris sur la pale d'une éolienne.

Horn *et al.*, 2008.

Sur la totalité des passages de chauves-souris observés, 4,1% d'entre elles ont évité les pales. Les comportements d'évitement ont impliqué des changements de direction de vols nets et de multiples phénomènes d'attente de l'éloignement des pales avant passage. En effet, certaines chauves-souris semblaient évaluer le mouvement de la pale et sont descendues brièvement par anticipation.

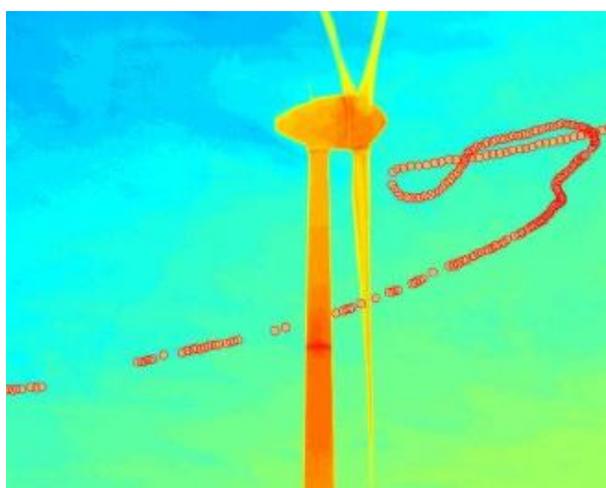
D'autres ont poursuivi les pales! Elles ont fini par être capturées dans un tourbillon qui se forme dans leur sillage. Ce phénomène se produirait à une distance inférieure à 5 m de la pale. Ce comportement curieux et exploratoire augmente la probabilité de collision avec une pale mobile<sup>(51)</sup>.

La plupart des études de suivi de mortalité ont mis en évidence un pic d'individus tués en fin d'été et au début de l'automne. Aux Etats-Unis, les espèces victimes de collision avec les éoliennes sont principalement des espèces migratrices. Jameson *et al.* ont alors émis l'hypothèse que ces espèces pourraient être attirées par les éoliennes qui se trouvent sur leur route de migration<sup>(226)</sup>. Pour vérifier cette hypothèse, ils ont comparé, avant et pendant la migration, l'activité des chauves-souris au niveau de tours de télécommunication à celle d'habitats forestiers et cultivés. Les résultats obtenus semblent confirmer l'hypothèse que les chauves-souris seraient attirées par les structures hautes durant leur

migration. En effet, l'activité enregistrée au niveau des tours est relativement basse avant la migration puis augmente considérablement durant la période de migration. Cette tendance n'a pas été observée dans les deux autres types de milieux où les niveaux d'activité sont restés constants durant toute la période d'étude. Au niveau des tours, l'importante activité constatée durant la période migratrice a fini par atteindre celle enregistrée dans les habitats forestiers proches de point d'eau (connus pour concentrer les chauves-souris pour se nourrir et s'abriter)<sup>(226)</sup>.

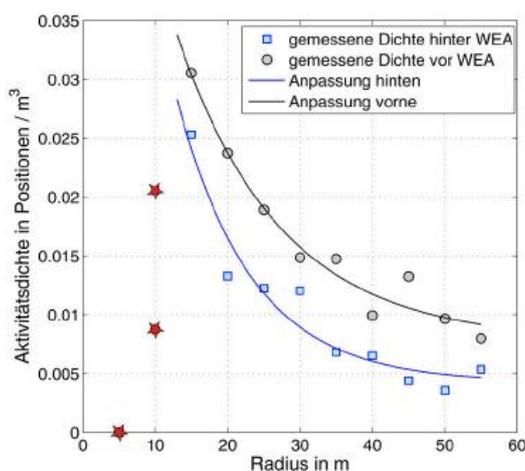
En 2014, Cryan *et al.* ont mené une étude combinant des recherches quotidiennes de cadavres, des enregistrements acoustiques en nacelle, des suivis par caméra vidéo infrarouge ou thermique ainsi que des radars afin d'observer le comportement des chauves-souris près des éoliennes<sup>(204)</sup>. Parmi tous les enregistrements vidéo réalisés, 88% d'entre eux impliquaient des chauves-souris changeant de cap pour se diriger vers l'éolienne, ce que les auteurs ont dénommé un « comportement focal ». Ces observations sont cohérentes avec la possibilité que les chauves-souris soient attirées à une faible distance (moins de 50m) par les éoliennes.

Lors d'un important projet de recherche en Allemagne (RENEBAT), Hochradel a pu étudier la distribution des chauves-souris autour des éoliennes<sup>(221)</sup>. En 2008 et en 2012, l'utilisation de caméras thermiques a permis aux chercheurs d'enregistrer les trajectoires de vol des chauves-souris aux abords des éoliennes. L'ensemble des données comprend six nuits sur quatre éoliennes<sup>4</sup> avec 37 trajectoires de vol et un total de 4.468 positions de chauves-souris enregistrées. La méthode utilisée a permis d'apporter des données quantitatives sur la probabilité de présence des chauves-souris aux environs des éoliennes.



**Figure 6 : Exemple d'une trajectoire de chauves-souris aux abords d'une éolienne.**  
Hochradel *et al.*, 2015.

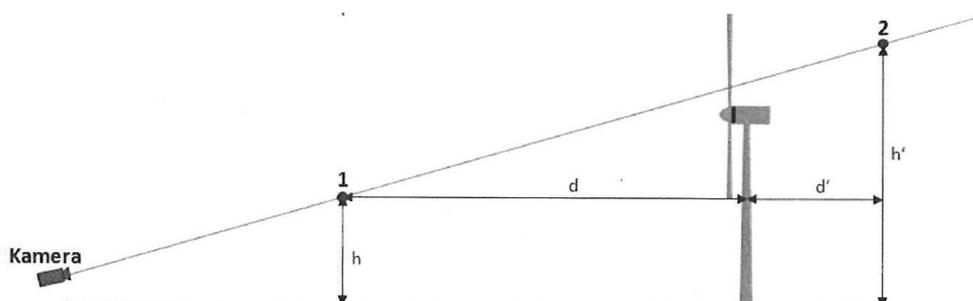
Il a été observé que la densité d'activité des chauves-souris décroît de façon exponentielle lorsque la distance à la nacelle augmente (cf. Figure 7).



**Figure 7 : Comparaison de la densité d'activité (ordonnée) avec la distance à la nacelle (abscisse)**  
Devant l'éolienne en noir et derrière en bleu, les points rouges n'ont pas été pris en compte dans l'analyse (distances au mât inférieures à 10m), Hochradel *et al.*, 2015.

<sup>4</sup> Différents parcs, milieux différents

La densité d'activité diminue exponentiellement en fonction de la distance à la nacelle que ce soit à l'avant et à l'arrière de l'éolienne. L'allure des deux courbes est similaire mais les valeurs de densité d'activité en fonction de la distance à la nacelle observées sont différentes si l'on considère l'activité devant et derrière l'éolienne. Les auteurs expliquent cette divergence par le fait que le champ de vision de la caméra derrière l'éolienne se trouve plus en altitude que celui devant la machine.



**Figure 8 : Positionnement d'une caméra infrarouge lors de l'étude.**

Adomeit, 2011.

Cette densité d'activité se rapproche en s'éloignant de la nacelle d'une valeur constante correspondant à la densité moyenne d'activité en l'absence d'éolienne. Ceci est la première preuve convaincante que les éoliennes attirent les chauves-souris<sup>(221)</sup>, dans le cas présent des noctules communes puisque la majeure partie des chauves-souris enregistrées en 2008 appartenaient à cette espèce(. Cette information n'a pas été précisée dans l'étude de 2012.

Cette information met en évidence l'intérêt qu'il y a à réaliser des suivis en nacelle afin d'estimer le risque de collision des chiroptères sur un site donné.

En 2016, Roekele a aussi étudié les déplacements de noctules communes aux abords des éoliennes grâce à la pose de balise GPS sur 8 individus (3 femelles et 5 mâles)<sup>(299)</sup>. Cette étude a permis de mettre en évidence une différence de comportement vis-à-vis des éoliennes en fonction du sexe des chauves-souris. En effet, les femelles ont régulièrement traversé le parc éolien et certaines ont chassé à proximité des éoliennes (moins de 100 m). Ce type de comportement n'a pas été observé chez les mâles et les auteurs ont même observé un possible évitement des éoliennes par deux d'entre eux : ces individus ont fait un détour pour contourner le parc plutôt que de la traverser en ligne droite<sup>(299)</sup>. Ces observations laissent supposer que les femelles de Noctule commune pourraient être attirées par les éoliennes<sup>(299)</sup>.

De nombreuses hypothèses sont aujourd'hui avancées concernant les facteurs susceptibles d'attirer les chauves-souris aux abords des éoliennes. Ces dernières peuvent être divisées en deux grandes catégories : celles supposant une attraction « directe » des chauves-souris en raison des caractéristiques physiques des aérogénérateurs (ressemblance avec les arbres, assimilation à un gîte, ...) et celles faisant l'hypothèse d'une attraction « indirecte » par la présence de ressources alimentaires en quantité importante aux abords des machines.

## 2.1.4 - Facteurs d'attraction directs

### 2.1.4.1 - Attraction par le balisage lumineux des éoliennes

Cette hypothèse a été proposée par Cryan et Barclay<sup>(52)</sup> en 2009 et a été testée lors d'une étude où les cas de mortalité ont été relevés au niveau d'éoliennes avec et sans balisage lumineux dans le cadre d'un programme de surveillance à long terme<sup>(258)</sup>. Durant les 5 années d'investigation, 916 cadavres

représentant les six espèces connues pour être présentes sur le site ont été trouvés. Les auteurs ont pu déduire de leurs prospections que le taux de mortalité est supérieur au pied des éoliennes dépourvues de balisage lumineux pour une espèce (*Lasiurus borealis*). En revanche, pour les autres espèces, il n'y a pas de différence significative entre le taux de mortalité observé au niveau des éoliennes possédant un balisage lumineux et celles en étant dépourvu<sup>(258)</sup>.

Cette hypothèse doit être distinguée d'autres cas particuliers liés aux lumières comme la surmortalité sur le site de Castelnaud (12) liée à des spots à déclenchement automatique. Il a ainsi été constaté que les chauves-souris pouvaient déclencher les spots lumineux de l'entrée des mats destinés à faciliter les maintenances nocturnes. Ces spots portent assez loin et restent allumés suffisamment longtemps pour attirer des insectes et permettre aux chauves-souris de chasser dans le voisinage du champ de rotation des pales, augmentant ainsi le risque de collision<sup>(210)</sup>. Suite à ces observations, le déclenchement automatique des spots a été neutralisé permettant, en parallèle de mesures de régulation des éoliennes, une réduction de mortalité dépassant largement les objectifs fixés dès l'année suivante<sup>(2)</sup>.

#### 2.1.4.2 - Une perception erronée des éoliennes

Dans une étude de 2008, des images thermiques de chauves-souris tentant de se poser sur les pales et le mât de la turbine pouvaient laisser penser qu'elles voulaient utiliser les éoliennes comme gîte/perchoir<sup>(50)</sup>. Pour prouver cette hypothèse, il faudrait que la mortalité se produise lorsque l'activité nocturne se termine<sup>(52)</sup>, au moment de la recherche de gîte. Ce type de comportement n'a pas été observé dans l'étude de Cryan *et al.*<sup>(204)</sup> mais l'importante proportion d'approches en direction de la nacelle ou des pales coïncide éventuellement avec l'hypothèse que les chauves-souris tenteraient de trouver une place où s'accrocher. Puis, après avoir constaté qu'il n'y a pas d'endroit favorable pour se percher en raison de la surface trop lisse des pales ou du mât, les chauves-souris se seraient immédiatement éloignées de l'éolienne dans 72% des cas<sup>(204)</sup> tandis que les autres individus se sont approchés plusieurs fois de l'éolienne.

En 2011, une étude a permis de mettre en évidence l'importance de récepteurs présents au niveau des ailes des chauves-souris jouant un rôle dans le contrôle du vol en détectant les changements dans les flux d'air<sup>(227)</sup>. Parmi 258 détections vidéo de chauves-souris volant autour de l'éolienne, moins de la moitié des chauves-souris ont émis des ultrasons dans le cône de détection du détecteur. Ceci suggère que, dans certaines conditions, les chauves-souris pourraient renoncer à l'écholocation au voisinage des éoliennes. En effet, l'écholocation est un processus très coûteux en énergie et dont la portée est relativement faible. Il est donc possible que ce mécanisme ne soit pas toujours utilisé par les chauves-souris pour se repérer. Les raisons pour lesquelles les chiroptères s'orienteraient vers les éoliennes grâce à leur vision ou leur perception du vent par exemple sont aujourd'hui inconnues. Mais, au vu de leurs observations, les auteurs ont émis l'hypothèse que les chauves-souris pourraient confondre les éoliennes dont les pales tournent lentement avec de grands arbres puisque leur apparence et les flux d'airs qui s'y trouvent seraient similaires<sup>(204)</sup>.

Enfin, l'automne constitue une période où la mortalité est particulièrement importante. Il a donc été émis l'hypothèse que des regroupements de chauves-souris à proximité des éoliennes pourraient être effectués en vue de s'accoupler. Néanmoins, Cryan et ses collègues n'ont observé un duo de chauves-souris que dans seulement 3% des cas. Ils supposent tout de même que certains des comportements observés lors de vents soutenus, tel que des descentes en piqué, pourraient être associés aux parades de reproduction exécutées dans les arbres<sup>(204)</sup>. L'orientation sous le vent, fréquemment observée ici, serait courante chez d'autres organismes volant pour les parades ou la chasse.

#### 2.1.5 - Facteurs d'attraction indirects

Il semblerait que les éoliennes puissent constituer des terrains de chasse privilégiés pour les chauves-souris avec différentes explications concernant l'agglomération d'insectes au niveau de ces structures.

### 2.1.5.2 - Les éoliennes comme terrain de chasse

Plusieurs études ont permis d'analyser le comportement des chauves-souris aux abords des éoliennes. Il a notamment été observé que les individus de l'espèce *L. cinereus* approchent les éoliennes essentiellement sous le vent : ceci présage que les chauves-souris sont à la recherche d'insectes qui resteraient préférentiellement du côté du mat à l'abri du vent<sup>(245)</sup>.

Cette hypothèse est à nuancer au vu des résultats obtenus par Cryan<sup>(204)</sup>. En effet, seulement 8,8% des ultrasons enregistrés dans son étude étaient représentatifs de chauves-souris s'approchant d'une proie ou d'une structure et aucun n'était caractéristique de la phase finale du cri indiquant la capture d'une proie (buzz).

En revanche, Rydell a obtenu des résultats lui permettant de supposer que l'absence de buzz terminaux ne signifie pas forcément que les chauves-souris ne viennent pas se nourrir au niveau des éoliennes. En effet, en disséquant des chauves-souris retrouvées mortes sous les éoliennes, il a pu observer que les contenus stomacaux contenaient des diptères diurnes ou non volants dans près de 70% des cas<sup>(233)</sup>, ce qui n'est pas habituel chez les chauves-souris. La pose de piège à insectes à la base (5 à 10m de haut) et à la nacelle de plusieurs éoliennes a permis de mettre en évidence que 61% des taxons de diptères retrouvés dans les estomacs des chauves-souris se rencontrent plutôt à basse altitude. Ces insectes sont en général peu mobiles de nuit et il semble possible qu'ils soient capturés à la surface des éoliennes ou plus probablement dans l'air proche de la surface de l'éolienne. Les chauves-souris n'utiliseraient alors pas le système d'écholocation nécessaire à la chasse aérienne mais elles emploieraient plutôt des signaux courts et de faible amplitude comme ceux utilisés lorsqu'elles s'approchent d'une surface avec un angle faible pour capturer une proie ou s'abreuver par exemple<sup>(234)</sup>.

Enfin, une récente étude en Belgique avec de l'imagerie thermique et de la trajectographie acoustique<sup>(308)</sup> a pu montrer de nombreux insectes se déplaçant sur la mat ou à proximité et plusieurs attaques de chauves-souris sur ces derniers.

### 2.1.5.3 - Concentrations d'insectes en altitude

Une autre hypothèse a été émise par les chercheurs Rydell *et al.* en 2010<sup>(96)</sup> qui suggèrent un lien entre la mortalité des chauves-souris aux abords des éoliennes et la présence des insectes en altitude.

Les papillons et d'autres insectes auraient un comportement de sommitisme se traduisant par le fait de se rassembler au sommet de points hauts comme les collines ou les éoliennes (hill-toping). Cette importante concentration en insectes pourrait attirer les chauves-souris vers la zone de rotation des pales, expliquant le nombre plus élevé de chauves-souris tuées par des éoliennes situées sur le sommet des collines et le long des crêtes.

Aussi, les masses d'insectes en migration peuvent représenter une ressource attirante pour les chauves-souris de haut vol. En effet, certains insectes se déplacent de 100 à 1.200m au-dessus du sol lors de leur migration. Lors du suivi de noctules communes sur deux années, il a été observé que les individus modifiaient leurs habitudes de chasse en Août et Septembre. Les chauves-souris abandonnaient leurs sites de chasse habituels pour venir se nourrir au-dessus des zones forestières où des insectes en migration en nombre important sont susceptibles de se trouver<sup>(96)</sup>.

Enfin, une étude aux Etats Unis a permis de constater que la plupart des chauves-souris étaient tuées durant les nuits avec un faible vent du Nord et une importante pression atmosphérique consécutive au passage de fronts froids. Or, c'est aussi après de telles conditions météorologiques que les insectes (ainsi que les oiseaux) entament leur migration vers le Sud<sup>(96)</sup>. Ainsi, les chauves-souris de haut vol comme les noctules communes qui sont susceptibles de se nourrir de manière régulière à de telles hauteurs, peuvent être attirées par cette nourriture abondante.

Cette hypothèse de la migration des insectes ne peut rendre compte de tous les accidents mortels enregistrés pour les diverses espèces de chauves-souris. Néanmoins, celle-ci semble être plausible pour les chiroptères se nourrissant à haute altitude que ce soit aux Etats-Unis ou en Europe.

#### 2.1.5.4 - La couleur du mat

Une étude menée en 2010 par Long *et al.* a permis de mettre en évidence que la couleur du mat des éoliennes pourrait avoir une influence sur le nombre d'insectes présents au niveau de ces installations<sup>(205)</sup>. Durant 3 années d'études, 2.012 observations ont été réalisées et environ 90% des insectes dénombrés se sont posés sur une des cartes de couleur utilisées pour déterminer une potentielle attirance. Il est ressorti de cette étude que les couleurs communément utilisées pour le mat des éoliennes en Angleterre (blanc pur - RAL 9010 et gris clair - RAL 7035) sont significativement plus attractives que les autres, excepté le jaune qui semblerait être la couleur la plus attrayante pour ce groupe d'organismes. A l'inverse, le violet (RAL 4001) est la couleur qui est la moins attirante pour les insectes... mais n'est pas autorisée par l'aviation civile.

## 2.2 - Informations chiffrées sur les données de mortalité

Bien que les raisons pour lesquelles les chauves-souris sont victimes de collision avec les éoliennes ne soient pas encore totalement connues, il est essentiel de pouvoir estimer l'impact des parcs éoliens sur les populations de chiroptères. Pour cela, des suivis de mortalité sont réalisés généralement en comptabilisant le nombre de cadavres retrouvés aux pieds des éoliennes (cf. Annexe 1 : Protocoles de suivi direct de la mortalité).

De nombreuses publications ont proposé des protocoles de recherche et surtout des modalités statistiques pour corriger les résultats bruts. En effet, des paramètres comme l'enlèvement des cadavres par les charognards ou l'efficacité de l'observateur (couvert végétal, attention) nécessitent une correction des données brutes. Plusieurs estimateurs existent et les résultats obtenus peuvent varier suivant la formule de calcul choisie. Différents protocoles de recherche sur les données de mortalité ont été proposés, comme les recommandations d'EUROBATS<sup>(262)</sup> et de la SFPEM<sup>(228)</sup>. Néanmoins ces protocoles sont très coûteux en temps et le Ministère a aujourd'hui défini un protocole national qui pose néanmoins question (cf. Annexe 2: le protocole national et ses limites).

Des programmes de recherche allemands<sup>(195)</sup> ont travaillé sur des méthodes indirectes dont l'objectif premier est de paramétrer au mieux les mesures de réduction des risques éoliens pour les chauves-souris. Elles permettent aussi de traduire l'activité au droit des nacelles en données de mortalité à partir du moment où le diamètre du rotor est connu (mais seulement en zone continentale, voire atlantique).

### 2.2.1 - Données globales sur la mortalité

Malheureusement, les études de mortalité ne citent pas toujours les détails statistiques correctifs qu'elles utilisent ou non, ce qui rend difficile les comparaisons. Néanmoins, malgré ces difficultés, de nombreuses publications permettent de se faire une idée de l'importance de la mortalité au droit des parcs.

En Allemagne, il a été estimé que plus de 250 000 chauves-souris sont tuées par les éoliennes chaque année, ce qui équivaut à plus de 2 millions de chauves-souris tuées depuis ces 10 dernières années, sans mesure de réduction<sup>(225)</sup>. Korner Nievergelt *et al.*<sup>(120)</sup> annonçaient, après leurs importants travaux en Allemagne, une mortalité estimée de 10 à 12 chauves-souris tuées par éolienne par an soit de l'ordre de 6 à 8 chauves-souris tuées par MW produit sans mesure de réduction. Ce taux moyen nous paraît intéressant à garder comme référence pour la zone continentale au moins.

En Grande Bretagne, le taux de mortalité moyen a été estimé à 7,92 chauves-souris/éolienne/an lors d'une étude nationale sur 46 parcs éoliens<sup>(86)</sup>, ce qui est assez comparable aux données allemandes même si le taux est inférieur.

Les chiffres en Méditerranée peuvent par contre être sensiblement différents. Au Portugal, le taux de mortalité annuel sur 28 parcs éoliens a été estimé entre 0,07 et 11 chauves-souris tuées par MW par an<sup>(231)</sup>. En Espagne, la compilation des données de mortalité issues de 56 parcs éoliens des régions de La

Rioja, d'Aragon et des environs de Soria a mis en évidence un taux de mortalité allant de 0 à 0,8 chauves-souris tuées/MW/an<sup>(129)</sup>. Ce résultat est toutefois à prendre avec précaution étant donné que la correction des données brutes n'a été réalisée que pour un seul des 56 suivis et que les protocoles ne sont pas finement détaillés.

Aux Etats-Unis, Smallwood a estimé que l'énergie éolienne pourrait causer chaque année dans ce pays la mort de 463.000 à 631.000 chauves-souris<sup>(164)</sup>. Des mortalités exceptionnellement élevées ont ainsi été relatées par Arnett en 2005 qui a fait état de 1.364 à 1.980 chauves-souris tuées sous 44 éoliennes en 6 semaines dans le parc de Mountaineer aux USA<sup>(154)</sup>. Baerwald et Arnett ont, quant à eux, estimé en 2013 que 800.000 à 1.700.000 chauves-souris ont été tuées aux USA et au Canada entre 2000 et 2011<sup>(167)</sup> soit  $\pm$  75 à 150.000 par an donc beaucoup moins qu'en Allemagne à superficie équivalente.

Relativement peu de données sont disponibles dans le reste du monde. Néanmoins, des cas de mortalité ont pu être constatés en Afrique du Sud, en Australie, en Amérique du Sud et en Asie<sup>(231)</sup> mettant en évidence que ce phénomène est mondial.

Pour finir, les taux de mortalité des chauves-souris victimes des éoliennes sont généralement exprimés en nombre de chauves-souris tuées par turbine ou en nombre de chauves-souris tuées par MW. Cependant, Barclay a montré en 2013<sup>(168)</sup> que le nombre d'individus tués par éolienne (ou par MW) est une grandeur qui ignore les effets cumulatifs, les délimitations des populations et l'augmentation du nombre de machines. Il propose alors d'estimer ces chiffres en tant que densité de mortalité (nombre d'individus tués pour une zone donnée), en tant qu'estimations cumulées au niveau régional ou encore comme des seuils qui doivent être modifiés lorsque le nombre d'éolienne augmente. Pour permettre d'évaluer l'impact de cette mortalité à grande échelle, il est important d'exprimer le nombre de chauves-souris tuées pour une population. Cela requiert une connaissance des métapopulations aussi bien au niveau de la taille que de la dynamique, des informations de base qui sont encore manquantes à ce jour<sup>(168)</sup>.

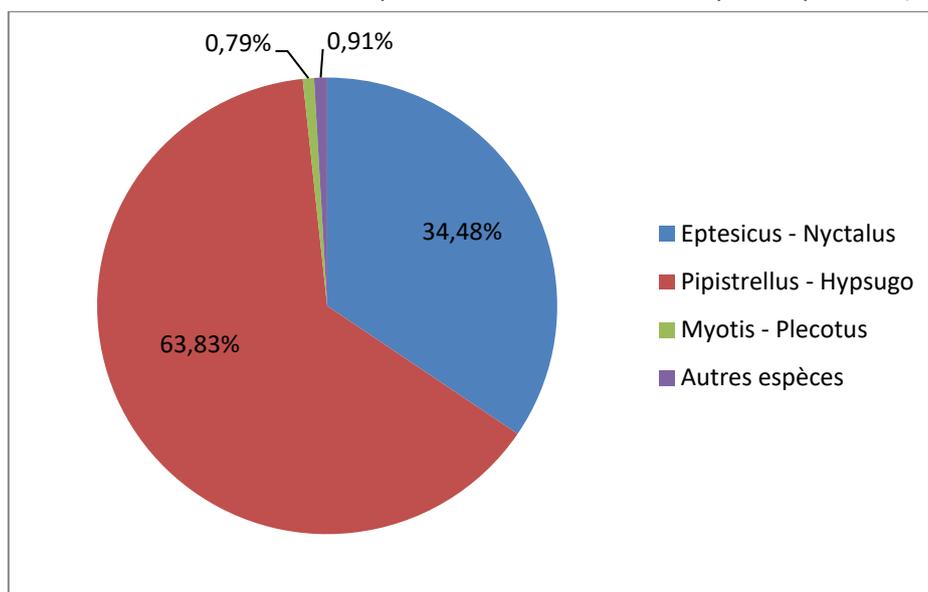
Le tableau présenté en Annexe 3 : Mortalité en Europe - échantillon d'études récapitule quelques données de mortalités issues d'études de suivi réalisées sur des parcs éoliens en Europe. Il renseigne sur l'origine de l'étude (auteur, date, pays), le type d'éolienne (hauteur en bout de pale et garde au sol\*), la méthode de suivi adoptée et les résultats de mortalité. Les résultats bruts ont éventuellement été ré-exprimés en nombre de chauves-souris tuées par éolienne et par an lorsque l'auteur ne l'avait pas fait. Enfin, les tableaux distinguent la mortalité en fonction de la prise en compte ou non des biais dans l'estimation avec l'un ou l'autre des estimateurs décrits en Annexe 1 : Protocoles de suivi direct de la mortalité

L'analyse de ces tableaux, avec des valeurs allant de 0 à 87 chauves-souris tuées/éolienne/an, montre une grande variabilité des chiffres. Un facteur pouvant expliquer la variabilité de la mortalité reste l'intensité d'étude et donc le protocole utilisé.

La SFEPM a récemment évalué la qualité des dossiers rendus par les prestataires en charge des suivis de mortalité : 151 rapports ont été recueillis pour 104 parcs éoliens mais la mortalité des chauves-souris n'a été étudiée que pour 73 parcs<sup>(270)</sup>. L'étude a révélé que quasiment la moitié des dossiers peuvent être qualifiés de mauvais puisqu'ils ne permettent pas de conclure sur l'existence d'un impact pour diverses raisons : pression d'observation insuffisante, absence de protocole ou de méthode de correction et même falsification des résultats. Il s'est avéré que seulement 18% des dossiers du panel examinés sont sérieux et tiennent compte des recommandations existantes permettant de conclure sur la présence d'un impact sur les chiroptères. Il est en revanche intéressant de relever que des suivis en altitude n'ont été réalisés que sur la moitié des parcs parmi ces bonnes études<sup>(270)</sup>. Ce type de suivi est pourtant essentiel pour affiner les mesures de régulations à entreprendre au sein du parc afin de minimiser la mortalité des chauves-souris. La SFEPM estime que seulement 1,8% de la puissance installée en France a fait l'objet d'études quantifiant véritablement l'impact occasionné par les éoliennes<sup>(270)</sup>.

## 2.2.2 - La mortalité en fonction des espèces

En Europe, les données de mortalité due aux éoliennes régulièrement mises à jour par Tobias Dürr<sup>(xxx)</sup> permettent de mettre en évidence les espèces de chauves-souris les plus impactées (cf. Figure 9).

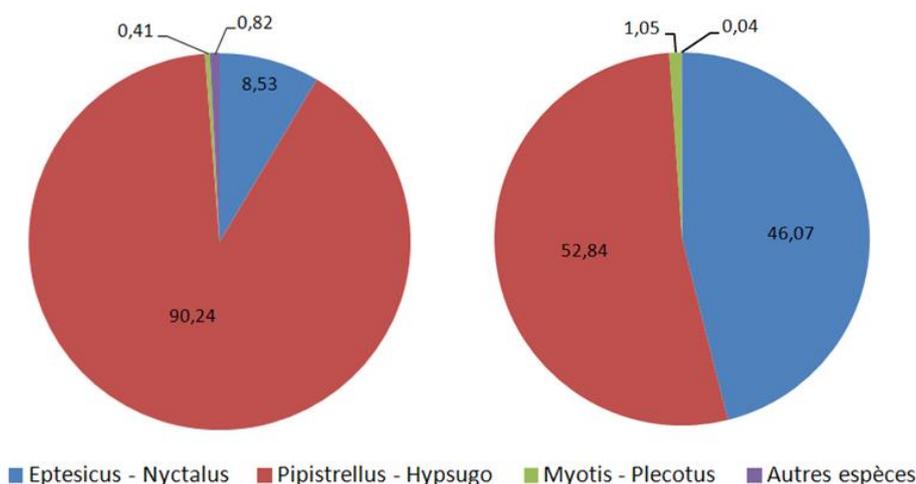


**Figure 9 : Répartition des données de mortalité due aux éoliennes (n=5.833) en Europe (19 pays concernés) selon les groupes d'espèces de chauves-souris.**

Données : T. Dürr, 16.12.2015 hors chiroptera sp. (<http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>)

Il en ressort que les groupes des pipistrelloïdes et des nyctaloïdes sont ceux qui comptabilisent le plus grand nombre d'individus tués par les éoliennes, à hauteur de 63,8 % et 34,5 % respectivement.

Cependant, les taux de mortalité observés pour différentes espèces peuvent fortement varier selon le pays étudié. En effet, les Sérotules\* sont beaucoup moins impactées en France qu'en Allemagne : ce groupe représente quasiment la moitié des individus tués en Allemagne tandis qu'en France ce sont les Pipistrelles qui sont majoritairement tuées par les éoliennes (90%).

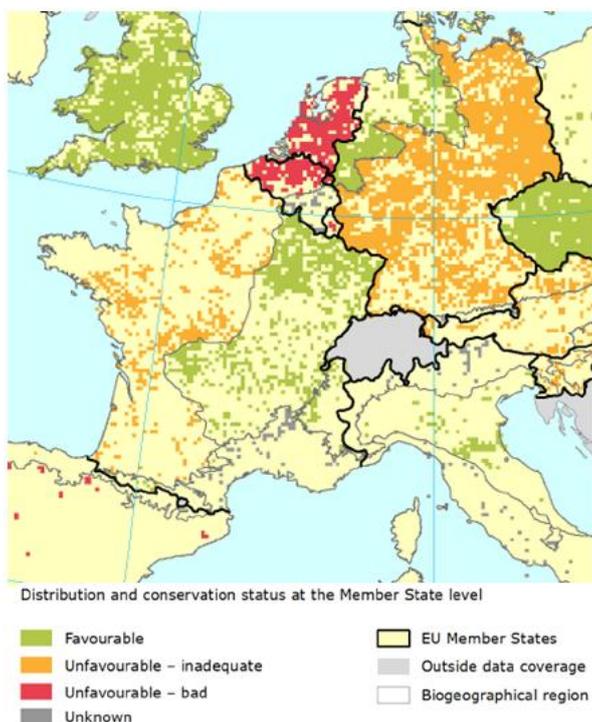


**Figure 10 : Répartition des données de mortalité due aux éoliennes en France à gauche (n=973) et en Allemagne à droite (n=2750) selon les groupes d'espèces de chauves-souris.**

Données : T. Dürr, 16.12.2015 hors chiroptera sp. (<http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>)

Ces différences pourraient simplement être dues à la variation de l'abondance des espèces selon la distribution géographique. En effet, *Nyctalus noctula* est beaucoup plus présente en Allemagne que sur le territoire français (cf. Figure 11). De ce fait, la probabilité qu'une noctule commune percute une

éolienne est beaucoup plus élevée en Allemagne et ceci se traduit dans les données de mortalité obtenues. Il est donc primordial d'être capable de relativiser les résultats obtenus en les intégrant dans leur contexte local.



**Figure 11 : Carte de la distribution et du statut de conservation de *Nyctalus noctula* en Europe de l’Ouest selon le rapportage 2007-2012 des Etats membres de l’Union européenne au titre de la directive Habitats.**

Source : <http://bd.eionet.europa.eu/article17/reports2012/static/factsheets/mammals/nyctalus-noctula.pdf>

### 2.2.3 - La mortalité en fonction des milieux

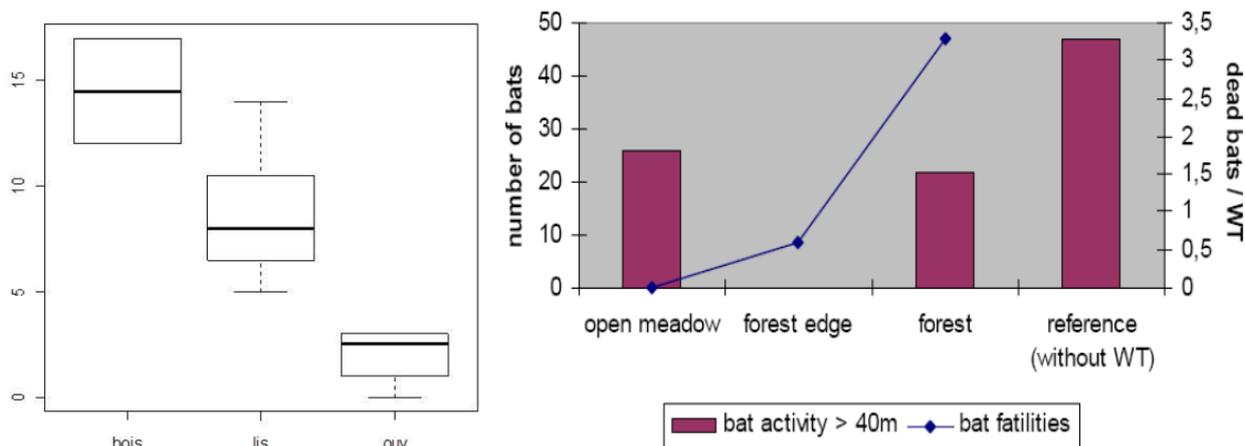
La zone d’implantation de l’installation éolienne apparait comme un autre facteur pouvant influencer la mortalité. Une mise en relation du type d’habitat et du nombre de chauves-souris mortes estimé a été effectuée pour les études réalisées aux USA par Johnson<sup>(75)</sup> et en Europe par Rydell et al.,<sup>(201)</sup>

Zone d’implantation	Rydell et al. <sup>(201)</sup> Europe	Johnson <sup>(75)</sup> Etats Unis
milieux ouverts de grandes cultures	0 à 3	1,1 à 1,3
paysages agricoles plus riches	2 à 5	60,4
côtes littorales, collines et crêtes, forêt	5 à 20	20,8

**Tableau 2 : Nombre de chauves-souris tuées par éoliennes et par an en fonction du type de milieu en Europe et aux Etats-Unis.**

Des chercheurs européens précisait en 2011 que la mortalité se produit surtout au niveau de collines et de crêtes ou sur les littoraux, tandis qu’une proportion plus faible de chauves-souris sont tuées par les éoliennes sur les terres agricoles ouvertes<sup>(165)</sup>.

Sur un même parc, il peut également y avoir des différences significatives entre chaque éolienne selon leur emplacement. Par exemple, sur le Parc Castelnau-Pegaroyls en Aveyron (12)<sup>(109, 210)</sup>, les éoliennes en forêt sont plus meurtrières que les éoliennes situées en lisière et bien plus que les éoliennes installées en milieu ouvert. En Allemagne, des résultats très similaires ont été trouvés<sup>(117)</sup>.



**Figure 12 : Mortalités constatées par éolienne selon les milieux.**

A gauche : Beucher *et al.*, 2011. A droite : Brinkmann, 2006.

Si l'on regarde l'activité en nacelle, et non la mortalité au sol, l'important projet de recherche mené par Brinkmann et ses collègues a mis en évidence que l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes (et donc le risque de collision) ne peut être prédit au regard des différentes variables du paysage. En effet, parmi les variables testées dans leur étude, seule la distance entre les éoliennes et les bois et bosquets a montré une influence significative<sup>(284)</sup>. Les auteurs ont également estimé que l'impact des paramètres liés au paysage sur l'activité des chauves-souris peut être considéré comme plutôt faible comparé aux facteurs de vitesse du vent et de température<sup>(284)</sup>.

Plusieurs auteurs n'ont cependant trouvé aucune corrélation entre la mortalité des chauves-souris et la proximité des éoliennes par rapport à différents éléments du paysage<sup>(231)</sup>. C'est le cas par exemple de Johnson qui n'a pas trouvé de relation entre le nombre de cas de mortalité et la distance aux zones humides ou boisées dans le Minnesota<sup>(300)</sup>.

L'implantation d'éoliennes en milieu agricole ouvert peut aussi représenter un risque pour les chiroptères. Une étude sur 18 parcs éoliens situés dans un contexte d'openfield (cf. photo) en Champagne Ardennes a en effet mis en évidence que bien que la mortalité soit assez faible (1 à 3 chauves-souris/éolienne/an, sans correctifs statistiques), des cas de mortalité ont été observés sur tous les parcs éoliens sans exception<sup>(297)</sup>.

Ainsi sur le parc de Leffincourt (08), Ecosphère a trouvé 12 cadavres de chauves-souris en 15 passages en 2011/2012 sans suivre de protocole régulier.



**Vue aérienne du parc éolien des Plaines du Porcin (08)**

Source : <http://www.wpd.fr>

## 2.3 - Impacts de la mortalité sur les populations

Comme vu précédemment, la mortalité des chiroptères due aux éoliennes peut atteindre des chiffres relativement importants. Pour mesurer l'impact de cette mortalité sur les populations locales, il faut évaluer dans quelle mesure la dynamique de population est affectée.

La taille d'une population dépend d'un certain nombre de facteurs agissant sur les paramètres de survie et de reproduction: le taux de natalité, la longévité moyenne des individus et le taux de survie annuel<sup>(59)</sup>. La plupart des chauves-souris mettent bas un seul petit par an et les femelles de certaines espèces ont une maturité sexuelle tardive atteignant les 3 ans<sup>(125)</sup> ce qui illustre la vulnérabilité des populations.

Du fait des difficultés liées à l'observation des chiroptères (activité nocturne et en hauteur, sons inaudibles sans appareils), peu d'études sur la dynamique des populations ont été conduites jusqu'ici. Le manque de connaissance à ce sujet rend difficile la compréhension des impacts des éoliennes sur les populations de chauves-souris et cela limite l'interprétation sur l'efficacité des mesures de réduction mises en place. Par exemple, l'élévation de la cut-in-speed\* permet de réduire considérablement la mortalité mais, étant donné que la dynamique des populations est mal connue, il est impossible de connaître la portée de l'effet de ces mesures sur les populations : une réduction de la mortalité de 50% par rapport à celle observée sans bridage est-elle suffisante pour assurer la survie de la population? Le taux de mortalité résultant, bien que fortement réduit, peut-il avoir des conséquences sur le maintien des populations ?<sup>(231)</sup>.

Pour mieux appréhender l'effet encore mal connu des éoliennes sur les populations, Hedenström A. et Rydell J. ont développé en 2012 un modèle permettant d'évaluer le risque que représentent les éoliennes sur les populations suédoises de Noctule commune et de Pipistrelle de Nathusius<sup>(85)</sup> (les deux espèces les plus touchées par les éoliennes). Ils ont montré que l'établissement de parcs éoliens, avec un effet cumulatif, peut avoir une réelle incidence sur les chauves-souris en augmentant leur taux de mortalité. Ils ont ainsi démontré (cf. encart) que l'augmentation du nombre d'éoliennes entraîne un déclin des populations de chauves-souris. Par exemple, pour la Pipistrelle de Nathusius, la baisse de la population est estimée à 17% pour un nombre constant d'éoliennes et encore d'avantage si le parc global s'agrandit. Cependant, les résultats sont à interpréter avec prudence puisque les chiffres utilisés pour les calculs ne sont que des estimations. Les résultats suggèrent aussi que si la mortalité due à l'activité éolienne affecte certainement les niveaux de population en Suède, l'effet serait à relativiser par rapport aux autres sources anthropiques de mortalité des chauves-souris<sup>(85)</sup>.

D'autres questions restent aussi sans réponse notamment sur les distances d'impact des éoliennes sur les populations de chauves-souris. Une étude réalisée en Allemagne sur les isotopes stables de l'hydrogène a récemment mis en évidence que les éoliennes tuent les chauves-souris non seulement des populations locales (surtout *Pipistrellus pipistrellus*), mais aussi les chauves-souris qui migrent d'Estonie ou de Russie (*Pipistrellus nathusii*)<sup>(58)</sup>. Une autre étude allemande montre que pour les noctules, 72% des individus sont des chauves-souris locales contre 28 % d'individus migrants dont la majorité sont des femelles<sup>(203)</sup>. Le pourcentage important de femelles étrangères tuées en Allemagne met en évidence le potentiel impact négatif du développement éolien dans ce pays sur les populations de chauves-souris du Nord de l'Europe<sup>(225)</sup>.

## Effect of wind turbine mortality on noctule bats in Sweden: predictions from a simple population model.

D'après Hedenström A. & Rydell J. <sup>(85)</sup>

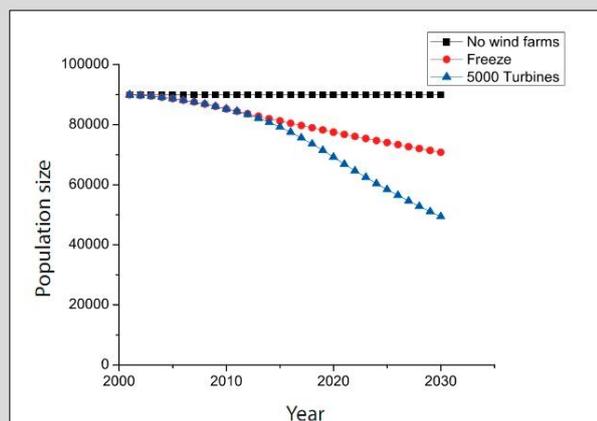
Les hypothèses de base posées par ces experts sont les suivantes: au départ, la population est stable et n'est pas affectée par la mortalité due aux éoliennes. La taille de cette population dans l'année  $t$  est  $N_t$  et la reproduction a lieu une fois par an. Les jeunes nés de l'année  $t$  vont se reproduire à partir de 1 an c'est-à-dire à l'année  $t+1$ . Le taux de survie annuel des adultes et des jeunes est déterminé respectivement par  $s_{ad}$  et  $s_{juv}$ . La fécondité  $\times \frac{1}{2}$  (la moitié des individus nés sont des mâles) est notée  $b_0$ . Il est supposé que la fécondité est dépendante de la densité, ce qui signifie qu'elle diminue avec l'augmentation de la taille de la population. Enfin, il existe une mortalité due aux éoliennes  $h N_w$  qui dépend de la mortalité annuelle par éolienne  $N_w$  et du nombre de turbines  $h$  <sup>(85)</sup>.

Le modèle peut être illustré comme suit :

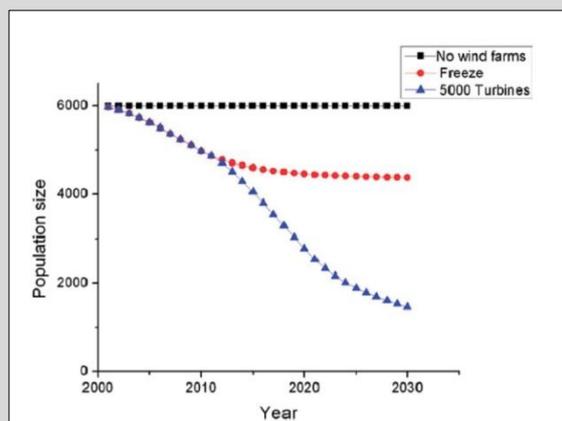
$N_{t+1} = s_{ad} N_t + s_{juv} (b_0 - \beta N_t) N_t - h N_w$  où  $\beta$  représente la densité dépendance par rapport à la fécondité.

Les données utilisées pour les calculs ont été tirées de la littérature allemande puisqu'aucune donnée de mortalité n'existe en Suède. Le taux de mortalité admis par éolienne et par an est de 0,9 Noctule commune et de 0,7 Pipistrelle de Nathusius. La dynamique de la population a ainsi été modélisée pour trois scénarios :

- 1 : aucune mortalité due aux éoliennes.
- 2 : aucune nouvelle implantation d'éoliennes (base en place 1.000 éoliennes).
- 3 : une multiplication par cinq du nombre d'éoliennes d'ici 2020.



Population estimée de noctules communes en Suède selon les 3 scénarios.



Population estimée de pipistrelles de Nathusius en Suède selon les 3 scénarios.

L'enjeu est donc de raisonner les impacts des parcs éoliens sur les populations de chauves-souris à **grande échelle**. Pour cela, il faudrait idéalement tenir compte des effets cumulés de tous les parcs éoliens situés sur l'aire de distribution des espèces, et cela de manière transfrontalière <sup>(58)</sup>, puisque l'aire de distribution des espèces migratrices peut s'étendre de la Grande Bretagne aux pays baltiques ou encore de la Russie à la Grèce.

En France, l'analyse de 9 ans de suivi des espèces communes par le biais du réseau Vigie-Chiro a permis de mettre en évidence les tendances d'évolution des populations de l'hexagone <sup>(298)</sup>. Le groupe des *Myotis* présente une tendance significative à l'augmentation. Selon les auteurs, cette remontée des effectifs est à mettre en lien avec la progression récente des espèces cavernicoles observée en Europe <sup>(298)</sup>. En revanche, certaines espèces déclinent très fortement comme *Pipistrellus pipistrellus*, *Nyctalus leisleri* et *N. noctula* et *Eptesicus serotinus*. Bien qu'il soit difficile d'identifier les causes responsables de la variation pour ces espèces <sup>(298)</sup>, il est intéressant de constater qu'il s'agit des principales espèces généralement victimes des éoliennes.

### 3 - FACTEURS DE RISQUE ET LEURS VARIABILITES

Dans le cadre de la mise en œuvre des principes Eviter-Réduire-Compenser (ERC) pour les projets éoliens, il apparaît nécessaire de comprendre les facteurs de variabilité des risques éolien-chiroptères.

Ces risques peuvent varier en fonction de caractéristiques écologiques (comportement de vol, données abiotiques) mais aussi des caractéristiques techniques des éoliennes ce qui est moins fréquemment étudié. Après avoir estimé la sensibilité des espèces en lien avec le comportement de vol et divers facteurs abiotiques, un échantillon de 152 modèles d'éoliennes sera analysé sous différents angles techniques (pales, vitesse de rotation et de démarrage, surface brassée, etc.).

#### 3.1 - Variabilité des risques selon la hauteur de vol des espèces

A l'évidence, plus la fréquence de vol des chauves-souris en hauteur est importante plus les chances de collisions sont fortes. Ainsi, indépendamment d'une attractivité ou non, il est pertinent d'analyser l'état de connaissances sur ces hauteurs de vol et la variabilité selon les espèces ou les périodes. Pour les données maximum de hauteur de vol des chauves-souris, des études sur le continent américain ont montré des chiffres impressionnants. Ainsi, une étude de Frick *et al.*<sup>(142)</sup> au Texas en 2012 a permis de démontrer grâce à des radars météorologiques que *Tadarida brasiliensis* chasse de 300 à 2.500 mètres d'altitude. Gillam *et al.*<sup>(143)</sup> ont aussi montré que cette même espèce pouvait voler jusqu'à 3000 mètres d'altitude.

##### 3.1.1 - Différences entre l'activité au sol et en altitude

Toutes les études démontrent que l'activité acoustique des chiroptères décroît avec l'altitude :

- En 2014, Hanagasioglu et ses collègues ont mesuré l'activité des chauves-souris à 5, 31 et 119 mètres de haut entre le 1<sup>er</sup> juillet et le 31 octobre. Il en est ressorti que l'activité est majoritaire près du sol puisque 70% des passages (ou contacts) ont été enregistrés à 5 mètres, 25% à 31 mètres et seulement 5% à 119 mètres<sup>(260)</sup>.
- Une diminution de l'activité avec l'altitude a également été observée dans les études de Bach P. *et al.*<sup>(146)</sup> qui ont analysé l'activité à 5, 15 et 30 m en milieu forestier.
- Une étude menée en 2013-2014<sup>(211)</sup> a permis d'analyser les hauteurs de vol des chiroptères sur 6 mats de mesures au niveau de forêts dans le sud-ouest de l'Allemagne. L'information a été recueillie entre avril et novembre et a fourni les résultats suivants : 71,8 % des données (n=43.236) ont été recueillies à 5 m, 16,6% à 50 m et 11,6% à 100 m.
- Les mêmes tendances ont été observées pour plusieurs sites français :
  - Seulement 20% des contacts ont été enregistrés à 50m sur un mât de mesures dans la Marne (51) par le CPIE de Soulaïnes en 2013 ;
  - Sur le projet du parc de Rosières (55), Ecosphère n'a enregistré que 6% des contacts à 63m et dans l'Aisne (02), Ecosphère a relevé environ 70% des contacts à 4m et 30% à 50m lors d'un suivi sur mât de mesures en 2011.
  - Lors d'un suivi sur mât de mesure en Dordogne (24) en 2015, Encis environnement a comptabilisé 91% des enregistrements à 10 m de hauteur et environ 9% à 75 m ; des proportions similaires ont été obtenues par Ecosphère lors d'un suivi dans le même département en 2012 : 92% des contacts ont été enregistrés à 5m et 8% à 90m.
  - Lors d'un suivi sur mât de mesure dans l'Yonne (89) réalisé en 2015 par Ecosphère, le nombre de contacts au niveau du sol était quasiment 10 fois plus élevé que le nombre de contacts enregistré à 40m d'altitude.
  - Enfin des études par trajectographie acoustique dans le nord de la France<sup>(309)</sup> confirment ces écarts à partir de mesures à 11,5 m, 29 m et 49 m où il existe un véritable seuil à 29 m.

Même si ces différences de fréquence entre l'altitude et le sol peuvent éventuellement varier entre les espèces, il ne nous paraît pas nécessaire dans tous les protocoles d'études en hauteur de comparer à chaque fois l'activité au sol et l'activité en altitude, paramètre le plus intéressant.

### 3.1.2 - Variations selon les périodes

Les niveaux d'activité enregistrés en altitude peuvent varier suivant la période de l'année. Le nombre de cris détecté à 50m d'altitude ou plus est supérieur en aout et septembre comparativement aux autres mois de la période d'activité des chauves-souris. Ceci est dû à une éventuelle augmentation de l'activité des espèces migratrices (noctules, etc.) mais aussi à l'apparition des jeunes des populations résidentes pour des espèces comme la Pipistrelle commune<sup>(295)</sup>. En Allemagne, Hurst a aussi observé que l'activité d'altitude (50 et 100m) commence essentiellement en juin et présente des pics en fin d'été<sup>(211)</sup>.

L'été-automne regroupe environ 80% des cadavres trouvés ce qui est en relation directe avec le vol en altitude. Le tableau ci-dessous et Figure 13 montre ainsi l'importance de la période située entre le 15 juillet et le 31 octobre.

Référence	Proportion de cadavres découverts après le 15 juillet
Exen, 2013	73 %
Aves 2011	75 %
Cornut et Vincent, 2010	80 et 83 %
Biotope, 2011	83 % après le 1 <sup>er</sup> aout
Dulac, 2010	91 % après le 1 <sup>er</sup> juillet
Rydell et <i>al.</i> , 2010	90 % entre fin juillet et début octobre

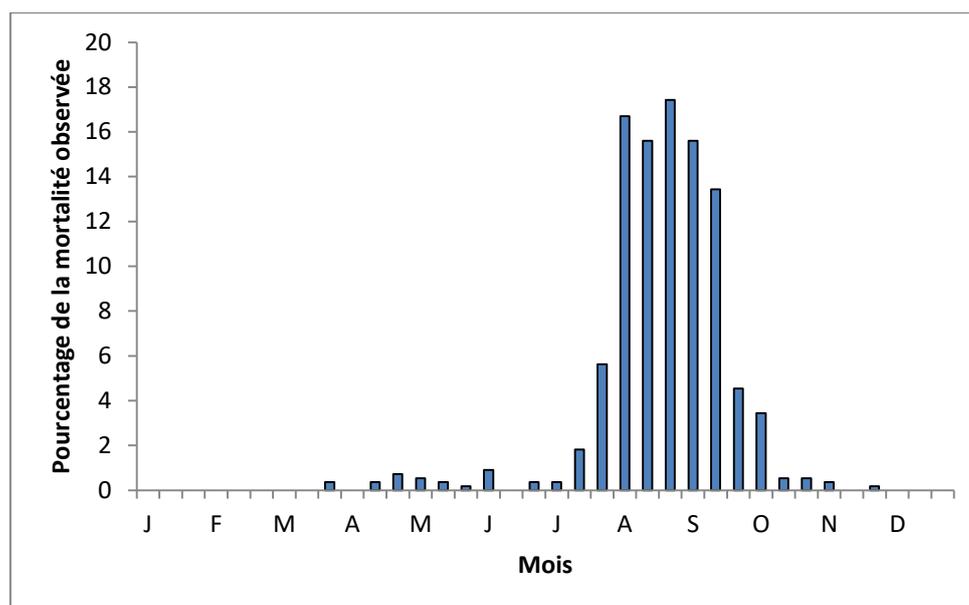
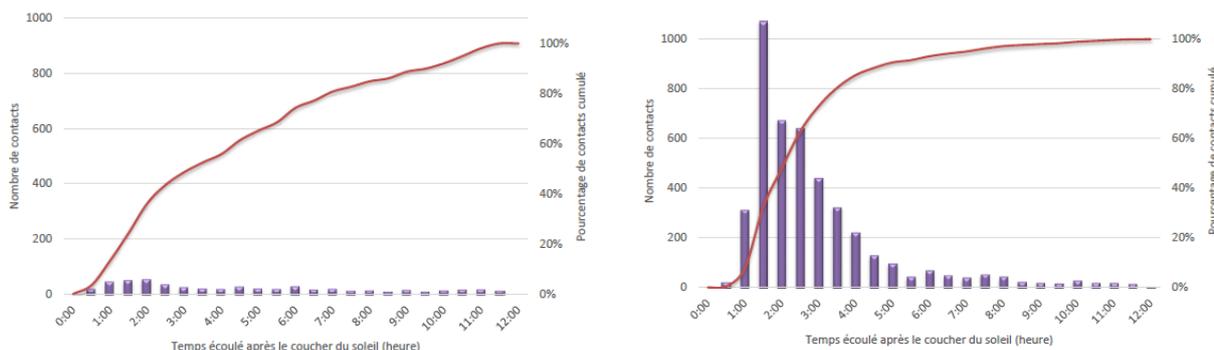


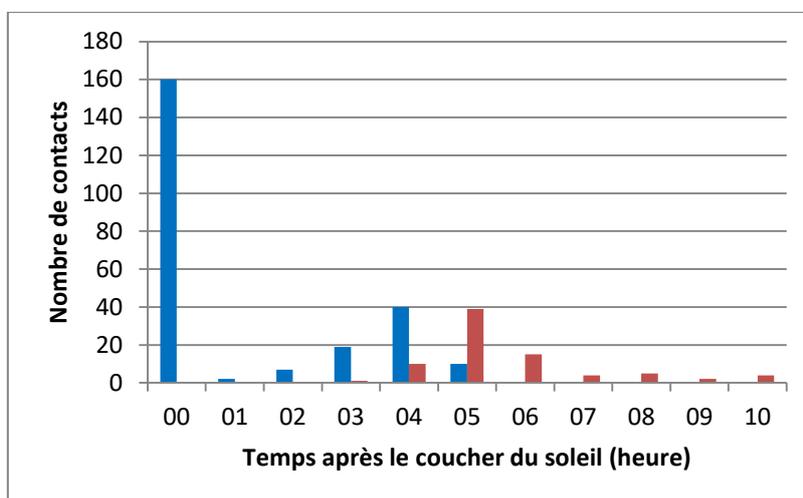
Figure 13 : Mortalité des chiroptères selon la saison en Allemagne<sup>(286)</sup>.

En Dordogne, la mise en place de détecteurs à ultrasons au niveau du sol et à 75m de hauteur a permis de constater que l'activité en altitude est dominante en automne par rapport à l'été<sup>(277)</sup>. En effet, lors de cette étude, 4% des contacts enregistrés sur la période estivale correspondent à des données collectées en altitude tandis que le chiffre s'élève à 24% en Automne. Dans cette même étude, la répartition de l'activité selon l'heure de la nuit en fonction de l'altitude a été analysée. Contrairement à l'activité au niveau du sol qui prédomine en début de nuit (diminution progressive de l'activité après la cinquième heure suivant le coucher du soleil), l'activité d'altitude reste relativement constante toute la nuit (bien qu'il y ait un léger pic d'activité entre 1 et 3 heures après le coucher du soleil)<sup>(277)</sup>.



**Figure 14 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure du coucher du soleil**  
Gauche micro haut et droite micro bas <sup>(277)</sup>

Sur le site de Lomont en 2014, les pipistrelles étaient principalement actives au niveau du sol en début de nuit (4 premières heures après le coucher du soleil). Puis, à partir de la 5<sup>ème</sup> heure, l'activité a essentiellement été enregistrée en altitude (cf. Figure 15), comme si les pipistrelles avaient chassé plus haut en fin de nuit <sup>(259)</sup>.



**Figure 15 : Nombre de contacts de pipistrelles au sol (bleu) et en altitude (rouge) au niveau d'une éolienne en fonction de l'heure après le coucher du soleil (nuit du 7 au 8 septembre 2014)**

Thauront *et al.*, 2015.

Peu de renseignements sont disponibles concernant l'influence de la météo sur la capacité des chauves-souris à voler en altitude. L'étude menée par Hurst et ses collègues a cependant mis en évidence que l'activité à 100 m a lieu pour des vents moyens plus forts que l'activité à 50 m, souvent entre 5 et 10 m/s <sup>(211)</sup>. Il a aussi été observé que l'activité de haute altitude (50m et plus) est beaucoup plus importante en milieu forestier <sup>(295)</sup> sans que les raisons ne soient clarifiées (potentiel de chasse ?).

### 3.1.3 - Variation selon les espèces et sensibilité à l'éolien

Certaines espèces volent très fréquemment en altitude tandis que d'autres ne le font qu'occasionnellement ou jamais. L'analyse de plusieurs études de l'activité des chiroptères sur mât de mesures ou en nacelle a permis de mettre en évidence les espèces susceptibles de se déplacer en altitude, et donc, d'être en interaction avec la zone de rotation du rotor.

Afin de définir la sensibilité de chaque espèce à l'éolien, les données de mortalité recensée en Europe seront aussi prises en considération. Ces données sont issues de la table de T. Dürr recensant la mortalité en Europe depuis environ juillet 2001 <sup>5</sup> (cf. Annexe 4 : Nombre de cas de mortalité en Europe).

<sup>5</sup> <http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>

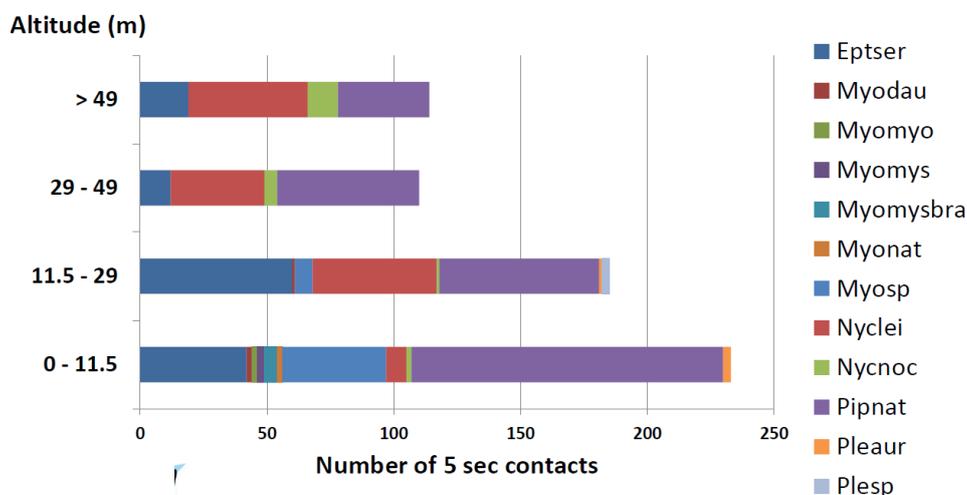
Celle-ci compte 6.668 individus à la date du 16 décembre 2015. Soulignons tout de même qu'elle ne révèle nullement l'ampleur de la mortalité des chauves-souris due aux éoliennes. Des informations équivalentes d'EUROBATS apportent des données complémentaires sur la Croatie par exemple mais surtout ces bases de données ne comprennent que les informations que veulent bien fournir les observateurs. Notons également qu'il est difficile de définir la sensibilité des espèces sur la base des données de mortalité puisque le nombre de cadavres retrouvés est fortement influencé par la densité des populations mais aussi par les pays où les éoliennes sont implantées.

Le croisement de ces deux informations (connaissance sur le vol en hauteur et données de mortalité) permettra le classement des espèces ou groupes d'espèces dans **4 catégories de sensibilité : très forte, forte, moyenne et faible**. Cette classification reste susceptible d'évoluer au fur et à mesure de l'obtention de nouvelles données.

### 3.1.3.1 - Espèces fréquemment présentes en altitude

D'une manière générale, les espèces le plus fréquemment retrouvées en altitude appartiennent au groupe *Eptesicus-Nyctalus* (communément appelé « Sérotules ») et à celui des Pipistrelles. La grande majorité des contacts enregistrés lors des études en altitude analysées a été assignée à des espèces d'un de ces deux groupes :

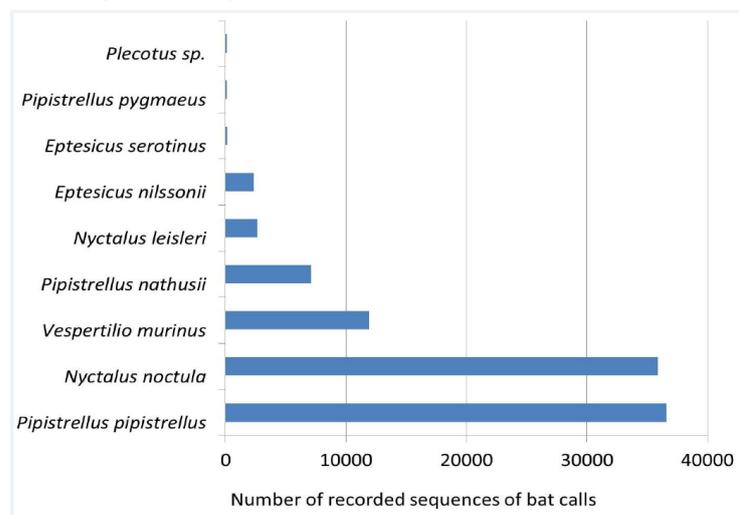
- Environ 99% des contacts appartenaient à l'un de ces groupes sur le site de Castelnau (12) <sup>(210)</sup> ;
- En 2014, lors d'un suivi de 3 nacelles dans le Doubs (25) par Ecosphère, seulement 12 contacts de Molosse n'appartenaient pas au groupe des Pipistrelles ou des Sérotules sur les 1.030 contacts déterminés au moins au niveau du genre ;
- Dans la Marne, le CPIE de Soulaïnes n'a relevé que 2 contacts sur 725 n'appartenant pas à l'un de ces deux groupes lors d'un suivi sur mât de mesure à 50 m en 2013 ;
- Dans l'Indre (36) ainsi que dans l'Aisne (02), la totalité des contacts recueillis par Ecosphère à 50 m ont été attribués à des espèces de ces deux groupes.
- Sur le parc de Rosières, Ecosphère a enregistré 59 signaux appartenant tous au groupe des Pipistrelles ou des Sérotules sur un mât de mesures à 63m en 2014 ;
- Les Pipistrelles et les Sérotules représentaient 486 contacts sur les 492 enregistrés à 40 m par Ecosphère sur un mât de mesures dans l'Yonne (89) ;
- Lors d'un suivi sur mât de mesure réalisé par Ecosphère en Dordogne (24), seulement deux contacts sur les 255 enregistrés à 90 m correspondaient à des groupes différents des Pipistrelles ou des Sérotules ;
- Des études par trajectographie acoustique <sup>(309)</sup> confirment ces constatations (cf. Figure 16).



**Figure 16 : Hauteurs de vol des différentes espèces dans le Nord de la France (hors pipistrelle commune)**

Roemer *et al.*, 2014, (Epteser = sérotine commune ; Myodau = murin de Daubenton ; Myomyo = grand murin ; Myomys = murin à moustache ; Myomysbra = grand murin/murin de Brandt ; Myonat = murin de Natterer ; Myosp = murin sp. ; Nyclei = noctule de Leilser ; Nycnoc = noctule commune ; Pipnat = pipistrelle de Nathusius ; Pleaur = oreillard roux ; Plesp = oreillard sp.)

Des conclusions similaires ont pu être avancées lors d'une étude en Allemagne sur 2 mâts de mesures et plusieurs nacelles (28 en 2013 et 34 en 2014) où l'importance des données de Noctule commune et de Pipistrelle commune est à souligner (cf. Figure 17)<sup>(212)</sup>.



**Figure 17 : Nombre de contact au niveau de nacelles en Allemagne.**

Seules les identifications certaines sont présentées, Feltl *et al.*, 2015.

En 2011, lors d'une étude sur 10 mâts de mesures répartis sur le territoire français, Haquart a estimé qu'une espèce peut être considérée comme fréquente en altitude lorsque la proportion de contacts enregistrés à plus de 25 m dépassait les 25% des contacts totaux (fréquence relative). Cela a été le cas pour 8 espèces dont 6 appartiennent au groupe des Pipistrelles ou des Sérotules : la Sérotine bicolor et de Nilsson, les trois noctules et la pipistrelle de Nathusius<sup>(61)</sup>. Il faut y ajouter le Molosse et le Vespère de Savi. Il est intéressant de constater que la Sérotine commune et les autres pipistrelles, et notamment la Pipistrelle commune, n'ont pas été classées dans cette catégorie par l'auteur. Il s'agit pourtant de l'espèce pour laquelle, en général, le nombre de contact en altitude est le plus important (cf. Figure 17). Ceci s'explique par le fait qu'Haquart s'est intéressé au pourcentage de temps que chaque espèce passe en altitude par rapport au temps de vol total (fréquence relative et non données brutes). Ces observations lui ont permis de constater que la Sérotine commune, les pipistrelles communes, pygmées et de Kuhl passent une grande majorité de leur temps en dessous de 25 m bien qu'elles soient également fréquemment contactées en altitude. Ceci a été confirmé lors d'autres études comme celle sur 7 mâts de mesures en Angleterre où le nombre de contact de pipistrelles communes a été significativement plus élevé à hauteur du sol qu'à 30 mètres<sup>(148)</sup>.

Ceci n'a en revanche pas été le cas pour les espèces du groupe Nyctalus/Eptesicus pour lesquelles proportionnellement plus de contacts ont été enregistrés en altitude (bien que la différence entre le nombre de contact enregistré au sol et en altitude ne soit pas significative<sup>(148)</sup>). Des conclusions similaires ont été avancées dans plusieurs études en ce qui concerne certaines espèces de sérotules ou la Pipistrelle de Nathusius (d'autres cas de figure pourraient exister sur d'autres cas):

- Lors d'un suivi en canopée en Allemagne il a été constaté que le nombre de contacts de noctule commune est plus élevé au-dessus de 30 mètres qu'en dessous<sup>(146)</sup>.
- Les activités de vol les plus importantes de la Noctule commune et de la Pipistrelle de Nathusius n'ont pas été observées au niveau du sol mais à une altitude moyenne comprise entre 55 et 60 mètres sur une étude à grande échelle menée en Allemagne<sup>(212)</sup>. Enfin, à une altitude comprise entre 90 et 140 mètres, seulement 4 espèces ont été enregistrées lors de cette étude. Il s'agit de la Pipistrelle commune et de Nathusius, de la Noctule commune ainsi que la Sérotine commune<sup>(212)</sup>.

En considérant les données précédentes, il est possible de considérer les espèces appartenant aux groupes des **Pipistrelles** et des **Sérotules\*** comme étant fréquemment présentes en altitude, c'est-à-dire

au moins au-dessus de 40 m (au-delà de la canopée). Ces espèces comptabilisant également les nombres les plus importants de cas de mortalité en Europe, il paraît légitime de les considérer comme étant **les plus sensibles** à l'éolien.

Le Molosse de Cestoni et le Vespère de savi sont les seules espèces considérées par Haquart comme étant fréquemment présentes en altitude qui n'appartiennent pas aux groupes des Pipistrelles ou des Sérotules. Il a en effet estimé qu'elles passent respectivement 45 et 25% de leur temps à plus de 25m<sup>(61)</sup>.

En ce qui concerne le Vespère de savi, aucune donnée en altitude n'a été recueillie dans les études analysées mais elles ne situaient pas dans la zone de distribution de cette chauve-souris. L'espèce est pourtant victime des éoliennes dans des proportions assez importantes au vu de son aire de répartition réduite à la partie Méditerranéenne de l'Europe. 196 cadavres ont en effet été retrouvés, dont la plupart en Espagne, au Portugal, en Italie, en Grèce ou encore en Croatie (cf. Annexe 4 : Nombre de cas de mortalité en Europe).

Parmi les études analysées, seulement deux suivis ont relevé la présence du Molosse en altitude, là encore par manque d'étude en zone méditerranéenne :

- L'espèce a été contactée plusieurs fois sur le site de Lomont (25) lors d'un suivi en nacelle réalisé par Ecosphère en 2014 ;
- Des contacts réguliers ont été obtenus sur le site de Castelnaud (12) entre 2009 et 2011.

Par contre, les constats de mortalité sont moins importants pour cette espèce puisque seuls 37 cadavres ont été retrouvés en Europe (quasiment tous en Espagne ou au Portugal). Signalons que cette espèce chasse en plein ciel jusqu'à 300 m d'altitude<sup>(303)</sup>.

Bien que le nombre de contact en altitude et de cas de mortalité de ces deux espèces soient relativement faibles par rapport aux espèces de Pipistrelles ou de Sérotules, le Molosse de Cestoni et le Vespère de savi peuvent être considéré comme **fortement sensibles** au risque éolien dans leur aire de répartition. Les autres espèces de pipistrelles, de noctules et de sérotines ont toutes été considérées comme très **sensibles** au risque éolien dans leur aire de répartition.

Les recherches méritent d'être poursuivies avec parfois des résultats qui interpellent. Ainsi une étude de radio-trekking sur des noctules communes a mis en évidence que les habitudes de vol pourraient différer selon le sexe des individus<sup>(299)</sup>. Les auteurs ont en effet observé que plus d'un quart des localisations GPS obtenues en milieu ouvert pour les femelles se trouvaient à une altitude comprise entre 70 et 130 mètres. En revanche, les mâles suivis ont été beaucoup moins fréquemment observés à de telles altitudes (dans seulement 8% des cas)<sup>(299)</sup>.

### 3.1.3.2 - Espèces occasionnellement présentes en altitude

Parmi les espèces a priori rarement présentes en altitude, il existe quelques cas particuliers pour lesquels la situation n'est pas bien tranchée. Il s'agit de la Barbastelle, des oreillard, du Grand murin et du Minioptère de Schreibers, souvent considérés comme des espèces potentiellement sensibles.

Haquart a estimé que la Barbastelle ne vole que très rarement en altitude puisque moins d'une trajectoire sur 1.000 serait effectuée au-dessus de 25 mètres<sup>(61)</sup>. Lors de l'étude allemande menée par Feltl, la Barbastelle n'a jamais été enregistré à hauteur de nacelle (entre 73 et 114 m) alors qu'elle était présente au niveau du sol<sup>(212)</sup>. Sur deux autres sites français étudiés par Ecosphère dans l'Yonne (89) et dans la Meuse (55), aucun contact de Barbastelle n'a été enregistré en altitude (40 et 63m) alors que l'espèce avait été détectée au niveau du sol.

Néanmoins, une étude dans le Land de Hesse<sup>(213)</sup> a permis de recueillir une donnée de Barbastelle sur une nacelle placée à 64 m. Une autre donnée a été obtenue à 90 m sur un site de Dordogne (24) étudié par Ecosphère en 2012. Sachant qu'il faut tenir compte des populations présentes au droit des sites d'études, et que le nombre d'étude reste très faible, nous considérerons que la Barbastelle vole très

occasionnellement en altitude. Néanmoins aucune étude ne l'a contactée de façon régulière en altitude jusqu'à ce jour. De plus, seulement 4 cas de mortalité ont été observés à travers l'Europe (cf. Annexe 4 : Nombre de cas de mortalité en Europe). La combinaison de ces informations nous permet d'estimer que la **Barbastelle** possède une **faible sensibilité** à l'éolien.

Haquart a tiré les mêmes conclusions pour le groupe des **oreillards** que pour la Barbastelle<sup>(61)</sup>, à savoir des vols en altitude très rares. Dans plusieurs autres études, les oreillards n'ont pas été retrouvés en altitude lorsqu'ils sont présents au sol :

- En 2015 dans l'Yonne (89), 158 contacts d'oreillards ont été enregistré à 4m et aucun à 40m lors d'un suivi réalisé par Ecosphère.
- En Angleterre, quelques contacts d'oreillards ont été enregistrés au niveau du sol et aucun à 30 m<sup>(148)</sup>.
- En Allemagne, les oreillards ont uniquement été enregistrés à 4 et 7,5m lors du suivi de deux mâts de mesures<sup>(212)</sup>.

Certaines autres études ont tout de même obtenu des contacts en altitude :

- Plusieurs données ont été obtenues au niveau de nacelle à 65m à Castelnau (12)<sup>(210)</sup> et à 73 m en Allemagne<sup>(212)</sup>.
- D'autres données ont été enregistrées par Ecosphère sur des mâts de mesures à 90 m en Dordogne (24) en 2012 et à 47 m dans la Champagne crayeuse ardennaise (08) en 2015.

Les oreillards peuvent donc être considéré comme occasionnellement présents en altitude. Bien qu'il n'y ait que 14 cas de mortalité recensés pour les deux espèces d'oreillards (roux et gris), nous pouvons considérer que ce groupe de chiroptère est **moyennement sensible** à l'éolien. En effet, et contrairement à la Barbastelle, les contacts obtenus se sont produits régulièrement sur le site de Castelnau où des oreillards ont été contactés au niveau d'une éolienne lors des 3 années de suivi. Il en va de même sur l'étude menée dans la Champagne crayeuse ardennaise où une dizaine de contacts ont eu lieu au cours de la saison 2015.

Haquart a considéré que les murins de grande taille, notamment le **Grand murin** pouvait passer un certain temps à plus de 25 m de hauteur<sup>(61)</sup>, mais il entrerait dans la catégorie peu fréquent en altitude. Ceci est confirmé par de rares données obtenues à 40m par Ecosphère en 2015 dans l'Yonne (89) et à 50m par le CPIE Soulaines en 2012 dans la Marne (51). L'absence de régularité de ces contacts, le mode de chasse de cette espèce ainsi que la faible mortalité observée en Europe (5 cadavres) permettent de définir le Grand murin comme **faiblement sensible** à l'éolien au même titre que la Barbastelle.

Le **Minioptère de Schreibers** serait, d'après Haquart, une espèce passant une partie de son temps non négligeable à plus de 25 m de hauteur<sup>(61)</sup>, mais il entrerait dans la catégorie peu fréquent en altitude. Plusieurs contacts à différentes dates ont été enregistrés à 65 m de hauteur sur le site de Castelnau (12) en 2011. A l'inverse, Ecosphère n'a observé aucun contact de Minioptère à 90m alors que l'espèce a été relevée à 5m sur un site de Dordogne (24) en 2011. Le manque de données concernant le vol en altitude de cette espèce ne permet pas de trancher facilement sur la fréquence à laquelle elle peut être présente à hauteur de rotation des pales. Le faible taux de mortalité observé en Europe (9 cadavres) permet de supposer que l'espèce, bien que potentiellement présente en altitude, est peu sensible à l'éolien. Cependant certains auteurs la considèrent sensible au vu de ses vitesses de vol et de son grand rayon d'action<sup>(304)</sup>. Au vu du statut de conservation de cette espèce et de l'application du principe de précaution, nous la considérerons pour l'instant comme **moyennement sensible** à l'éolien. Cette classification peut néanmoins évoluer d'ici à quelques années en fonction des nouvelles données et la proximité des gîtes est à prendre en considération.

### 3.1.3.3 - Espèces rarement présentes en altitude

D'après les différentes études analysées, les deux groupes se trouvant très rarement en altitude sont ceux des **Rhinolophes** et des **Murins** (hors Grand murin). Haquart a considéré que ces deux groupes d'espèces sont très peu fréquents en altitude<sup>(61)</sup>.

Lors de l'étude allemande menée par Feltl, le groupe des murins n'a jamais été enregistré à hauteur de nacelle c'est-à-dire entre 73 et 114 m. A l'examen des données issues des mâts de mesures, l'auteur a constaté que les murins ont uniquement été enregistré à 4 et 7,5m<sup>(212)</sup>. En France, de nombreux contacts ont été enregistrés au sol tandis qu'aucun n'a été relevé en altitude :

- En 2015 dans l'Yonne (89), Ecosphère a relevé 14 contacts de murins à moustache, 9 d'oreilles échanquées, 8 d'Alcathoe, 1 de Bechstein, de Brandt et de Natterer à 4m mais aucun contact de ces espèces à 40 m
- Dans la Meuse (55) en 2014, Ecosphère a relevé 88 contacts de murins à 5 m et aucun à 63 m d'altitude

Les Rhinolophes sont réputés pour voler à basse altitude ce qui explique leur sensibilité à la mortalité routière. Aucune étude en altitude n'a relevé leur présence à ce jour.

Nous considérerons donc que les espèces de ces deux groupes ne volent (quasiment) jamais à une altitude supérieure à 30 m. Le nombre de cas de mortalité observé en Europe est par ailleurs très faible pour ces deux groupes d'espèces :

- Pour les murins, le nombre de cadavres retrouvés en Europe varie de 1 à 9<sup>6</sup>
- Seulement 3 cadavres de rhinolophes ont été retrouvés en Espagne: 1 de Grand rhinolophe, 1 de Rhinolophe de Mehely et 1 rhinolophe non identifié.

Ces informations permettent de classer les murins et les rhinolophes comme des espèces **faiblement sensibles** à l'éolien.

### 3.1.3.4 - Tableau de synthèse sur la sensibilité des espèces à l'éolien

Le tableau ci-dessous résume les informations précédemment citées tout en sachant que l'on manque encore de données:

	Présence au-dessus de 30 mètres	Sensibilité à l'éolien
Groupe des Pipistrelles, Noctules & Sérotines	Fréquente	Très forte
Tadarida teniotis & Hypsugo savii	Fréquente	Forte
Oreillards & Miniopterus Schreibersii	Occasionnelle	Moyenne ?
Myotis myotis, Barbastella barbastellus	Très occasionnelle	Faible
Rhinolophes & autres murins	Rare	Faible

**Tableau 3 : Sensibilité connue à ce jour des espèces présentes en France**

Une étude menée sur le nord de la France<sup>(309)</sup> cherche à définir un indice de sensibilité à la collision prenant en compte le nombre de carcasses en France, l'activité acoustique et la distance de détection. Les noctules ressortent comme étant les plus sensibles suivis par la Pipistrelle de Nathusius. Les indices de la Sérotine et le Pipistrelle commune sont bien moindres (et ceux des murins négligeables). Néanmoins cet indice ne tient pas compte du fait que le nombre important de cadavres de Pipistrelle commune trouvé induit des problématiques réglementaires car cela va au-delà du caractère accidentel et nécessite donc une réflexion en matière de dérogation au titre de la législation sur les espèces protégées.

<sup>6</sup> Pour le Murin de Daubenton, une espèce très commune

## 3.2 - Facteurs temporels

### 3.2.1 - Fluctuation selon l'année et la période de l'année

Les études réalisées en Amérique du Nord ont montré des pics de mortalité en plein été jusqu'en automne<sup>(50)</sup>, soit après l'envol des jeunes. Les experts européens font le même constat dénombrant des chauves-souris tuées majoritairement en août et en septembre<sup>(104)</sup>, avec un pic maximal constaté en fin d'été (deuxième moitié de juillet à première moitié de septembre)<sup>(112)</sup> et un micro-pic de mai à juin<sup>(104)</sup>. Le faible nombre d'accidents lors de la saison de maternité malgré un nombre de chauves-souris qui peut être relativement important dans la zone<sup>(50)</sup> est un phénomène attesté.

Une étude réalisée par la LPO sur 3 ans et demi de prospection confirme ces tendances: 91% des individus ont été trouvés entre juillet et octobre et 6% au mois de mai (cf. Figure 18). Cependant, à certains endroits, et particulièrement en altitude, des cas de mortalité sont relevés de mai à octobre sans le pic caractéristiques observé de fin d'été<sup>(95,129)</sup>.

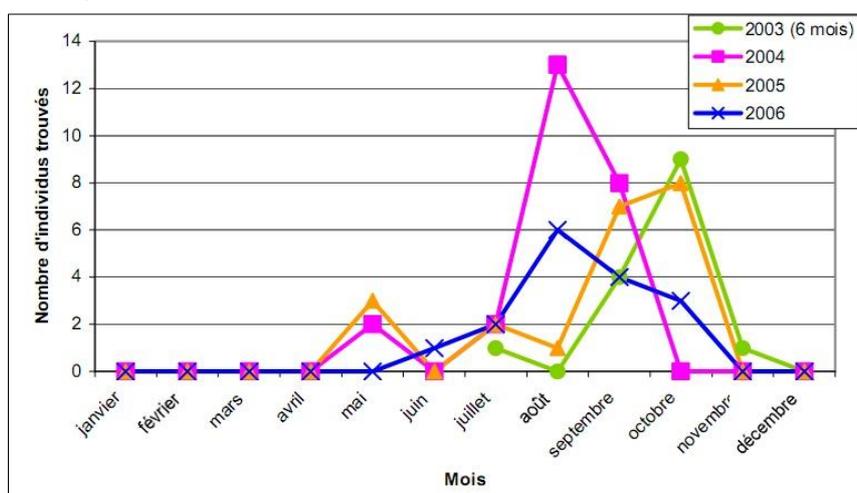


Figure 18 : Evolution mensuelle de la mortalité de chauves-souris sur le site de Bouin Dulac, 2008.

Les nombreux résultats collectés ont mis en évidence que les collisions correspondent au moment des flux migratoires pour la plupart des parcs éoliens<sup>(50)</sup> ainsi qu'aux périodes de transit vers les gîtes d'hiver et aux périodes de « swarming »<sup>(7)</sup>. Quantitativement, les chauves-souris migrant au printemps ne semblent pas aussi affectées que les chauves-souris qui migrent en automne<sup>(50)</sup>. Cela peut être lié aux effectifs de chauves-souris plus élevés en été-automne avec l'apparition des jeunes, par ailleurs inexpérimentés. Est-ce suffisant pour expliquer les différences ? Existents-ils d'autres facteurs liés aux proies disponibles à proximité des éoliennes ?

Les individus les plus touchés sont des espèces migratrices effectuant des trajets de haut vol<sup>(52)</sup>. Le fait que les chauves-souris en migration émettent moins d'ultrasons pendant les grands trajets pour des raisons d'économie d'énergie augmenterait éventuellement le nombre de collisions<sup>(4, 29)</sup>. Ce point n'est cependant pas cohérent avec la notion d'attractivité exposée dans cette étude ou l'importance de toutes les espèces de pipistrelles.

Bien que le pic de mortalité en fin d'été soit aujourd'hui avéré, une certaine hétérogénéité interannuelle a été observée sur plusieurs sites, aussi bien au niveau de l'activité des chauves-souris qu'au niveau du nombre de cadavres retrouvés (en lien avec la période d'envol des jeunes ?)

Sur le parc de Castelnau (12) par exemple, nous pouvons constater des différences assez marquées sur les périodes de mortalité entre les suivis de 2008 et 2009 (cf. Figure 19)<sup>(210)</sup>. Pour les deux années, la période de mortalité principale s'étale globalement sur le même laps de temps, cependant, les premiers pics de mortalité observés en juin possèdent des profils variant selon l'année mais surtout les profils diffèrent largement par la suite avec, en 2008, un important pic de mortalité concentré sur deux semaines à la fin du mois d'août alors qu'en 2009, les principales mortalités sont constatées entre mi-

juillet et mi-août<sup>(210)</sup>. Bien évidemment, les évènements météorologiques qui diffèrent selon les années peuvent expliquer ces différences.

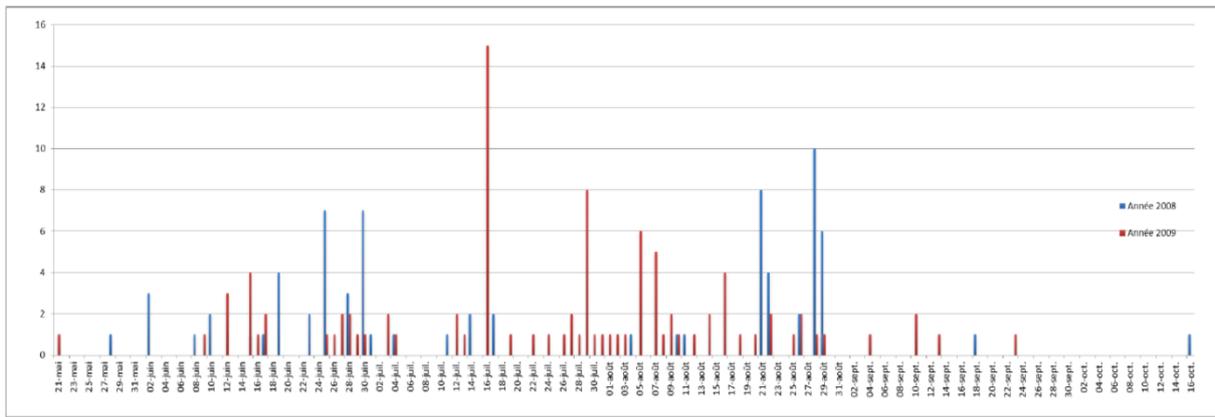


Figure 19 : évolution des chronologies de mortalité observées en 2008 et 2009 sur le site de Castelnau (12).  
Beucher *et al.*, 2013.

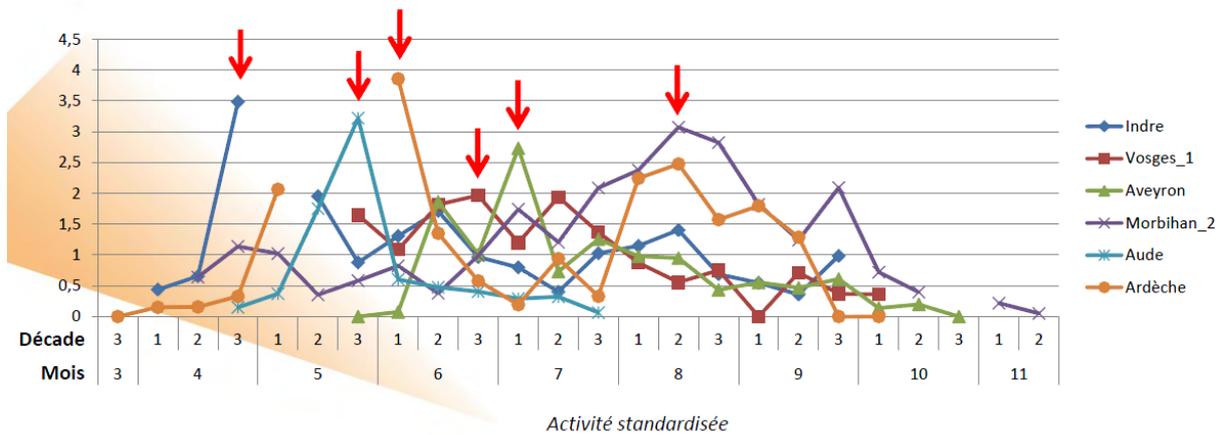


Figure 20 : activité de la Pipistrelle commune sur plusieurs sites français. (Flèche rouge = pic d'activité)  
Haquart *et al.*, 2012.

En prenant l'exemple de la Pipistrelle commune, la Figure 20 rend bien compte du fait que l'activité des chiroptères au cours de l'année peut être très variable selon les sites étudiés. Il en est de même en ce qui concerne l'activité observée deux années de suite sur un même site. Ce phénomène est flagrant lorsque l'on s'intéresse à la comparaison des niveaux d'activité relevés à Castelnau entre 2010 et 2011. Globalement, en 2010, l'activité s'échelonne entre le 20 juin et la fin juillet tandis qu'en 2011, l'activité se concentre sur les mois de mai et juin (cf. Figure 21).

On peut également observer une variation du cortège d'espèces présentes autour d'une même éolienne et parfois sur des laps de temps très courts. Cela a été par exemple le cas entre le 11 et le 12 juillet 2010 où les pipistrelles présentes la première nuit n'ont pas été observées la seconde nuit<sup>(210)</sup>.

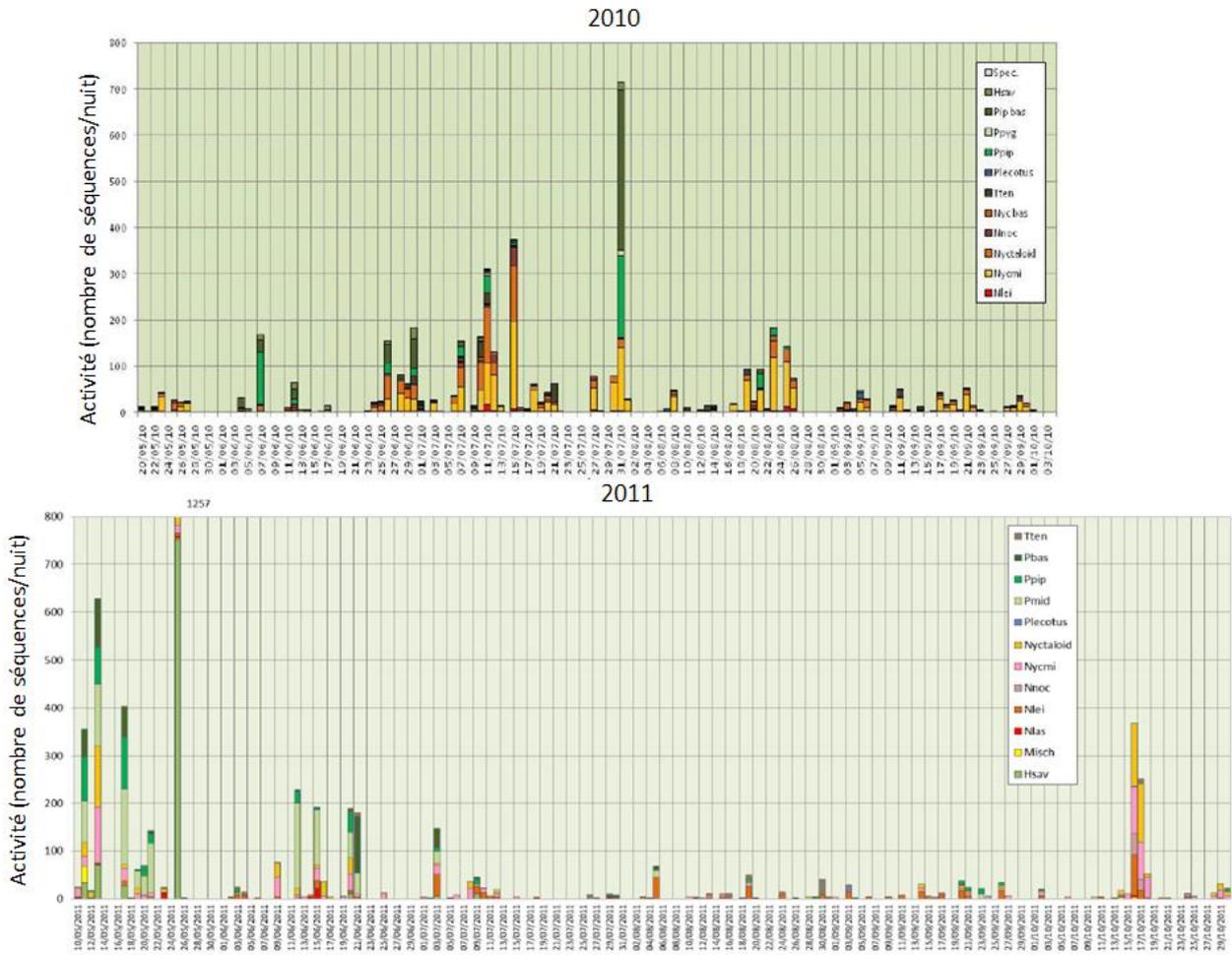


Figure 21 : Comparaison de l'activité observée au niveau d'une éolienne sur le site de Castelnau en 2010 et 2011. Beucher et al., 2013.

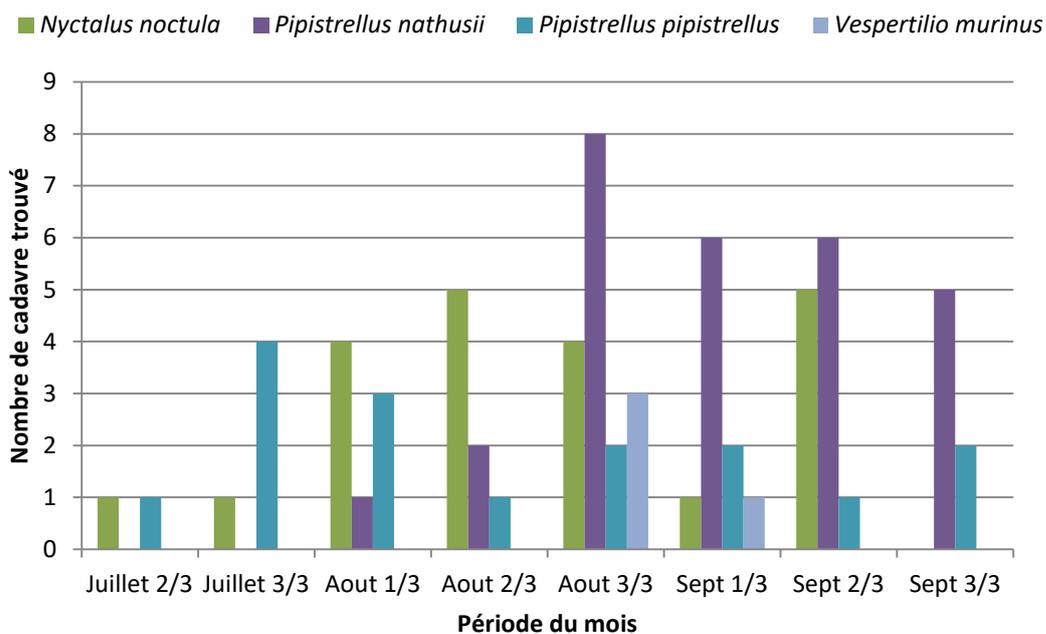
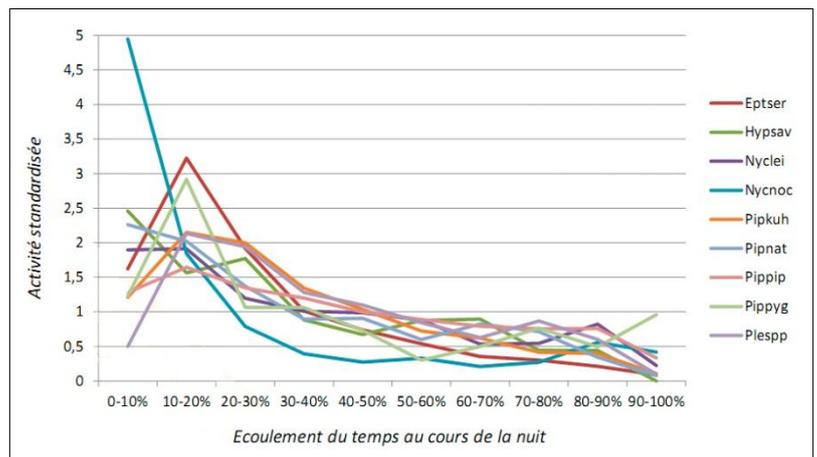


Figure 22 : Phénologie des chauves-souris retrouvées mortes lors de RENEBA T I non corrigé par l'intensité de recherche, Niermann et al., 2011.

Si les espèces détectées varient selon la période de l'année et il en est de même pour les cas de mortalité observés lors des prospections. Ceci a été relevé dans le projet de recherche allemand RENEBAT I (cf. Figure 22) où les prospections quotidiennes ont permis de déterminer précisément la période de décès<sup>(123)</sup>. La Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) est la seule espèce retrouvée quelle que soit la période examinée. Il en est quasiment de même pour la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) pour qui l'on peut observer un pic en août et à la mi-septembre. La Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) et la Sérotine bicoloré (*Vespertilio murinus*) sont retrouvées plus tardivement : pour la première espèce à partir de la première décade d'août avec un maximum lors de la troisième décade du même mois puis une légère diminution et pour la deuxième espèce à partir de fin août début septembre<sup>(123)</sup>.

### 3.2.2 - Fluctuation selon l'heure de la nuit

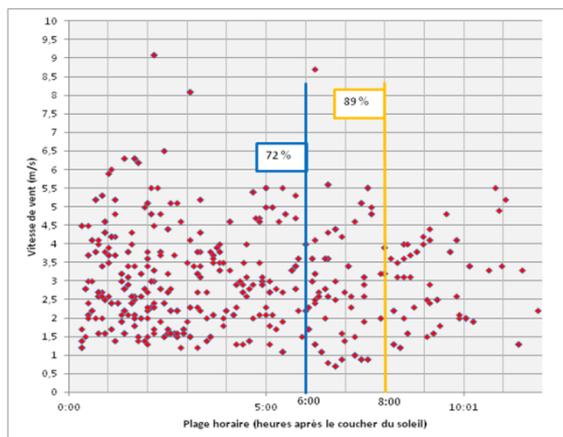
Le risque de collision des chauves-souris avec les éoliennes varie en fonction de leur activité qu'elle soit liée aux périodes de chasse ou de transit. Ainsi plus les chauves-souris sont actives, plus elles sont susceptibles d'être tuées par les éoliennes. Différentes études quantifient l'importance du début de la nuit (les 3 premières heures en général). D'autres études ont mis l'accent sur le premier quart de la nuit<sup>(122)</sup> voire le premier tiers de la nuit<sup>(98)</sup>.



**Figure 23 : Activité de plusieurs espèces de chiroptères en fonction de l'écoulement du temps au cours de la nuit.**

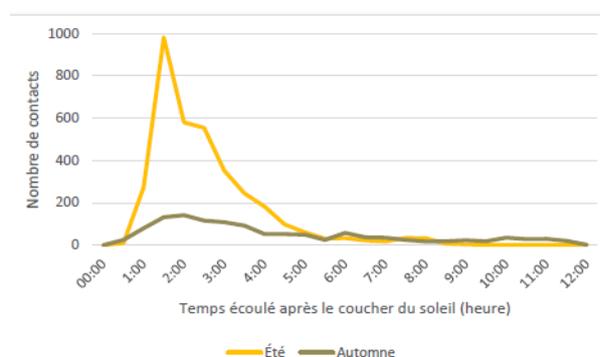
Haquart et al., 2012

Haquart a aussi montré qu'une majorité d'espèces montre une phénologie horaire marquée avec un net pic d'activité dans les 2 premières heures de la nuit<sup>(61)</sup> (Figure 23). L'activité baisse ensuite de manière plus ou moins constante<sup>(122)</sup> et serait ainsi plus faible vers la fin de la nuit, c'est-à-dire 4h à 7h après le coucher du soleil<sup>(5)</sup>.



**Figure 24 : Distribution des contacts enregistrés en nacelle sur le parc de Lomont en fonction de l'heure après le coucher du soleil du 7 août au 4 novembre 2014.**

Thauront et al., 2015.



**Figure 25 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure de coucher du soleil et de la saison.**

Encis Environnement, 2015.

Bien que plusieurs auteurs aient mentionné une activité plus conséquente en début de nuit, une telle distribution de l'activité ne peut être appliquée dans tous les cas. En 2014 sur le parc de Lomont par exemple (Figure 24), c'est seulement à la sixième heure après le coucher du soleil que 72% des contacts sont atteints (et 89% à la 8<sup>ème</sup> heure)<sup>(259)</sup>.

La distribution de l'activité au cours de la nuit peut dépendre également de la saison à laquelle l'étude est faite (Figure 25): en Dordogne et sur la période estivale, 90% des contacts ont été enregistrés entre le coucher du soleil et les 4 premières heures de la nuit environ. En revanche, sur la période automnale, il faut patienter quasiment 9h30 pour obtenir cette même proportion d'enregistrement<sup>(277)</sup>.

L'activité peut également être distribuée différemment selon les espèces. Ainsi, la Pipistrelle commune et le groupes des sérotines et des noctules semblent être actifs au début de la nuit avec une diminution progressive de l'activité durant le reste de la période d'éveil. La Pipistrelle de Nathusius semble, elle, avoir une activité plus constante durant la nuit<sup>(62)</sup> (Figure 26). Brinkmann a même montré qu'elle avait un pic d'activité maximale au milieu de la nuit<sup>(122)</sup>.

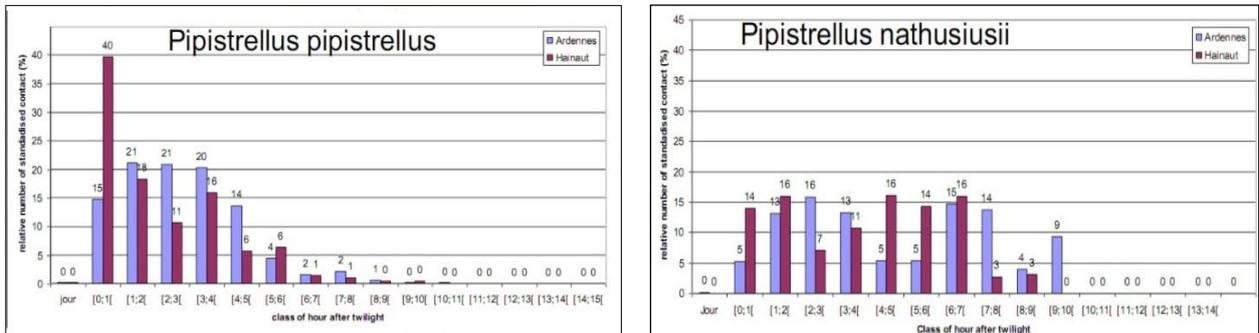


Figure 26 : Activité acoustique de la Pipistrelle commune et de la Pipistrelle de Nathusius mesurée tout au long de la nuit sur deux sites. Joiris, 2012.

D'autres espèces comme le Molosse de Cestoni, la Barbastelle d'Europe, le Minioptère de Schreibers et les murins peuvent aussi maintenir leur activité jusque tard dans la nuit (Figure 27)<sup>(61)</sup>.

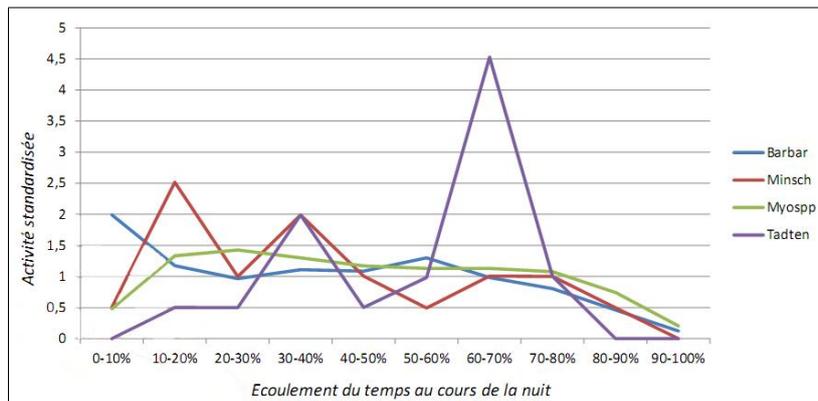


Figure 27 : Activité acoustique de quelques espèces de chiroptères en fonction de l'écoulement du temps au cours de la nuit. Haquart & al. 2012.

De plus, la distribution des heures d'activité ne suit pas toujours le même schéma au cours des nuits. Par exemple, sur le site de Castelneau, il a été observé un pic d'activité de Molosse de Cestoni entre minuit et une heure du matin la nuit du 11 au 12 juillet alors que la nuit suivante, l'activité de cette espèce s'est concentrée entre 3 et 4 heures du matin<sup>(210)</sup>.

Ces variations peuvent être fortement influencées par des facteurs environnementaux (vitesse du vent, température ;..), sociaux (swarming) ou encore trophiques comme c'est sans doute le cas pour le Molosse qui est un chasseur opportuniste dépendant surtout des concentrations temporaires d'insectes<sup>(125)</sup>.

### 3.3 - Les facteurs météorologiques

#### 3.3.1 - Les précipitations et la température

En général, la pluie stoppe l'activité des chauves-souris<sup>(5)</sup> ou la diminue au moins fortement<sup>(122)</sup>. Kerns *et al.* ont montré qu'un nombre important de collisions se produisent quelques jours après de grosses pluies (fronts froids) lorsque la pression de l'air augmente, avec une faible humidité et de faibles vents<sup>(104)</sup>.

Concernant la température, l'activité est globalement plus marquée à partir de 16°C<sup>(8)</sup> avec une augmentation de l'activité entre les valeurs comprises entre 10 à 25°C<sup>(122)</sup>. Ces données sont néanmoins dépendantes de la situation géographique et de l'altitude.

La tolérance à la température est cependant variable selon les espèces (Figure 28, Figure 29). La Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune semblent ainsi encore mobiles lors de faibles températures: leur plus basse activité a été mesurée respectivement à 2°C et 1°C<sup>(62)</sup>.

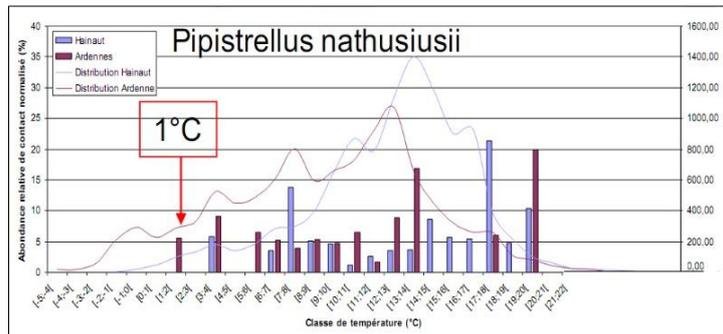


Figure 28 : Activité de la pipistrelle de Nathusius en fonction de la température mesurée sur deux sites. Joiris, 2012.

En revanche le groupe des noctules et des sérotines, présenteraient une plus haute sensibilité à la température avec des seuils de température minimale respectivement de 8°C et 6°C pour le début de l'activité<sup>(62)</sup> dans les Ardennes belges. Les espèces glaneuses semblent être également moins sensibles à la température<sup>(61)</sup>.

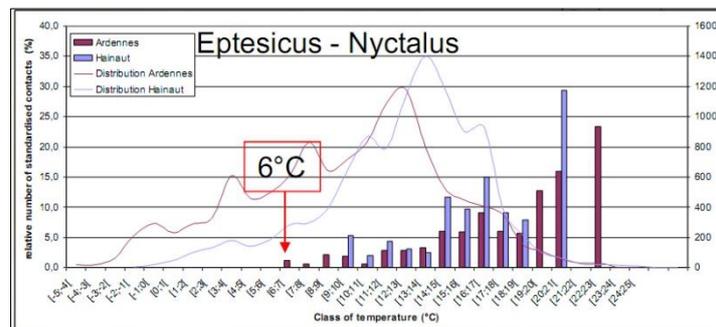
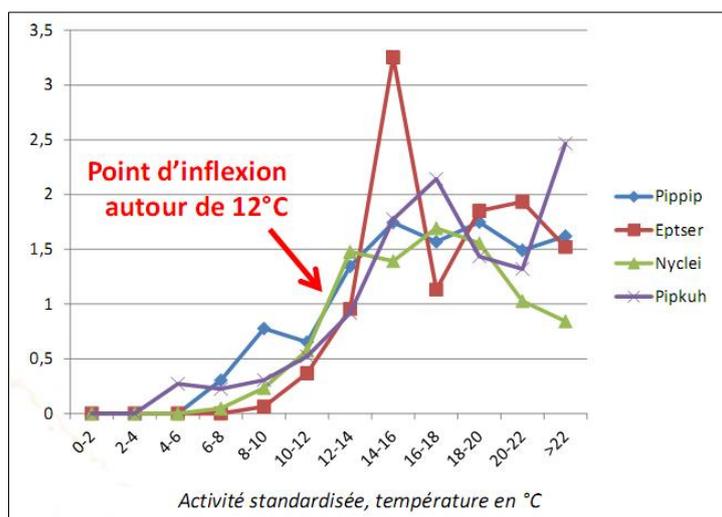


Figure 29 : Activités des sérotines et noctules en fonction de la température mesurées sur deux sites. Joiris, 2012.

Pour la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Noctule de Leisler et la Sérotine commune, la réponse au changement de température est similaire avec un point d'inflexion à 12°C (Figure 30)<sup>(61)</sup>.

La Pipistrelle commune peut néanmoins montrer une sensibilité à la température différente selon les sites comme l'ont montré les deux études distinctes réalisées par Joiris<sup>(62)</sup> d'une part et par Haquart<sup>(61)</sup> d'autre part.



**Figure 30 : Activité acoustique des espèces de haut vol mesurée à différentes températures.**  
Joiris, 2012.

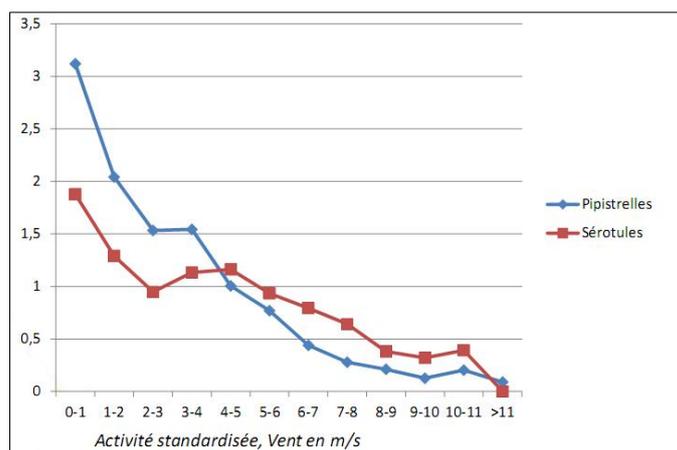
Les conditions climatiques ont également un effet indirect sur les chauves-souris puisqu'elles ont une influence sur les phénomènes d'essaimage d'insectes pouvant dépendre des facteurs d'insolation, de la température et étant aussi liés à des conditions orageuses.

Les importantes variations d'activité décrite précédemment sur le site de Castelnaud entre 2010 et 2011 (Figure 21) pourraient s'expliquer par ce type d'événement : le mois de mai 2011 a été particulièrement sec avec des températures élevées (mois de mai le plus chaud depuis 1950) et un ensoleillement exceptionnel en Aveyron. Ces conditions particulières sont propices aux perturbations pluvio-orageuses qui auront lieu du 11 au 14, puis le 18 et du 26 au 31 mai et correspondent parfaitement aux pics d'activité observés. En comparaison, le mois de mai 2010 fut plus frais et maussade. Il semblerait donc que la sécheresse et les conditions orageuses aient été favorables à l'émergence précoce d'insectes encourageant les chauves-souris à être actives plus tôt que les années « ordinaires » pour se nourrir de cette ressource abondante<sup>(210)</sup>.

### 3.3.2 - Le vent

La vitesse du vent apparaît comme un facteur clé de régulation de l'activité des chauves-souris en altitude. Des études ont par exemple montré que 94% des contacts sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 6m/s<sup>(8)</sup> ou 6,5m/s<sup>(98)</sup>. Ainsi, la mortalité est plus élevée en période de faible vent<sup>(50)</sup>.

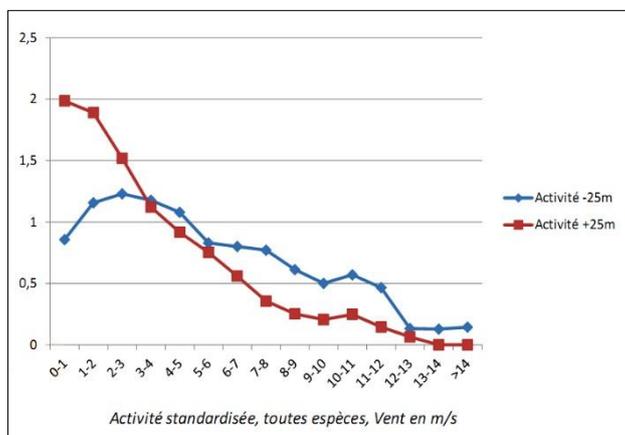
Comme précédemment, il existe des différences de sensibilité selon les espèces. La Pipistrelle commune a une activité très faible si le vent est supérieur à 6 m/s alors que c'est moins le cas pour la Pipistrelle de Nathusius. De même, la Noctule commune peut chasser à proximité d'éoliennes par vent plus fort et se fait tuer à des vitesses de vent plus importantes que la pipistrelle<sup>(104)</sup>. Les grandes espèces telles que les noctules et les sérotines semblent être plus résistantes au vent que les pipistrelles<sup>(61)</sup> (cf. Figure 31).



**Figure 31 : Activité du groupe des Pipistrelles et des Sérotules en fonction du vent**  
Joiris, 2012.

Bach *et al.* <sup>(161)</sup> ont également étudié l'impact de la vitesse du vent sur l'activité des chiroptères de 2007 à 2009 sur les zones côtières. Ils ont montré que la Pipistrelle de Nathusius et les noctules sont moins sensibles aux fortes vitesses de vent que les autres espèces de pipistrelles et les sérotines. De plus, l'activité de ces espèces diminuerait rapidement à partir de vent atteignant 6 à 7 m/s tandis que les noctules et la pipistrelle de Nathusius chasseraient souvent à des vitesses de vent supérieures à 8 m/s. Néanmoins la tolérance au vent sur les côtes est plus élevée que dans les terres, où l'activité commence déjà à diminuer à partir de 6 m/s.

Joiris a montré que l'activité en hauteur diminue plus vite avec le vent que l'activité au sol <sup>(62)</sup> (Figure 32).

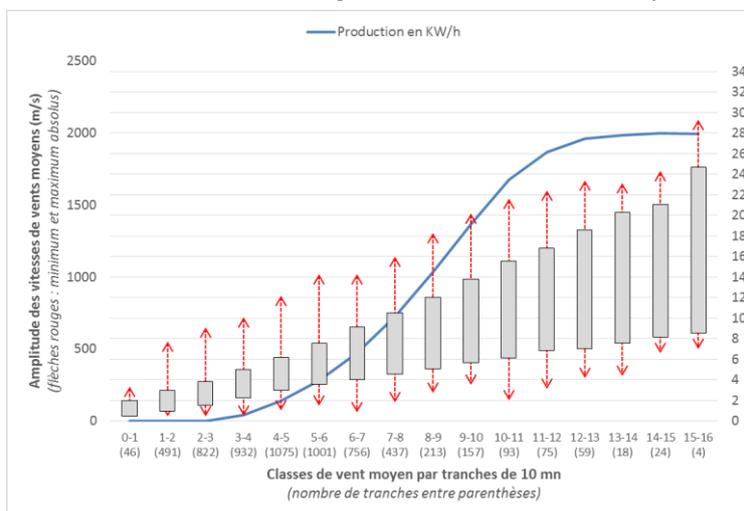


**Figure 32 : Activité des chiroptères mesurée en fonction du vent à une hauteur inférieure à 25m et supérieure à 25 m.**  
Joiris, 2012.

Bach a montré que l'activité des espèces le plus souvent victimes des éoliennes (noctules et Pipistrelle de Nathusius) est fortement sous-estimée lorsque les mesures sont effectuées au sol dans une zone forestière. Il est impossible d'évaluer l'activité des chauves-souris pour étudier l'impact d'un futur site éolien en forêt en n'effectuant que des mesures au niveau du sol. L'activité des chauves-souris doit plutôt être mesurée au-dessus de la canopée en installant un système d'enregistrement sur une longue durée <sup>(146)</sup>. Les mesures en hauteur sont donc indispensables pour déterminer l'influence du vent sur l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes.

Comme pour la température, la Pipistrelle commune présente une tolérance au vent variable selon la localisation des zones étudiées <sup>(62)</sup>. Ainsi, Joiris a mis en exergue des plages d'activité différentes selon les sites en fonction de la vitesse du vent. Dans les Ardennes, l'activité de cette espèce s'étalait de 0 à 6 m/s alors que dans le Hainaut, elle a été enregistrée jusqu'à 10 m/s <sup>(62)</sup>. Il est donc difficile de généraliser les affirmations et c'est pourquoi il est demandé d'évaluer la dangerosité des sites au cas par cas.

Alors que l'on s'intéresse généralement aux vitesses de vent moyennes sur un laps de temps donné (habituellement 10 mn), Cryan a notamment mis en évidence que les chauves-souris s'approchent beaucoup plus des éoliennes lorsqu'elles sont à l'arrêt ou en rotation lente<sup>(204)</sup> et a récemment mis en garde sur le risque que pourrait représenter les rafales survenant lors de périodes de vent favorables à la présence des chiroptères. Cette piste a été étudiée plus en détail sur le site de Lomont (25) où il a été constaté que l'amplitude des vitesses de vent augmente avec la vitesse moyenne des vents<sup>(259)</sup>.

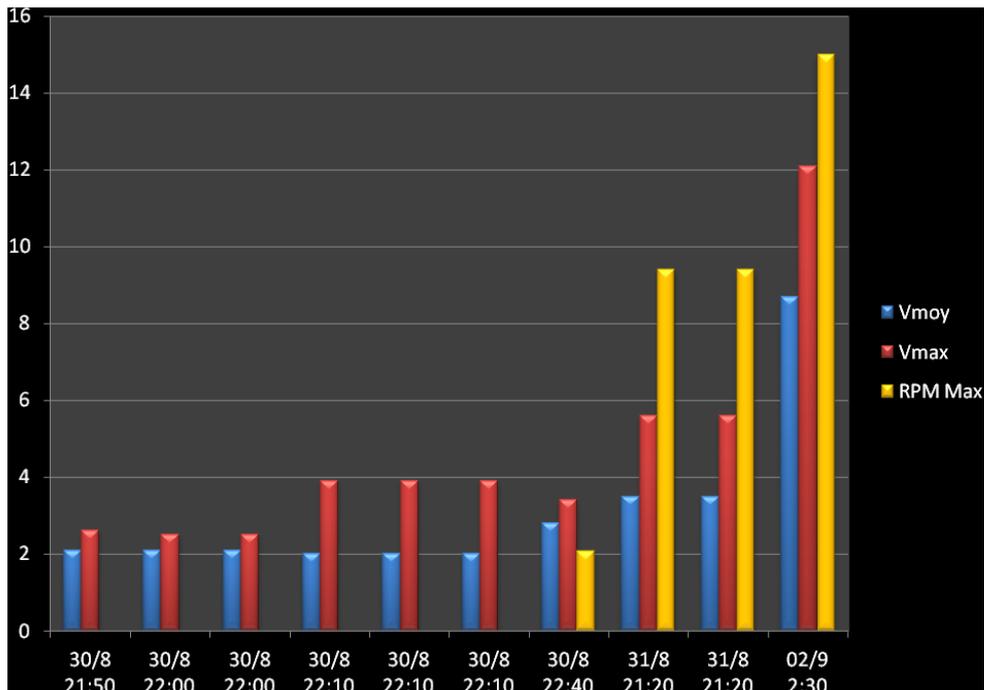


**Figure 33 : Amplitude des vitesses de vent (m/s) nocturne selon les classes de vent moyen par tranches de 10 mn du 7 août au 4 novembre 2014.**

Thauront *et al.*, 2015.

On peut ainsi constater que même à des vitesses de vents assez faibles (1 à 4m/s), des événements allant de 6 à 10 m/s peuvent survenir représentant un facteur de risque majeur pour les chiroptères<sup>(204)</sup> dans le cas où les pales seraient laissées en free-wheeling\*. En effet, lors de ces rafales, les pales sont entraînées par la force du vent à des vitesses de rotations élevées. Sur le site de Lomont, en considérant que le risque apparaît à 8-9 tours/min, cela concerne 311 contacts de chauves-souris sur 718 détectés en nacelle, soit 43,3% des données. Parmi tous ces contacts, près de 50% ont été enregistrés pour des vents moyens de 2 à 4 m/s<sup>(259)</sup>. Au final, près de 150 contacts, donc potentiellement 150 chauves-souris se trouvaient dans une situation à risque sur la période d'étude puisqu'elles étaient actives lors de faibles vitesses moyennes de vent comprenant des rafales capables d'entraîner les pales à des vitesses de rotation élevées.

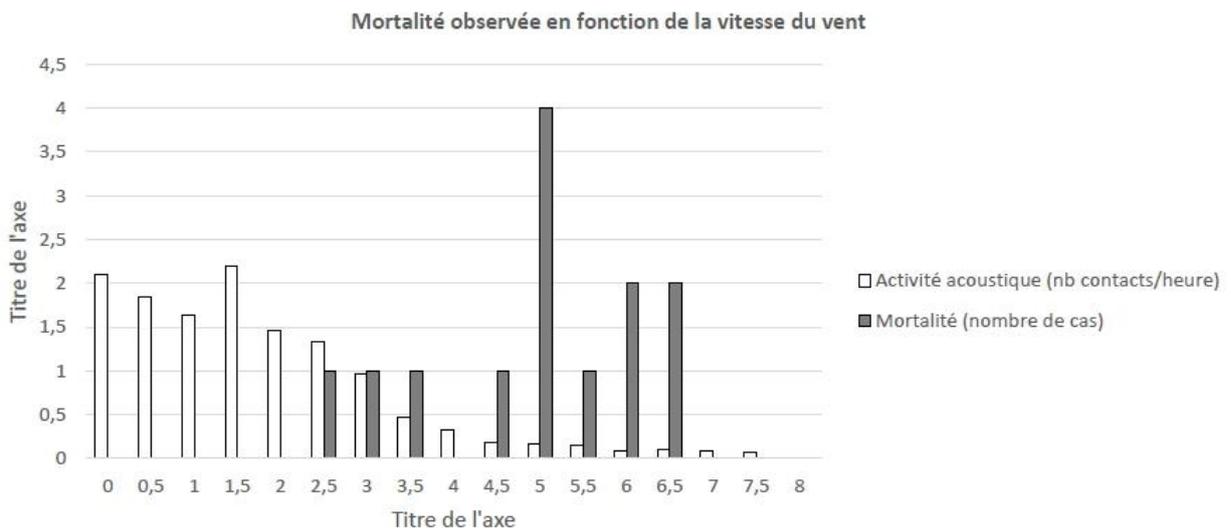
Lors du suivi de mortalité sur ce même site, 3 cadavres de pipistrelles communes ont été retrouvés au pied d'une éolienne le 2 septembre. Comme le montre le graphique ci-dessous, les jours précédant la découverte des cadavres sont caractérisés par une augmentation des rotations par minute maximales (RPM max) du rotor. Le suivi de mortalité a été fait tous les 3 jours et aucun cadavre n'a été découvert le 29 août, ce qui empêche de connaître la date et l'heure exacte des collisions mais il est possible d'envisager qu'elles aient eu lieu lors de ces moments avec des vitesses de vent inférieures à 6 m/s pendant lesquelles les vitesses de rotation des pales étaient supérieures à 9 tours/min.



**Figure 34 : Vitesses de vent et rotation des pales sur les tranches de 10 mn avec contacts de Pipistrelle commune sur une éolienne quelques jours avant la découverte de 3 cadavres au sol le 2 septembre.**

Thauront *et al.*, 2015.

Plusieurs questions subsistent car si l'on connaît assez bien la fréquence des vols selon la vitesse du vent, et donc le risque, on évalue encore mal la fréquence de la mortalité selon les différentes (mêmes) classes de vent. L'effet rafale abordé ci-dessus est une possibilité mais il est aussi possible que la mortalité soit plus forte avec l'augmentation de la vitesse du vent. Ainsi une étude menée en Belgique<sup>(308)</sup> à partir d'imagerie thermique semble montrer une plus forte proportion de mortalité lorsque les vitesses de vent atteignent 5-6 m/s (cf. Figure 35).



**Figure 35 : Mortalité et activité en fonction de la vitesse du vent**

Source Rico & Lagrange, 2016<sup>(308)</sup>

### 3.4 - Variation du risque de collision en fonction du type d'éoliennes

Il est assez rarement étudié dans quelle mesure certains paramètres techniques des éoliennes peuvent accroître, ou au contraire diminuer, le risque qu'elles représentent pour les chiroptères. C'est pourtant digne d'intérêt dans le cadre des mesures de réduction d'impact.

Ces dernières années, les éoliennes tri pales à axe horizontales sont les plus répandues. Il peut exister de nombreuses différences entre chaque modèle notamment la hauteur et la vitesse de rotation ainsi que le diamètre du rotor.

Les avancées technologiques de ces deux dernières décennies ont permis de construire des éoliennes de plus en plus puissantes et donc de plus en plus grande afin de brasser un maximum d'air. En effet, dans les années 1990, les éoliennes possédaient une hauteur de mât et un diamètre de rotor d'environ 30m. Les éoliennes terrestres les plus puissantes en production à l'heure actuelle sont plus de 3 fois plus grande, avec une hauteur de mât et un diamètre du rotor pouvant dépasser les 100m<sup>(296)</sup> (cf. Figure 36).

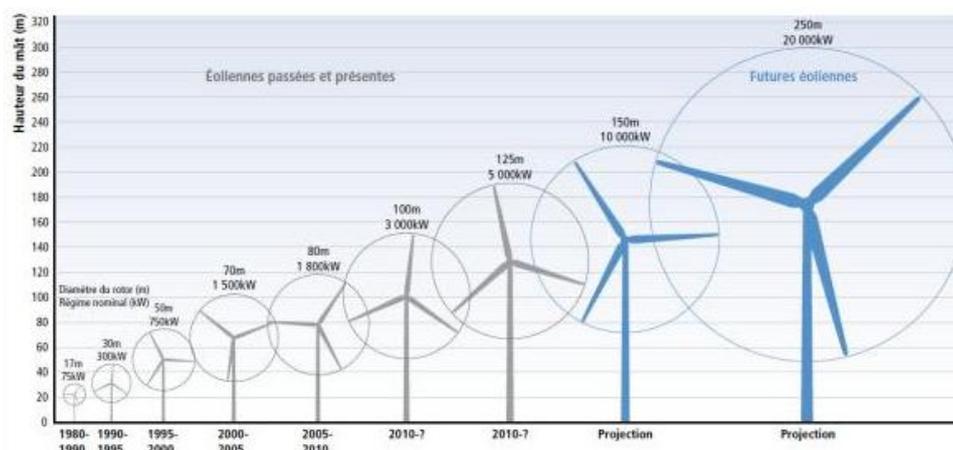


Figure 36 : Evolution de la taille des éoliennes depuis les années 1980 (Source : IPCC)

Ces considérations influent sur la qualité des données recueillies sur la mortalité car les informations techniques sur les machines concernées sont rarement fournies.

La tendance actuelle est donc à la mise en service d'éoliennes puissantes et de grande taille ainsi qu'au remplacement des machines moins performantes par du plus grand éolien (= Repowering) ce qui peut avoir des conséquences sur la conservation des chauves-souris.

Certains auteurs ont supposé que les grandes éoliennes actuellement installées pourraient engendrer des dommages physiques plus importants aux chauves-souris que celles de taille plus réduite<sup>(204)</sup>. Par exemple, une plus forte diminution de la pression de l'air au niveau de longues pales pourrait résulter en un pourcentage plus important de chauves-souris tuées par barotraumatisme par rapport à celle tuées par traumatisme contondant. Ces considérations sont importantes à prendre en compte dans l'estimation de la mortalité liée aux éoliennes. En effet, les chauves-souris tuées suite à une collision avec les pales de la turbine tombent généralement à proximité de l'éolienne et sont donc retrouvées par les personnes en charge du suivi. En revanche, les chauves-souris atteintes de barotraumatisme peuvent souffrir de symptômes qui s'avéreront létaux plusieurs minutes, heures voir plusieurs jours plus tard. Ces chauves-souris ne mourront pas à proximité des éoliennes et ne seront donc pas prises en compte dans les études de suivi. Il pourrait alors en résulter une sous-estimation plus ou moins importante de la mortalité totale.

#### 3.4.1 - Base de données techniques sur les éoliennes

Un échantillon de 152 modèles d'éoliennes pour lesquelles des données techniques étaient disponibles a été constitué pour la présente étude. Cet échantillon est composé principalement avec des éoliennes produites par les cinq constructeurs représentant plus de 80% de la puissance installée en France en 2014 : Enercon, Vestas, Senvion, Nordex et Gamesa<sup>(153)</sup>. Il s'agit d'éoliennes à « grande puissance » produisant plus de 800kW avec une hauteur de mat en général supérieure à 50m étant donné que ce

type de machines est celui qui est couramment installée dans les parcs récents. Cet échantillon n'est pas forcément représentatif des éoliennes actuellement en fonctionnement mais il est cohérent avec les éoliennes mises actuellement sur le marché, avec des modèles pour lesquels les informations techniques sont disponibles sur le WEB. L'échantillon permet de tester des paramètres techniques mais cette démarche pourrait être étendue à d'autres modèles. Il reste possible qu'une partie de l'échantillon comprenne des machines utilisées pour les parcs offshore et non pas onshore. L'échantillon se compose de :

- 52 éoliennes Enercon dont les puissances s'échelonnent de 0,8 à 7,58 MW
- 40 éoliennes Gamesa de 0,85 à 3,3 MW
- 16 éoliennes Nordex de 2,4 à 3,3 MW
- 20 éoliennes Senvion de 2 à 6,15 MW
- 24 éoliennes Vestas de 0,85 à 3 MW

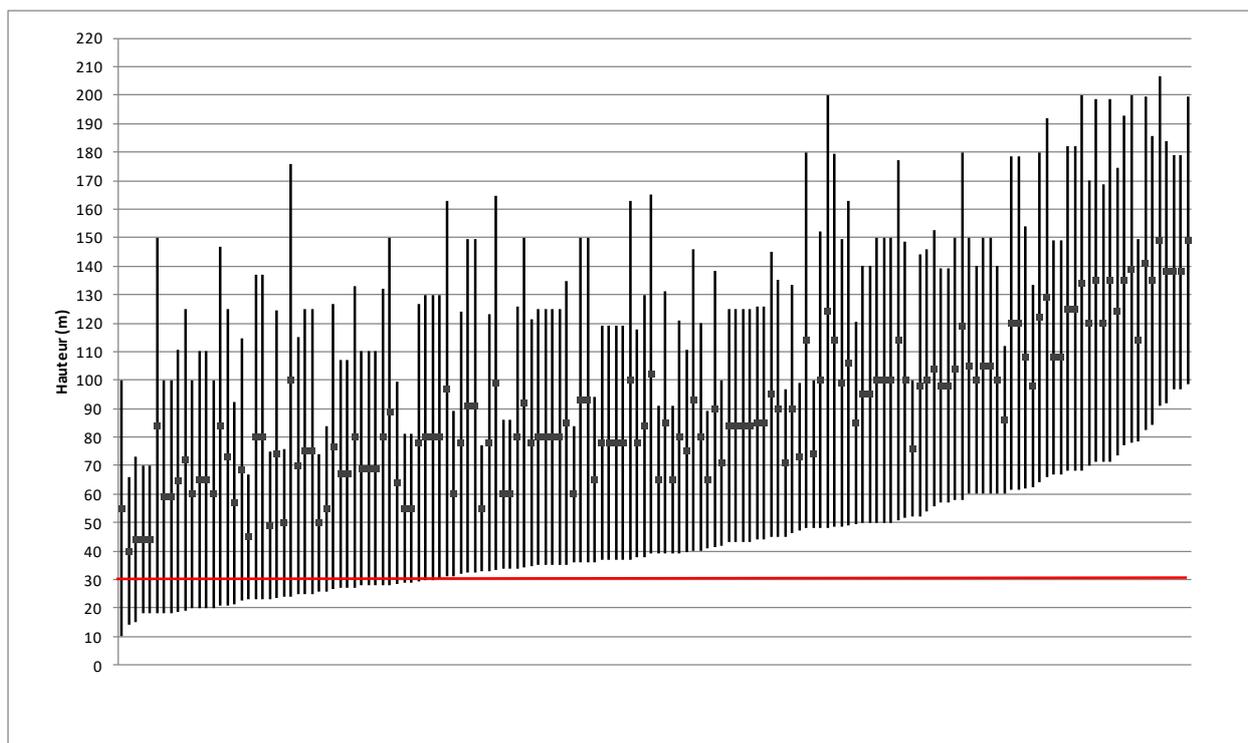
L'Annexe 5 présente un tableau récapitulatif des données techniques analysées à partir du WEB (en général sur le site des fabricants): numéro d'identification, société, type d'éolienne, et caractéristiques techniques (puissance nominale, dimensions, vitesse de vent au démarrage). Les dimensions recueillies concernent la longueur des pales (diamètre du rotor) et la hauteur du mât. A partir de ces deux données, est calculée non seulement la hauteur en bout de pale (hauteur totale de l'éolienne), ce qui est souvent abordé dans les études, mais aussi la garde au sol (distance entre le sol et la partie inférieure du bout) ce qui pour une raison inconnue est moins souvent relevé dans les études d'impact.

La vitesse de vent au démarrage de la production (cut-in-speed) est un point intéressant à prendre en compte puisque l'activité des chauves-souris diminue lorsque la vitesse de vent augmente au-delà d'un certain seuil. Ainsi, le risque de collision est potentiellement plus élevé pour les éoliennes dont la vitesse de vent au démarrage est faible<sup>(68)</sup>.

### **3.4.2 - Analyse des caractéristiques des éoliennes pouvant représenter un risque pour les chiroptères**

#### **3.4.2.1 - La hauteur balayée par les pales et la garde au sol**

Les chapitres précédents ont permis de constater que la capacité des chauves-souris à voler à plus ou moins haute altitude diffère selon les espèces. Il est donc intéressant d'analyser la hauteur balayée par les pales de chaque type d'éolienne. Ce paramètre dépend de la hauteur du mât et du diamètre du rotor. Il est représenté pour chaque éolienne sur la Figure 37 et la hauteur de 30 m est matérialisée en lien avec les connaissances sur les espèces.



**Figure 37 : Graphique représentant la hauteur balayée par les pales des éoliennes de notre échantillon.**

La hauteur de la garde au sol permet d'évaluer la dangerosité d'une éolienne vis-à-vis d'un cortège d'espèces. En effet, une éolienne représente un risque uniquement pour les espèces capables de voler à une altitude supérieure à celle de la garde au sol puisque c'est à partir de cette hauteur que les pales sont en rotation (avec une marge liée au barotraumatisme).

La grande majorité de l'échantillon est constitué d'éoliennes dont la garde au sol est supérieure à 30 mètres. Ces machines représentent un risque uniquement pour les espèces capables de voler à haute altitude (occasionnellement ou fréquemment), soit une douzaine d'espèces sur les 34 présentes en France métropolitaine.

Seulement 28% des éoliennes de l'échantillon possèdent une garde au sol inférieure ou égale à 30 mètres. Bien que cette part soit plutôt faible, ce type d'éolienne est susceptible d'impacter toutes les espèces de chauves-souris et peut donc représenter un risque pour les espèces normalement peu sensibles à l'éolien.

### 3.4.2.2 - Vitesse en bout de pale et surface balayée par les pales

La tendance actuelle est au développement d'éoliennes toujours plus grandes avec un diamètre de rotor important et donc une longueur des pales importante. Cette dernière joue sur le volume brassé et sur la vitesse en bout de pale. Peut-on émettre l'hypothèse que plus le volume brassé et plus la vitesse en bout de pale sont élevés, alors plus le risque de barotraumatisme ou collision augmente ? Pour l'instant aucune étude de référence ne permet de répondre à cette question.

La vitesse minimale en bout de pale a été calculée à partir de la longueur de la pale et de la vitesse de rotation (en tours/min) au cut-in-speed pour toutes les éoliennes (cf. annexe 5). La méthode de calcul se décompose en deux étapes simples : d'abord il faut calculer la circonférence, c'est-à-dire la distance parcourue par le bout de la pale en un tour puis la multiplier par la vitesse de rotation<sup>(139)</sup>. Ainsi, on obtient à titre d'exemple, pour l'éolienne n°1 avec une pale de 24 mètres et une vitesse de rotation de 16 tours/min au cut-in-speed :

- Circonférence =  $2 \times \pi \times \text{rayon} = 2 \times \pi \times 24 = \mathbf{150,8 \text{ mètres}}$ .
- Calcul de la vitesse en bout de pale =  $((\text{Circonférence} \times \text{Nombre de tours/min}) \times 60) / 1000 =$  environ **145km/h**.

Le diamètre du rotor est sensiblement différent suivant le type d'éolienne (de 44 à 152 mètres pour les éoliennes étudiées) et on peut constater que la vitesse en bout de pale varie fortement puisque celle-ci est comprise entre **68,6 et 183,4 km/h**.

La surface minimale balayée par une pale en cinq secondes (durée souvent utilisée en France pour qualifier un contact chiroptérologique) a été calculée à partir de la vitesse de rotation minimale (en tours/min) et de la longueur de la pale. Ainsi, pour l'éolienne n°1 avec une pale de 24 mètres et une vitesse de rotation minimale de 16 tours/min nous obtenons :

- Vitesse de rotation au cut-in-speed = 16 tours/min soit 1,33 tours/5 secondes.
- La surface balayée en un tour est  $\pi \times (\text{rayon})^2 = \pi \times (24)^2 = 1808,6 \text{ m}^2$ .
- Donc en 5 secondes, la pale balaye au minimum une surface de 2 405 m<sup>2</sup>.

N'oublions pas que ces chiffres représentent la surface balayée par une seule pale. Pour rendre compte de la surface balayée par les trois pales des éoliennes en 5 secondes, les chiffres sont évidemment à multiplier par trois. De plus, il faudrait parler de volume pour tenir compte de l'inclinaison ou de la largeur des pales et des phénomènes de turbulences et pressions jouant sur les barotraumatismes. Il a néanmoins été estimé que ces phénomènes étaient corrélés à la surface.

Si l'on compare les éoliennes avec un diamètre inférieur à 60 m (n=26) à celle avec un diamètre compris entre 60 et 100 (n=81) ou celles un diamètre supérieur à 100 (n=45), on constate que, malgré la vitesse de rotation plus faible pour les éoliennes dotées de grandes pales, ce sont elles qui balayent le plus d'air en 5 secondes. Celles-ci brassent en moyenne 5.744m<sup>2</sup> (pour des vitesses de rotation allant de 3 à 7,9 tours/min) contre 2 554m<sup>2</sup> en moyenne (avec des vitesses de rotation de 11 à 16,2 tours/min) pour les éoliennes dont le diamètre du rotor est inférieur à 60m.

Globalement, la surface balayée par les pales par unité de temps augmente en fonction du diamètre du rotor (cf. Figure 38). La probabilité que les chauves-souris se retrouvent dans la zone dangereuse est de fait plus élevée pour les éoliennes munies de longues pales qui pourraient représenter plus de risque pour les chiroptères. Il a été récemment démontré que les chauves-souris se situeraient préférentiellement près de la nacelle dans le cadre d'une attractivité<sup>(221)</sup>. La zone à risque principale pourrait alors être considérée comme celle à proximité de la nacelle et ce d'autant que les phénomènes de barotraumatisme y sont bien connus. Néanmoins il faut bien traverser la totalité de la zone où les pales sont en rotation avant de parvenir à proximité de la nacelle. Dans ces conditions, le risque de collision et de barotraumatisme augmente alors avec le diamètre du rotor.

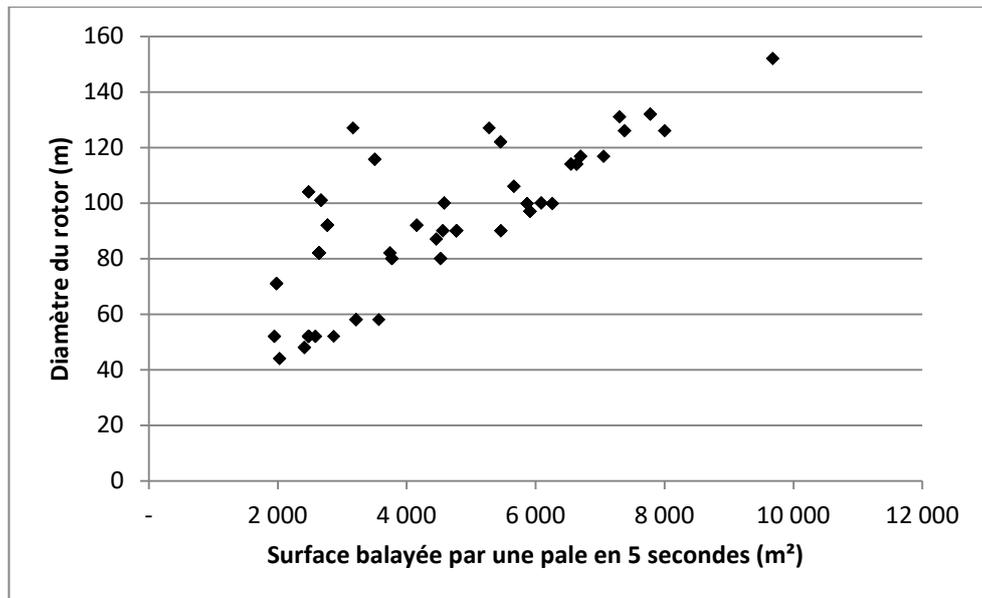


Figure 38 : Surface balayée par une pale en 5 secondes en fonction du diamètre du rotor des éoliennes

### 3.4.3 - Le classement des éoliennes en fonction de leur dangerosité vis-à-vis des chiroptères

Afin d'évaluer le risque que représentent les différentes éoliennes vis-à-vis des chiroptères, les paramètres à retenir sont donc la hauteur de la garde au sol et la surface balayée par les pales en un laps de temps donné (5s). Cette dernière étant obtenue grâce à la combinaison de deux caractéristiques spécifiques à chaque machine qui sont la longueur des pales et la vitesse de rotation minimale nécessaire à la production d'électricité.

L'objectif idéal serait de classer les éoliennes échantillonnées en fonction de leur dangerosité vis-à-vis des chiroptères à partir de leurs caractéristiques techniques. Afin de déterminer les éoliennes les plus à risque pour les chiroptères, chacune des éoliennes de l'échantillon a été représentée sur un graphique illustrant la surface parcourue par une pale en 5 secondes en fonction de la hauteur de la garde au sol (cf. Figure 39).

En lien avec l'analyse des altitudes de vol des chiroptères, 2 classes de garde au sol ont été définies selon la proportion d'espèces susceptibles de voler à une altitude donnée :

- Garde au sol inférieure à 30m : ces éoliennes sont susceptibles d'impacter toutes les espèces de chauves-souris
- Garde au sol supérieure à 30 m : quasiment la moitié des espèces de France sont capables de voler à cette hauteur

3 classes ont également été définies en ce qui concerne la surface minimale balayée par une pale en 5 secondes. Le choix des bornes a été fait de façon à ce qu'un nombre homogène d'éoliennes de l'échantillon se trouve dans chaque classe :

- Surface minimale balayée inférieure à 2.700 m<sup>2</sup> (n= 53);
- Surface minimale balayée comprise entre 2.700 et 5.000 m<sup>2</sup> (n=50);
- Surface minimale balayée supérieure à 5.000 m<sup>2</sup> (n=49).

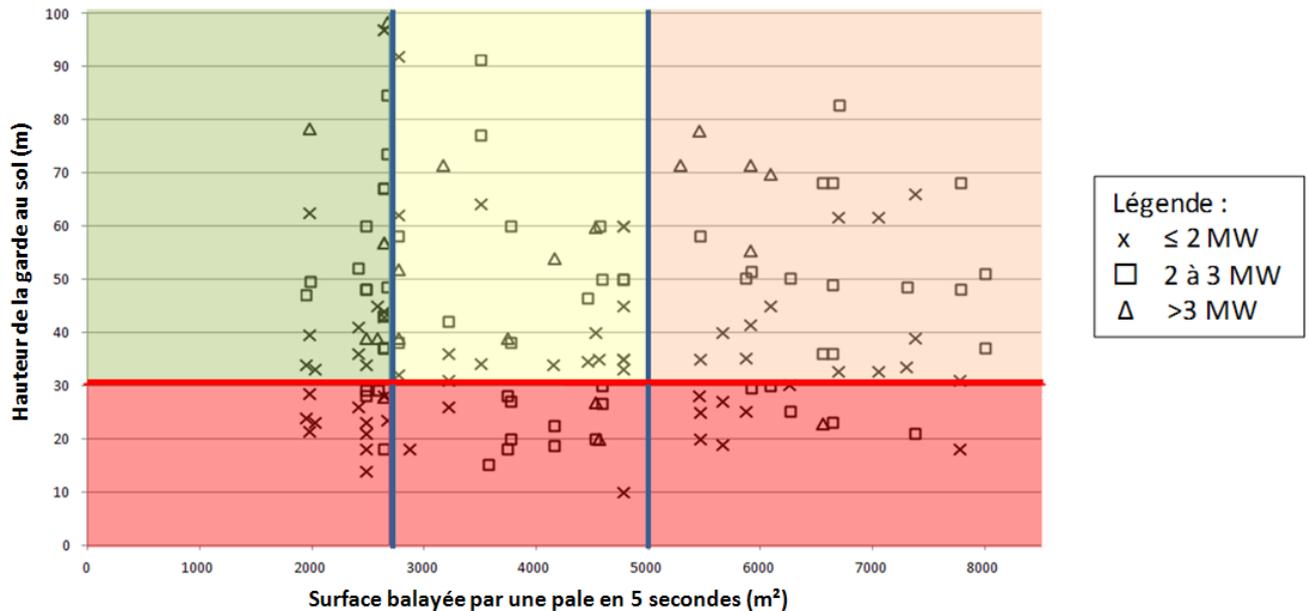


Figure 39 : Eoliennes de l'échantillon selon la hauteur de la garde au sol\*, la surface balayée par les pales en 5 secondes au cut-in-speed et la puissance nominale.

D'après les données sur la hauteur de vol des chiroptères analysées dans un chapitre précédent, la majorité des contacts enregistrés se trouvaient à basse altitude dans de nombreuses études<sup>(145, 148, 211, 212, 260)</sup>. Les éoliennes possédant des gardes au sol inférieures à 30 m engendrent donc un risque accru tant sur le nombre d'individus soumis au risque que sur le nombre d'espèces concernées. Elles peuvent interagir avec de nombreuses espèces considérées comme peu sensibles à l'éolien (espèces se déplaçant à faible altitude ou jusqu'à la canopée et rarement retrouvées mortes lors des suivis de mortalité).

Les éoliennes ayant une garde au sol supérieure à 30m peuvent être considérées comme moins dangereuses en raison de la plus faible proportion d'espèce et d'individu volant à de telles altitudes. En effet, seulement 35% des espèces présentes en France se trouvent de façon régulière à plus de 30m et 17% des espèces peuvent s'y trouver occasionnellement.

Les machines se trouvant sur la partie gauche de la Figure 39 ont une surface parcourue par les pales en 5 secondes relativement faible (de 2.000 à 2.700 m<sup>2</sup>) réduisant la probabilité des accidents. A l'inverse, les éoliennes situées dans la zone droite seraient les plus dangereuses puisqu'elles brassent une surface importante en 5 secondes : de 5.000 à 9.677m<sup>2</sup> environ.

Le croisement des paramètres « hauteur de la garde au sol » et « surface balayée par les pales en 5 secondes » permet de proposer un gradient de dangerosité des éoliennes selon leurs caractéristiques techniques :

- Les éoliennes les plus à risque **pour la majorité des chiroptères** sont celles possédant une garde au sol inférieure à 30m et une surface balayée en 5 secondes importante (en rouge sur la Figure 39).
- Les éoliennes les moins dangereuses pour la plupart des chauves-souris sont celles avec une garde au sol supérieure à 30m et brassant une faible superficie (en vert sur la Figure 39).
- Les éoliennes de dangerosité intermédiaires sont celles avec une garde au sol supérieure à 30m et dont la surface balayée par les pales est moyenne (en jaune sur la Figure 39) à importante (en orange sur la Figure 39).
- Plus la garde au sol est haute plus les risques sont limités sauf pour les nyctaloïdes et les pipistrelloïdes.

L'échantillon d'éolienne comporte des machines dont les capacités de production varient de 0,8 à environ 3,5 MW (avec un seul modèle avec une puissance de 7,58 MW). Il était intéressant d'étudier si les éoliennes classées comme étant les plus (ou les moins) dangereuses appartenaient à une classe de puissance de production définie.

L'analyse de la Figure 39 nous montre cependant que la puissance des machines n'est pas déterminante vis-à-vis du risque qu'elles représentent pour les chiroptères. Par exemple, la puissance des éoliennes de l'échantillon classées comme étant les moins dangereuses s'échelonnent de 0,8 à 6,15 MW. Ce paramètre est d'autant plus à prendre en compte que la tendance actuelle est au remplacement des éoliennes à faible puissance par des machines plus performantes.

A lui seul, le choix de l'éolienne pourrait a priori correspondre à une mesure de prévention de la mortalité chez les chiroptères. Néanmoins il reste à clarifier par des études ad hoc le lien entre la mortalité et le diamètre des pales.

#### **3.4.4 - La mortalité sur les petites éoliennes**

Le marché des petites éoliennes, c'est-à-dire celles dont la puissance est inférieure à 50kW, est également en plein essor et pourrait aussi avoir un impact sur les populations de chiroptères. En 2015, les résultats de la première étude s'intéressant à la mortalité engendrée par les petites éoliennes en Grande Bretagne a été publiée. Minderman et ses collègues ont prospecté au pied de 21 petites éoliennes et un sondage a été réalisé auprès de propriétaires de tout le pays. La recherche de cadavres par les scientifiques n'a conduit à aucune découverte. Cependant, des cadavres de chauves-souris ont été retrouvés sous 1,4% des 212 éoliennes dont les propriétaires ont répondu au sondage<sup>(250)</sup>. La faible proportion de cadavres retrouvés sous ces appareils pourrait expliquer le fait que les scientifiques n'en aient pas trouvé lors de leurs prospections. Il a alors été estimé que les petites éoliennes tueraient 0,008 à 0,169 chauves-souris par machine et par an, soit entre 161 et 3.363 chauves-souris chaque année en Grande Bretagne. Bien que ces chiffres soient relativement faibles comparé à ceux estimés pour les grandes éoliennes, ces cas de mortalité devraient être pris en compte pour estimer l'impact global des éoliennes sur les populations de chauves-souris et l'installation des petites éoliennes devrait également tenir compte de leurs potentiels impacts sur les chauves-souris.

### 4.1 - Les mesures préventives en pré-installation

#### 4.1.1 - Les mesures d'évitement

A ce jour, le moyen le plus couramment employé pour limiter l'impact des éoliennes sur les chauves-souris a été l'évitement des zones sensibles, c'est-à-dire les milieux où la fréquentation par les chiroptères est élevée<sup>(21)</sup>. Ainsi la plupart des chauves-souris seraient tuées sur des sites localisés à proximité de linéaires (haies, lisières...), près des forêts de conifères ou de feuillus<sup>(104)</sup>, de crêtes<sup>(42)</sup> ou encore en sous-bois<sup>(50)</sup>. Ce type d'habitat représente un terrain de chasse idéal pour de nombreuses espèces, notamment du côté abrité par les arbres puisqu'on y trouve une densité importante d'insectes<sup>(282)</sup> ainsi qu'une protection vis-à-vis des prédateurs et du vent<sup>(283)</sup>.

Néanmoins on s'aperçoit aujourd'hui d'une part que la mortalité existe aussi dans les grandes plaines agricoles<sup>(297)</sup> et d'autre part que les projets éoliens en France visent aujourd'hui de plus en plus les espaces forestiers car les sites favorables de plaine sont déjà bien occupés.

Le choix du site reste un facteur à prendre en considération pour limiter les impacts négatifs des éoliennes sur les chiroptères. Par exemple, Mitchell-Jones et Carlin affirment que les risques pourraient être minimisés en localisant les éoliennes de sorte que l'extrémité des pales soient au moins à 50 m de la partie haute de haies, d'arbres ou de lignes boisées, l'activité des chauves-souris au-delà de cette distance baissant significativement<sup>(87)</sup>. En 2004, Dürr et Bach ont aussi estimé qu'une distance de 150 mètres entre le pied de l'éolienne et les zones forestières pourrait limiter le nombre de victime de collision puisque 89% des cadavres retrouvés se situaient sous des éoliennes implantées à moins de 100 mètres de forêts<sup>(279)</sup>. Plusieurs autres études ou positions administratives ont conseillé une distance éolienne-forêt valant au moins 200 mètres<sup>(280,281)</sup>. La position sur cette mesure mériterait d'être mieux étayée.

En 2013, Hein *et al.* ont conclu que la prédiction du risque avant la construction du parc est très variable et imprécise<sup>(229)</sup> : les données acoustiques obtenues lors des études d'impacts antérieures à l'installation des éoliennes ne prédiront pas nécessairement la mortalité de manière fiable. Ceci est peut être dû au potentiel phénomène d'attraction des éoliennes ou à une utilisation différentes des sites une fois les éoliennes construites. Les lisières forestières créées par la construction de routes lors de la mise en place des éoliennes peuvent devenir un lieu privilégié de chasse pour les chauves-souris. Ainsi un site où une faible activité de chiroptères a été enregistrée avant la construction peut devenir une zone fortement fréquentée et donc sensible pour les chauves-souris<sup>(50)</sup>.

Les enjeux de la mortalité, le faible impact des éléments du paysage et la prédiction difficile du risque de collision impliquent la mise en œuvre de mesure de réduction.

#### 4.1.2 - Le choix des caractéristiques de l'éolienne

Comme vu précédemment, le fait de savoir si le choix de l'éolienne pourrait être une mesure de prévention pour diminuer le risque sur les chauves-souris reste en suspens. Une seule étude effectuée par Barclay a montré en 2007 la mortalité des chauves-souris augmente de manière exponentielle avec la hauteur de l'éolienne. L'évaluation de 33 études lui a ainsi permis de constater que le nombre de victimes augmente avec la hauteur du moyeu<sup>(46)</sup>. Il a donc supposé que l'augmentation de la hauteur de l'éolienne a pour conséquence de « mettre les pales » sur les routes de certaines espèces, augmentant le risque de collision. Il a en revanche été observé par Niermann et ses collègues que l'activité diminue avec la hauteur du moyeu<sup>(284)</sup>. Ces observations contradictoires sont probablement dues à des différences de comportement des espèces présentes dans les deux études ou des échantillons de machine différents.

En 2013, seules des hypothèses sont émises et de nombreuses questions restent à élucider : les pales plus larges et plus longues produiraient davantage de tourbillons et de turbulences dans leur sillage, ce qui augmenterait le risque de mortalité des chauves-souris<sup>(56)</sup>. Les éoliennes modernes devraient être conçues de façon à supprimer toute perche possible en éliminant les haubans<sup>(146)</sup> et en vérifiant que la jonction entre la nacelle et le mât, qui doit être fermée<sup>(113)</sup>, soit bien étanche. Idéalement, il faudrait également réduire l'attrait des éoliennes pour les insectes (couleur ?). Différents facteurs mériteraient encore des études : influence de la RPM minimum (au cut-in-speed), précisions sur l'influence des diamètres de pales, rôle de l'espacement inter éolien, etc.

Par contre la garde au sol est un facteur machine clair pour éviter les impacts sur les espèces qui ne volent pas particulièrement en hauteur. Toutes les machines avec une garde au sol inférieure à 30 m sont nettement plus dangereuses. Avec une marge de précaution, les gardes au sol devraient être au moins de 50 m.

## 4.2 - Les mesures de réduction des risques après l'installation des éoliennes

### 4.2.1 - Les mesures de régulation simples

#### 4.2.1.1 - Mesure non contraignante : la mise en drapeau des pales par vent faible

En fonctionnement normal, les pales des éoliennes sont inclinées perpendiculairement au vent ce qui permet leur rotation. Pour certaines éoliennes, lorsque la vitesse de vent est inférieure à la vitesse de vent de démarrage de la production électrique (cut-in-speed\*), les pales peuvent tourner en roue libres à des régimes complets ou partiels (free-wheeling\*).

Alors que les éoliennes ne produisent pas d'électricité, cette vitesse de rotation peut se révéler létale pour les chauves-souris. La mise en drapeau des pales, ou « *Blade Feathering* », pendant les vents faibles consiste à régler l'angle de la pale parallèle au vent, ou à tourner l'unité entière à l'abri du vent pour ralentir ou arrêter la rotation des pales. Les lames peuvent également être « verrouillées » et sont à l'arrêt total. Ces solutions sont mises en œuvre par vents très forts (frein aérodynamique) ou parfois lorsque le personnel de maintenance est en intervention sur les éoliennes<sup>(177)</sup>.

Des expériences américaines datant de 2011 ont testé l'efficacité de la mise en drapeau<sup>(177)</sup> pour la protection des chiroptères. Young *et al.* ont réalisé leurs expériences sur des éoliennes d'un diamètre du rotor de 80 m et dont les pales tournaient en roue libre jusqu'à 9 tours/min pour des vitesses de vent inférieures à 4m/s. Dans ce cas, la mise en drapeau a permis de réduire cette vitesse à une fréquence de rotation inférieure à 1 tour/min. Les conclusions ont montré que diminuer la vitesse de rotation durant la première partie de la nuit avait réduit la mortalité de 72%. Pour la deuxième moitié de la nuit, la baisse de mortalité était d'environ 50 %. Une autre expérience (Fowler Ridge) a montré l'efficacité de la mise en drapeau sous des seuils de vitesses de démarrage différents. Lors de la mise en drapeau pour des vents inférieurs à 3,5m/s, 4,5 m/s et 5,5 m/s, la mortalité a diminué respectivement de 36,3%, 56,7% et 73,3% par rapport au témoin (= pas de mise en drapeau sous une vitesse de démarrage de 3,5m/s).

Sur le site de Lomont, les pales des éoliennes étaient originellement laissées en free-wheeling. Or, entre le 1<sup>er</sup> juillet et le 4 novembre 2014, 30% des données correspondent à des rotations du rotor alors que la cut-in-speed de 4m/s n'est pas encore atteinte<sup>(259)</sup>. La simple mise en drapeau des pales permettrait donc, sur ce site, de réduire de quasiment un tiers le risque de collision pour des faibles vitesses de vent.

Cryan a aussi mis en évidence que les chauves-souris s'approchent beaucoup plus des éoliennes lorsqu'elles sont à l'arrêt ou en rotation lente<sup>(204)</sup> et a récemment mis en garde sur le risque que pourrait représenter les rafales survenant lors de périodes de vent favorables à la présence des chiroptères. Cette piste a été étudiée plus en détail sur le site de Lomont où il a été constaté que même pour des vitesses de vent basses (cf. Figure 33) il existait bien des effets rafales<sup>(259)</sup>. Il a ainsi été constaté que même à des vitesses de vents assez faibles (1 à 4m/s), des événements allant de 6 à 10 m/s peuvent

survenir. Lors de ces rafales, les pales sont entraînées par la force du vent à des vitesses de rotations élevées et sur le site de Lomont, en considérant que le risque apparaît à 8-9 tours/min, cela concernait 311 contacts de chauves-souris sur 718 détectés en nacelle, soit 43,3% des données. Parmi tous ces contacts, près de 50% ont été enregistrés pour des vents moyens de 2 à 4 m/s<sup>(259)</sup>.

La mise en drapeau des pales aux vitesses inférieures au cut-in-speed\* est une mesure à recommander en standard dans les mesures de réduction au vu de la quasi-absence de coût et de l'efficacité de la mesure sur les chauves-souris.

#### 4.2.1.2 - Mesure contraignante simple : l'augmentation de la cut-in-speed définie par le fabricant

Comme vu précédemment, les scientifiques ont montré que la mortalité des chauves-souris est plus importante en période de faible vent lorsque la production d'énergie générée par l'éolienne est faible. Pour produire de l'énergie, l'éolienne doit nécessairement être alimentée par une vitesse de vent minimale définie par le fabricant (généralement entre 3,0 et 4,0 m/s pour les éoliennes modernes). A partir de cette vitesse seuil, appelée « *cut-in speed* », le générateur est connecté au réseau et commence à produire de l'électricité<sup>(177)</sup>.

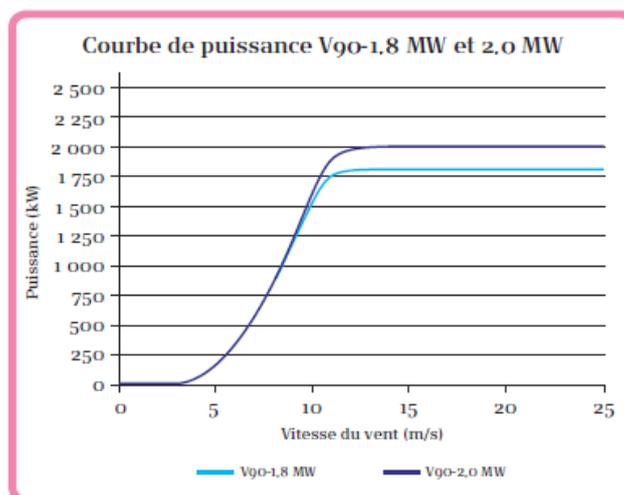


Figure 40 : Exemple de courbe de puissance d'une éolienne moderne, ici modèle Vesta V90-1,8mW & 2.0mW

Le principe de la mesure de réduction des risques de mortalité est de déclencher la mise en marche des éoliennes pour une vitesse de vent supérieure à la normale (« *increased cut-in speed* »). Pour ce faire, le système informatique de la turbine (SCADA) programme une vitesse de vent au démarrage supérieure à celle suggérée par le fabricant. Les éoliennes sont programmées pour rester à l'arrêt jusqu'à ce que cette vitesse de vent soit atteinte sur un seuil de durée à définir, par exemple un nombre moyen de minutes compris entre 5 et 10<sup>(177)</sup>.

Aujourd'hui de nombreuses études ont prouvé l'efficacité de cette technique en montrant une baisse de la mortalité des chauves-souris par rapport aux éoliennes non régulées<sup>(41, 68, 177)</sup>. Les principales études ont été effectuées aux Etats-Unis.

En 2008-2009 des premières expériences ont été menées aux Etats-Unis sur l'effet de la modification du cut-in-speed sur les chauves-souris<sup>(68)</sup>. Un protocole scientifique a été élaboré avec des éoliennes<sup>7</sup> sans bridage (cut-in-speed à 3,5 m/s) et d'autres avec un bridage de la cut-in-speed à 5 et 6,5 m/s. La mortalité estimée au niveau des éoliennes sans bridage a été 5,4 fois plus forte en 2008 et 3,6 fois plus

<sup>7</sup> Rotor de 77 m de diamètre et mat de 80 m de haut

forte en 2009 par rapport à celle estimée sous les éoliennes bridées. La baisse de mortalité allait de 44 à 93 % selon les éoliennes et les années avec une perte de production de l'ordre de 2 % sur la période considérée (essentiellement août/septembre).

Une autre étude réalisée en 2011 et 2012 a montré une diminution de la mortalité de 50% sous des éoliennes dont la vitesse de vent au démarrage a été repoussée de 3m/s à 5m/s<sup>(182)</sup>. Des réductions de mortalité du même ordre ont été rapportées par une étude au cours de laquelle la vitesse de démarrage a été modifiée de 4m/s à 6m/s uniquement lorsque les températures étaient au-dessus de 9,5°C. La mortalité s'est avérée être 2,7 fois plus élevée sous les éoliennes témoins soit une baisse de mortalité estimée à 60% pour des éoliennes régulées<sup>(183)</sup>.

Entre 2011 et 2013, deux stratégies de bridage ont été testées au Texas sur 30 éoliennes: la première mettait en place une cut-in-speed variant entre 3 et 6,5m/s en fonction de la direction du vent tandis que la seconde imposait une cut-in-speed à 5m/s. Dans les deux cas, la mortalité a diminuée de 56 à 82% par rapport aux éoliennes témoins mais aucune différence significative n'a été observée entre les deux stratégies<sup>(249)</sup>. Une poursuite de l'expérimentation sur 75 éoliennes en 2013-2014 a montré que le bridage réduisait de 69 à 91 % la mortalité toujours sans différence majeure entre les deux stratégies. La perte de production a été de 0,34% en 2013 et 0,73% en 2014. Néanmoins il est apparu que le bridage simple à 5 m/s était beaucoup moins coûteux. Enfin on notera des différences de résultats selon les années en lien avec les conditions météorologiques.

Après avoir synthétisé dix expériences destinées à évaluer l'efficacité de la mesure, Arnett a montré en 2013 que la plupart des études ont mis en évidence une réduction de 50% de la mortalité des chauves-souris lorsque la vitesse de vent au démarrage a été repoussée de 1,5m/s<sup>(177)</sup>.

La combinaison de la mise en drapeau des pales et de l'augmentation de la cut-in-speed a d'ores et déjà été adoptée au Canada depuis 2011. En effet, s'il est avéré que la mortalité est supérieure à 10 chauves-souris tuées par éolienne par an, la vitesse de démarrage de l'éolienne doit être repoussée à un vent de 5,5m/s et la mise en drapeau doit être effectuée si le vent est inférieur à 5,5m/s du coucher au lever du soleil et ce du 15 Juillet au 30 Septembre<sup>(58)</sup>.

Enfin, la mise en place de ce système de bridage peut n'être réalisé que les nuits d'été et d'automne<sup>(230)</sup> qui sont les périodes les plus à risque pour les chauves-souris.

#### 4.2.2 - Les mesures contraignantes par anticipation (prédiction)

L'arrêt de la rotation des pales aux périodes à risque pour les chauves-souris s'est montré être une mesure de réduction efficace entraînant une diminution de la mortalité<sup>(177)</sup>. Ainsi, la coupure du générateur au réseau dans des conditions où il devrait normalement être fourni (« *Curtailment* »), comme par exemple un arrêt des éoliennes aux périodes de forte activité des chauves-souris, semble être efficace pour réduire la mortalité des chiroptères due aux éoliennes<sup>(172)</sup>. Les algorithmes respectueux des chauves-souris permettent d'estimer le risque de collision avec les éoliennes. Plusieurs modèles d'activité peuvent être prédits en fonction de conditions météorologiques. Ces modèles peuvent ensuite se traduire par des règles d'arrêts des éoliennes.

Pour mettre en place une règle spécifique d'arrêt des éoliennes, le principe est de collecter dans un premier temps des données acoustiques en hauteur pendant au moins une année. Dans un second temps, ces données permettent d'élaborer un modèle d'activité en fonction de plusieurs paramètres environnementaux<sup>(83)</sup>. Le modèle est ensuite intégré comme un plug-in dans le système informatique de l'éolienne, appelé système SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*)<sup>(181)</sup>. Le risque de collision est calculé en fonction des paramètres météorologiques collectés et des modèles définis précédemment. Lorsque des périodes d'activité à risque sont détectées, les éoliennes sont automatiquement stoppées.

#### 4.2.2.1 - Fixed Environmental Stop Programm (FESP)

En Suisse, un système d'arrêt des éoliennes programmé selon des paramètres météorologiques fixes, appelé « Fixed Environmental Stop Programm » (FESP), a été testé en 2013 et 2014<sup>(260,307)</sup>. Le principal but de l'étude était de comparer l'efficacité du FESP et celle d'un détecteur de collision (DTBat®, cf. infra). L'objectif du FESP est d'éviter 95% des collisions et, pour l'atteindre, l'éolienne est automatiquement arrêtée pendant les périodes correspondant à plus de 95% de l'activité enregistrée au niveau des pales. Ces périodes ont été définies d'après les données d'activité collectées en 2009 par un détecteur en nacelle permettant l'ajustement du programme de la façon suivante : l'arrêt des machines est réalisé les nuits où le vent est inférieur à 5,8 m/s et la température supérieure à 2°C, 4 heures après le coucher du soleil du 15 mars au 31 mai puis à partir du coucher au lever du soleil du 1er juin au 31 octobre.

L'activité a été mesurée par un Batcorder placé au niveau de la nacelle (119m) et 1.479 contacts ont été comptabilisés en 2014 sur la période d'étude. Seul 5,95% des contacts ont été enregistrés lors d'une production effective d'électricité, c'est-à-dire lorsque le risque de collision est important. Il y a donc au total 94,05% de l'activité qui a été enregistrée lorsque les éoliennes n'étaient pas en production et quasiment 92% de l'activité a été couverte par l'algorithme d'arrêt défini par le FESP (260,307). En parallèle des prospections au sol ont été réalisées 2 fois par semaine de mars à octobre et, durant les deux dernières années de suivi, aucun cadavre n'a été retrouvé dans un rayon de 300 mètres autour des éoliennes<sup>(260)</sup>. La perte de production énergétique annuelle est de 3,2%.

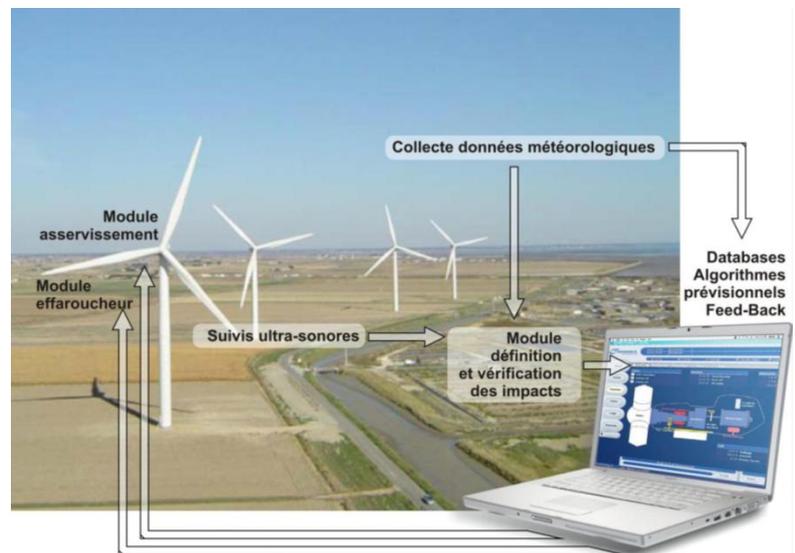
#### 4.2.2.2 - Chirotech©

Le système Chirotech© a été initialement développé par les sociétés Biotope et Nordex à partir de 2006 avec différents cofinancements publics. Les informations publiées sont peu nombreuses (mis à part des documents commerciaux) et il semble que deux démarches soient possibles :

- Réguler les éoliennes sur la base des données chiroptérologiques et météorologiques recueillies les années n-x ;
- Corriger la régulation précédente par une prise de mesures de données météorologiques en temps réel.

Le système a été testé sur plusieurs sites français pendant deux années consécutives et a montré une diminution significative de la mortalité des chauves-souris sous les éoliennes régulées<sup>(181)</sup>. En Vendée par exemple, le bridage a été programmé sur 5 des 8 éoliennes du parc de Bouin durant 4 mois et la mortalité a diminué de l'ordre de 57 à 74%.

Figure 41 : fonctionnement du système Chirotech©  
[www.biotope.fr/fr/innovation/chirotech](http://www.biotope.fr/fr/innovation/chirotech)



Les principaux concepteurs du système ont maintenant monté la société Sens of Life et développé le système Probat (cf. infra). Le système Chirotech© est néanmoins toujours commercialisé par Biotope.

#### 4.2.2.3 - ID Stat®

Le système ID Stat® est destiné à comptabiliser les chocs sur les pales des éoliennes grâce à l'identification des signaux vibroacoustiques provoqués par les collisions des chauves-souris<sup>(64)</sup>. Le traitement statistique des données permet ensuite de définir les conditions favorables aux collisions

(heure, jour, température, localisation), pour mettre en place des mesures adaptées sur le site. Les données mesurées par l'appareil, couplées aux conditions extérieures peuvent permettre de mieux appréhender l'impact des éoliennes sur les chiroptères<sup>(64)</sup>.

Lorsqu'une collision se produit, le système pourrait envoyer directement l'information sur un serveur local ou sur un téléphone portable<sup>(159)</sup> par exemple pour aller chercher le cadavre.

Le système a été développé par les sociétés Calidris et Eneria mais il n'y a pas d'informations claires sur sa commercialisation actuelle.

#### 4.2.3 - Arrêt programmé par des mesures en direct (réaction)

Le bridage des machines à partir de modèles prédictifs, avec ou non prises de mesures météorologiques en direct, par le principe que la fréquentation du parc éolien par les chiroptères suit un modèle constant. Il est cependant connu que l'activité des chauves-souris peut être très fluctuante d'une année à l'autre et, bien que la vitesse de vent soit un paramètre important pour l'activité des chauves-souris, une période de faible vent ne prédit pas forcément un épisode de fréquentation et/ou de mortalité. Les bridages associés pourraient alors être trop restrictifs et avoir un coût/efficacité améliorable.

Afin d'optimiser la protection des chiroptères tout en minimisant les pertes de production induites, il semble donc intéressant de développer des mesures directes permettant un arrêt programmé des turbines en fonction de l'activité détectée en temps réel.

Les démarches présentées ci-dessous vont dans ce sens même si on manque parfois de recul pour évaluer leur performance. Au-delà de leur performance technique, il reste à définir lorsqu'un signal positif est envoyé :

- Le temps de latence pour que le bridage soit mis en œuvre ;
- La durée du bridage, le maximum étant la durée de nuit restante.

##### 4.2.3.1 - ReBAT® et TIMR<sup>SM</sup>

La société américaine Normandeau Associates a également conçu le système ReBAT (Remote Acoustic Monitoring System) principalement composé d'un détecteur à ultrason et d'une boîte de contrôle informatique (CCB pour Computer Control Box). Ce système a été développé pour aller au-delà des limites des autres systèmes actuellement sur le marché<sup>(266)</sup> si l'on en croit le développeur.

Le détecteur à ultrason est un AR125 (Binary Acoustic Technologies). Contrairement aux Anabat utilisés avec le DTBat, ce détecteur peut prendre en compte le spectre complet des fréquences émises par les chauves-souris. Le CCB accomplit plusieurs tâches :

- le stockage et la gestion des données : le disque dur du CCB contient les paramètres de collecte des données (temps de fonctionnement, seuils de fréquence), stocke les données envoyées par le détecteur et exécute un premier filtrage avec ScanR (Binary Acoustic Technologies) qui élimine les fichiers de « bruit » (sans cris de chauves-souris).
- la communication et la transmission des données : le modem cellulaire fournit les données directement au bureau dans les 24 heures suivant leur collecte. Le système de communication facilite également le diagnostic et la réparation des problèmes opérationnels.
- la vérification permanente de l'état de chaque ReBAT installé : les mesures de tension sont envoyées toutes les 20 mn au bureau, si celle-ci est inférieure à 12 volts sur une période prolongée, un problème avec le système d'alimentation est indiqué. Le taux de saturation du disque dur ainsi que les paramètres opérationnels sont aussi régulièrement communiqués au bureau.

Au-delà du détecteur et du CCB, le système ReBAT est équipé d'accessoires permettant d'augmenter l'efficacité du suivi acoustique. Le détecteur est ainsi logé dans un boîtier étanche muni de plaques de réflecteur permettant d'optimiser la détection des ultrasons. L'installation du détecteur dans ce type de boîtier permet en effet d'agrandir la zone de détection et d'augmenter considérablement le nombre de cris captés<sup>(268)</sup> (Figure 42).

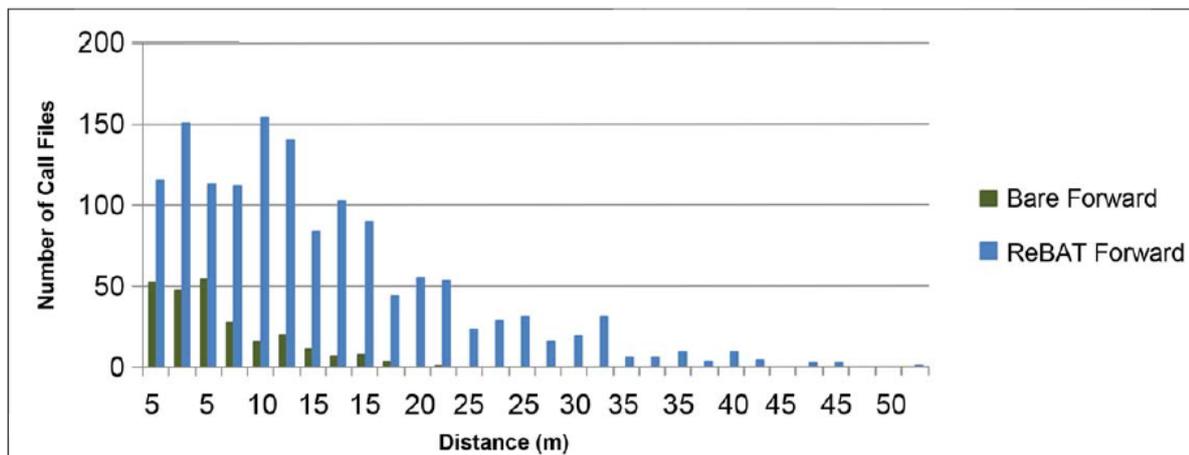


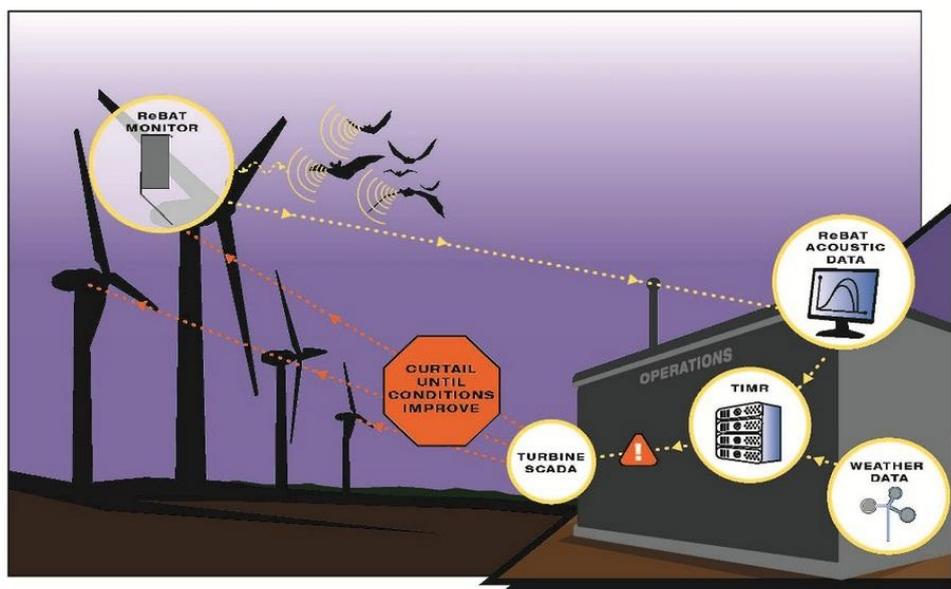
Figure 5. Comparison of detection distance and detection rate between an unprotected receiver and a receiver in the ReBAT™ weather-proof housing.

**Figure 42 : Comparaison de la distance et du taux de détection entre un appareil non protégé et un appareil dans la coque imperméable ReBAT™.**

Normandeau, 2015.

Les câbles d’alimentation et de transmission des données sont des câbles à faible résistance capables de transmettre les fichiers sans les détériorer jusqu’à 152 mètres<sup>(268)</sup>. Enfin, les batteries sont rechargées par panneaux solaires et le système d’alimentation permet au système de fonctionner de 3 à 5 jours sans alimentation solaire. Aucun passage sur le terrain n’est obligatoire, pas même pour récupérer les données.

Afin d’assurer un bridage en temps réel, ReBAT peut être couplé au système TIMR<sup>SM</sup>. Ce dernier permet de relier les données météorologiques à l’activité des chauves-souris collectée en temps réel par le ReBAT<sup>(267)</sup>. Ces données sont téléchargées sur le serveur TIMR<sup>SM</sup> qui calcule alors un taux de mortalité relatif. Cette valeur de risque est communiquée au SCADA qui répond en bridant l’éolienne ou, au contraire, en reprenant un fonctionnement normal<sup>(267)</sup>.



Ce système n’est pas encore mis en œuvre en Europe et il n’existe pas encore, à notre connaissance, de publication indépendante permettant un retour d’information sur la fiabilité du système.

#### 4.2.3.2 - DTBat®

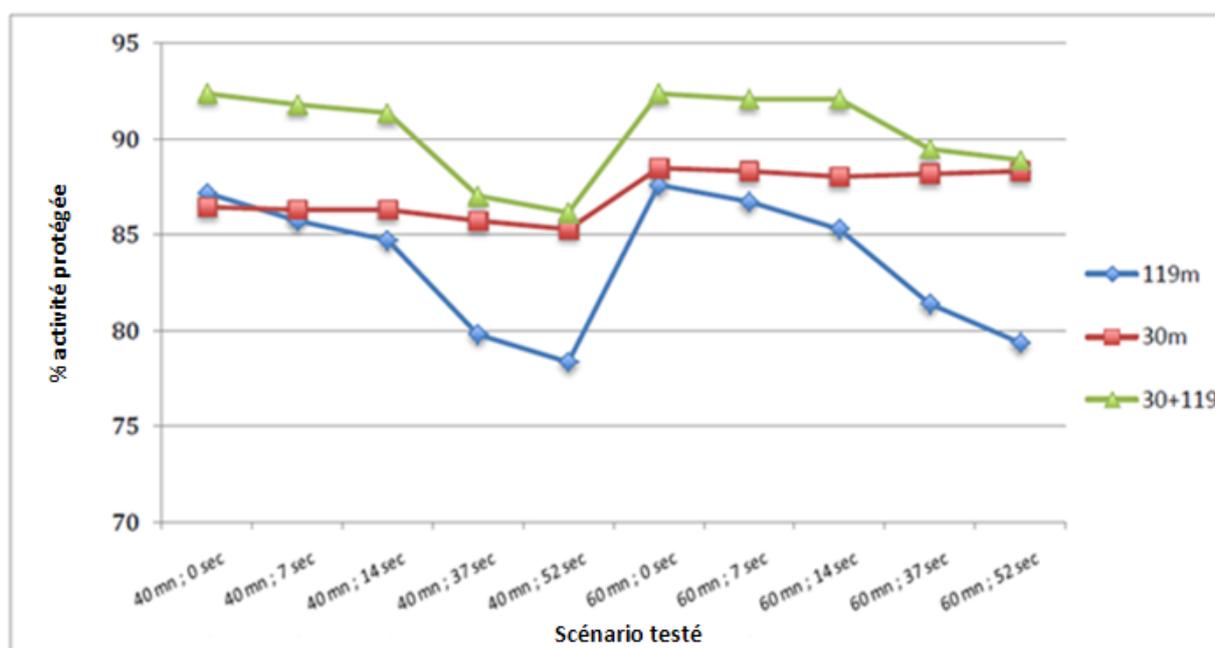
DTBat® est un système automatique détectant les chauves-souris en temps réel et est capable de gérer l’arrêt de l’éolienne en lien avec l’activité enregistrée. Le système est composé de 2 ou 3 détecteurs à ultrasons installés en hauteur qui captent les signaux dans la zone de rotation du rotor. Il contient également un logiciel permettant l’arrêt de l’éolienne et étant compatible avec toute éolienne.

L’efficacité de cet équipement a été testée sur le parc de Calandawind en Suisse<sup>(260, 307)</sup>. En 2014, l’activité des chauves-souris a été mesurée entre les mois de juillet et octobre à 3 hauteurs différentes (5, 31 et 119 m) avec des Anabat SD2. Le programme d’arrêt, géré par DTBat®, a été opérationnel du coucher au lever du soleil pour des vents supérieurs à 3 m/s et dès lors qu’une activité était détectée.

Dans l'étude, l'efficacité de la protection des chauves-souris a été évaluée par l'analyse de plusieurs algorithmes d'arrêts dépendant des variables suivantes :

- le ou les détecteurs apportant les données d'activité : 30 m, 119 m ou les deux ;
- le temps nécessaire à l'arrêt des pales : le temps entre le premier déclenchement d'un enregistrement d'activité et l'envoi du signal de coupure à l'éolienne est de 7 secondes. D'après les mesures obtenues pendant l'étude, il faut 30 secondes pour arrêter complètement la rotation des pales (à un vent de 6 m/s). D'après les calculs de DTBat®, il faudrait 45 secondes. 5 délais ont donc été définis pour les différents scénarios :
  - idéal théorique : 0 secondes
  - temps d'émission du signal d'arrêt uniquement : 7 secondes
  - temps d'émission du signal d'arrêt + pales complètement arrêtées en 7 sec = 14 sec
  - temps d'émission du signal d'arrêt + pales complètement arrêtées en 30 sec = 37 sec
  - temps d'émission du signal d'arrêt + pales complètement arrêtées en 45 sec = 52 sec
- la durée d'arrêt : 40 ou 60 mn

La Figure 43 ci-dessous présente les taux de protection observés suivant les différents scénarios en supposant que le programme d'arrêt est mis en route dès le premier passage d'une chauve-souris dans la zone de détection des appareils.



**Figure 43 : Performance de réduction du DTBat® en fonction de différents scénarios en utilisant un ou deux détecteurs à différentes hauteurs.**

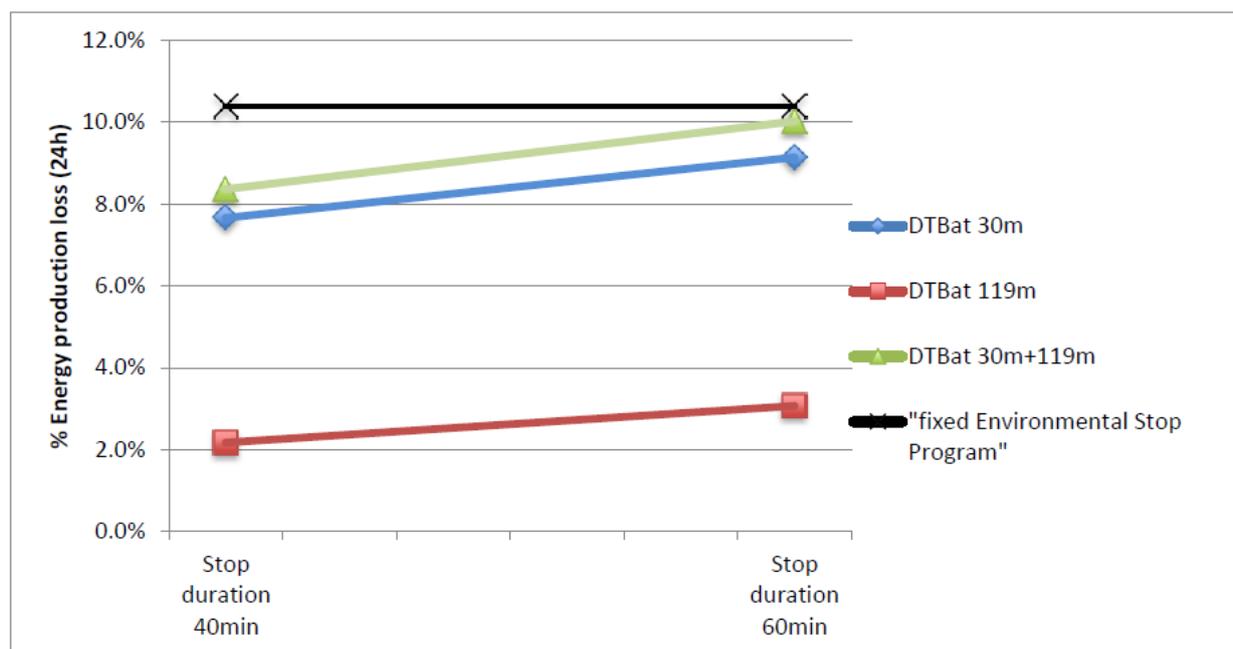
SWILD 2015 & Hanagasioglu *et al.*, 2015.

D'après la figure précédente, on peut constater que les scénarios couvrant au maximum l'activité des chauves-souris sont ceux combinant deux détecteurs à 30 et à 119 mètres. Le pourcentage d'activité protégée atteint ainsi 92,4% lorsque la machine est arrêtée pendant 1 heure (pour les délais 0, 7 et 14 secondes). On peut remarquer en revanche qu'à hauteur de la nacelle (119 m), la performance est très dépendante du temps nécessaire à l'arrêt de la machine : la performance diminue nettement lorsque le délai de coupure est supérieur à 14 secondes. En toute logique, la durée d'arrêt augmente aussi le pourcentage d'activité protégée mais aussi la perte de production.

Le système fixe (FESP, cf. 4.2.2.1 - ) a été testé en parallèle sur les mêmes machines lors de cette étude. Il a été constaté que les meilleurs scénarios expérimentés avec le DTBat® n'atteignent pas le pourcentage de protection assuré par le FESP (qui était d'environ 94% en 2014). Ceci s'explique sans doute par le fait que l'activité observée en 2014 était relativement basse comparé aux années précédentes (2014 : 6,4 passages/nuit contre 25,9 en 2010)<sup>(260)</sup>. Le système étant programmé sur la base

de l'activité observée en 2009, il paraît plausible que le paramétrage défini avec une activité importante englobe une grande proportion de l'activité les années où celle-ci est plus faible. On peut supposer que l'effet inverse se produit les années où l'activité est plus importante par rapport à l'année de référence.

Malgré cette légère différence de performance, le niveau de protection assuré par les meilleurs scénarios du DTBat® sont satisfaisants et ce système a l'avantage de « réagir » en temps réel<sup>8</sup> permettant d'optimiser à la fois la protection des chiroptères et éventuellement les rendements de production. Si la perte de rendement avec le FESP est estimée à 3,2 % par an, elle était de 9,5% sur la période d'évaluation de l'étude (11/08/2014-31/10/2014). Pour DTBat®, tout dépend du scénario choisi et en particulier de la durée d'arrêt programmée. On peut même envisager une durée encore moindre à partir d'études statistiques sur les durées de présence après premier contact.



**Figure 44 : Pourcentage de perte de production selon les différents protocoles d'arrêt sur la période étudiée (pourcentage nettement moins forts sur l'année.**

SWILD 2015 & Hanagasioglu *et al.*, 2015.

Enfin il faut rappeler que les deux approches considèrent l'activité en elle-même et non la mortalité réelle qui peut dépendre de paramètres légèrement différents (effets rafale, mortalité plus ou moins forte selon la vitesse du vent...). Une optimisation est probablement encore envisageable.

#### 4.2.3.3 - ProBat (Sens of Life)

Sens of Life est une entreprise franco-belge développée par d'anciens responsables recherche de la société Biotopie (cf. chapitre Chirotech). Cette société a développé un système dénommé ProBat<sup>9</sup> qui vise une régulation par mesure en temps réel et analyse prédictive de l'activité des chiroptères.

L'idée générale consiste à moduler le schéma de bridage envisagé initialement (via une étude ex-ante) par :

- un réseau régional de mesures d'activités des chiroptères sur divers parcs ;
- une mesure en « temps réel » sur le parc où s'applique le bridage.

<sup>8</sup> Le programme d'arrêt du DTBat® se met en route après un premier passage de chauve-souris dans le périmètre de détection de l'anabat, il est donc logique que cet individu ne puisse pas être protégé.

<sup>9</sup> Qui n'a rien à voir avec le système probat développé dans le cadre du programme de recherches allemand RENEBAAT

Il est souhaité que le réseau de mesures s'étende à l'Europe pour mieux capter les mouvements migratoires (ex : Pipistrelle de Nathusius).

Il n'existe pas encore de publication indépendante permettant un retour d'information sur la fiabilité du système.

Enfin, comme d'autres équipes dans le monde, la société travaille aujourd'hui à des projets à base de trajectographie ultrasonore et thermique.

#### 4.2.3.4 - **SafeWind**

Un système dénommé « SafeWind » est en cours de développement par Biodiv-Wind SAS. Il a été nommé lauréat de l'appel à projet « Initiative PME-Biodiversité » lancé par l'Etat français et l'ADEME<sup>10</sup> début 2016. SafeWind est un système de détection automatisée en temps réel de la faune volante (avifaune diurne et nocturne ainsi que les chiroptères). Il est composé de plusieurs caméras installées à quelques mètres du sol sur le mât des éoliennes et d'un logiciel de traitement vidéo capable de détecter et de suivre des cibles mobiles même quand elles se déplacent entre des pales en rotation. SafeWind :

- détecte et enregistre les intrusions en zone de risque et les collisions éventuelles
- engage si nécessaire, en fonction de niveaux de risque paramétrables, des actions d'effarouchement ou de régulation
- limite les phénomènes d'accoutumance de la faune à l'effarouchement

Il n'existe pas encore de publication indépendante permettant un retour d'information sur la fiabilité du système.

---

<sup>10</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

#### 4.2.4 - Un programme intégré : RENEBAT

D'importants programmes de recherches sont menés en Allemagne par les universités de Hanovre et d'Erlangen en association avec différents partenaires tels que des chercheurs statisticiens (Oikostat) et un industriel (Enercon). Ces programmes, dénommés RENEBAT, s'intègrent dans les projets de recherche du Ministère fédéral allemand de l'environnement et de l'équipement<sup>11</sup>.

Le principal but de ces programmes a été le développement d'un protocole de **bridage** permettant une **protection optimale** des chiroptères tout en **minimisant les pertes de rendement** liées à un fonctionnement restreint des éoliennes.

Le développement de méthodes statistiques modélisant le rapport entre l'activité acoustique mesurée dans la zone du rotor et le nombre de cadavres trouvés lors des prospections a aussi permis de mettre au point une manière d'estimer la mortalité s'affranchissant des lourds protocoles de recherche des cadavres. Enfin, RENEBAT a permis d'améliorer les connaissances sur l'interaction entre les chiroptères et les éoliennes avec par exemple une démonstration de l'attractivité.

A ce jour, les résultats de RENEBAT III ne sont pas encore tous accessibles contrairement à ceux de RENEBAT I & II. Ce troisième volet du projet de recherche s'intéresse notamment à l'effet de la cut-in-speed sur le risque de collision ou encore à la modélisation des impacts des collisions sur les populations de chauves-souris. Néanmoins un autre aspect de cette 3<sup>e</sup> phase est disponible avec le logiciel de simulation appelé Probat.

##### 4.2.4.1 - Modélisation du rapport entre l'activité en hauteur et le nombre de victimes retrouvées

L'étude initiale (RENEBAT I, 2007-2008) a porté sur 72 mâts d'éoliennes répartis dans 36 parcs éoliens de six Länder allemands. En complément, la mortalité a été suivie sur 30 éoliennes dans 15 parcs éoliens en 2007 et 2008. A l'époque, toutes les turbines analysées étaient des ENERCON avec des diamètres de 66 et de 72 m.

Lors de RENEBAT I, les auteurs ont pu montrer, grâce à une méthode statistique appelée « modèle mixte N », qu'il existe une relation significativement positive entre l'activité acoustique des chauves-souris aux abords de la nacelle et le nombre de victimes de collisions retrouvées. Les calculs reposent sur les enregistrements des séquences d'activité des chauves-souris, la vitesse moyenne du vent et le nombre de cadavres découverts les jours suivants. Cette méthode alternative pour définir le nombre de chauves-souris réellement tuées par une éolienne vise à s'affranchir de toute recherche de cadavres au sol. Elle permettrait donc un gain économique significatif.

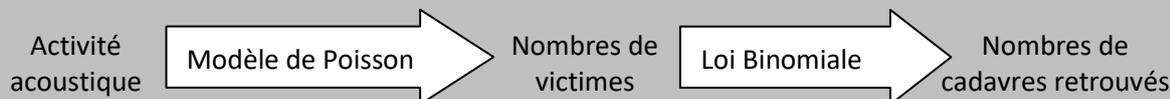
Cette même approche statistique a permis de définir un algorithme de fonctionnement respectueux des chiroptères (RENEBAT I) et de le tester dans le détail (RENEBAT II).

---

<sup>11</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

## Fondements de la méthode développée dans RENEBAT I <sup>(120)</sup>

Dans le modèle mixte, le processus biologique (chouves-souris victimes des éoliennes) et le processus d'observation (une victime a été trouvée ou non) ont été analysés séparément en deux modèles. Ainsi, deux sous-modèles successifs ont été élaborés. Premièrement, le nombre de chouves-souris tuées est estimé à partir de l'activité acoustique et traduit par un modèle de Poisson. Deuxièmement, le nombre de chouves-souris tuées que l'on retrouve est estimé par une loi binomiale.



Dans le premier sous-modèle, le processus de collision des chouves-souris est mis en relation avec les variables : vitesse du vent et activité acoustique. Il a été admis que le nombre de chouves-souris tuées pour la nuit  $i$  suit une distribution de Poisson avec un taux de mortalité escompté  $\lambda_i$ . Le nombre de chouves-souris mortes par éolienne pour la nuit  $i$  ( $N_i$ ) est donc décrit par:  $N_{it} \sim \text{Poisson}(\lambda_{it})$ .

La valeur escomptée de la mortalité  $\lambda_i$  est fonction de l'activité acoustique ( $A_{it}$ ) et de la vitesse du vent ( $W_{it}$ ). Ces deux variables ont été standardisées ( $z$ ) pour qu'elles aient une valeur moyenne de 0 et un écart-type de 1. Une telle standardisation des variables explicatives réduit la corrélation entre les coefficients des modèles et stabilise le réglage des modèles. Le modèle A utilise la fonction logarithme et considère la valeur standardisée de l'activité acoustique, la vitesse du vent au carré comme variables explicatives :  $\log(\lambda_i) = \alpha_0 + \alpha_1 zA_{it} + \alpha_2 zW_{it} + \alpha_3 zW_{it}^2$

Les  $\alpha$  constituent les paramètres du modèle ( $\alpha_0$  étant lié à la mortalité,  $\alpha_1$  à l'activité,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  à la vitesse du vent) qui interviennent sur le nombre des chouves-souris retrouvées mortes ( $N$ ). Le modèle admet un effet quadratique de la vitesse du vent.

Le deuxième sous-modèle décrit le processus de recherche en utilisant un modèle binomial, qui a comme paramètres une probabilité de découverte  $p_a$  par éolienne  $a$  et qui estime dans le premier sous-modèle le nombre de chouves-souris tuées par jour  $N_{it}$ . Le nombre de chouves-souris trouvées  $C_i$  après la nuit  $t$  sous l'éolienne  $i$  est donc :  $C_{it} \sim \text{Binom}(p_i, N_{it})$ . La probabilité de découverte est constante dans le temps pour une éolienne  $i$  mais différente selon les éoliennes.

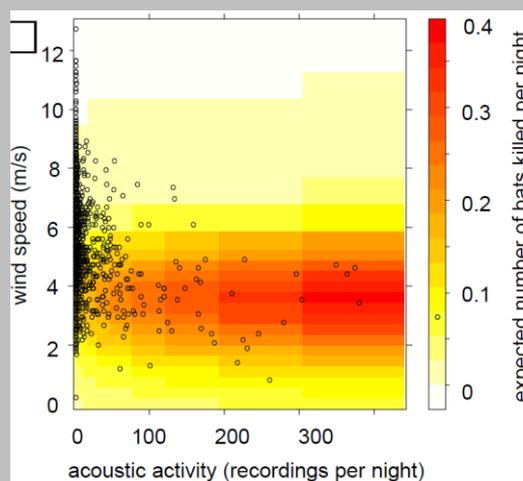
### Validation du modèle mixte

La validation a été faite avec les données collectées pour toutes les espèces de chouves-souris par un appareil Anabat SD1 en 2007 et 2008. Le modèle d'équation était le suivant :

$\lambda_i = \exp(-2,811 + 0,662 * zA_{it} - 0,277 * zW_{it} - 0,231 * zW_{it}^2)$   
avec  $zA_{it} = (\log(A_{it} + 1) - 0,79538) / 1,088398$  et  $zW_{it} = (W_{it} - 5,211521) / 1,892224$ .

La prévision du nombre de victimes calculé par le modèle correspondait bien en moyenne avec les observations des nombres de victimes trouvées. Le nombre estimé de victimes augmente en fonction de l'activité acoustique. Pour des vitesses de vent entre 2 et 6 m/s, le risque de collision s'avère particulièrement haut. Pour des vitesses de vent élevées, les liens avec l'activité des chouves-souris diminuent fortement.

Figure ci-contre : modèle de prévision du nombre de chouves-souris tuées en fonction de la vitesse du vent et de l'activité acoustique sur un autre échantillon de 16 turbines en 2012. <sup>(215)</sup>



#### 4.2.4.2 - Algorithme de fonctionnement respectueux des chiroptères

##### A PRESENTATION

Le protocole de bridage proposé par les allemands repose sur un algorithme dynamique de fonctionnement respectueux des chauves-souris permettant, en fonction d'un nombre de chauves-souris mortes que l'on est prêt à accepter (à définir par l'administration), de définir des mesures de bridage lors des périodes de haut risque et de faible bénéfice.

Les auteurs ont tout d'abord réalisé une étude afin de déterminer si la prévision de l'activité des chauves-souris était possible uniquement sur la base de différents facteurs tels que des paramètres météorologiques (vitesse du vent, température et précipitation), le mois de l'année et l'heure de la nuit. L'algorithme tient par ailleurs compte du niveau d'activité spécifique à la machine étudiée quantifiant les différences d'activité pouvant exister entre différentes éoliennes (appelé « anlagenfaktor » en allemand<sup>(285)</sup>).

Finalement, et pour des raisons économiques, les variables température et précipitations ne seront pas maintenues puisque leur intégration dans le modèle n'apportait pas de résultats suffisants pour permettre le financement et l'installation des capteurs nécessaires à la mesure de ces paramètres<sup>(285)</sup>.

Les auteurs ont donc défini un **modèle prévoyant l'activité des chauves-souris en fonction de la vitesse du vent, du mois de l'année, de l'heure de la nuit et du niveau d'activité spécifique à l'éolienne**. Il s'est avéré que ce modèle permet une prédiction correcte de l'activité des chiroptères puisque les niveaux d'activité observés et ceux calculés par le modèle sont semblables pour les deux types de détecteurs utilisés lors de l'étude (prévision presque parfaite pour le Batcorder, très bonne prévision pour l'Anabat SD1, sachant que depuis des modèles Avisoft ont aussi été testés)<sup>(285)</sup>. Il faut néanmoins noter que la prévision surestime légèrement l'activité lorsque les niveaux mesurés sont faibles et au contraire la prévision engendre une sous-estimation lorsque l'activité mesurée est importante. En conséquence, certaines périodes sont donc évaluées comme étant plus risquées qu'elles ne le sont en réalité et inversement<sup>(285)</sup>.

L'algorithme utilise les modèles développés par Korner-Nievergelt et Behr permettant, à partir des contacts de chiroptères enregistrés, de la vitesse de vent et de la période de l'année, de définir le niveau d'activité spécifique de l'éolienne (NAS). L'utilisation du facteur spécifique à la machine permet ensuite de prédire l'activité des chauves-souris au droit de l'aérogénérateur en fonction de la vitesse du vent et des paramètres temporels (mois, heure de la nuit) sur des périodes durant lesquelles aucun enregistrement acoustique n'a été réalisé. Dans le premier projet de recherche, les auteurs ont démontré qu'il est possible de définir le nombre de victimes à partir des données acoustiques de l'activité des chauves-souris. Ils utilisent alors cette relation pour déduire le nombre de victimes à partir de l'activité prédite au niveau de l'éolienne. L'algorithme a été élaboré lors de RENEBAT I suite à une étude sur des éoliennes ayant un diamètre de 70m en moyenne. Les auteurs ont supposé que le nombre de victimes de collision est plus important en présence d'éoliennes plus grandes, et donc, que le risque de collision est proportionnel à la surface de rotation du rotor. Ils ont alors intégré un facteur de correction tenant compte du diamètre du rotor de l'éolienne étudiée. Ils ont par ailleurs tenu compte d'autres paramètres comme la vitesse de rotation et la distribution des chauves-souris autour de la nacelle (cf. annexe 6).

Enfin, l'algorithme permet d'identifier les périodes à fort risque pour les chiroptères et à faible bénéfice. Lors de celles-ci, l'algorithme définit une vitesse de démarrage de l'éolienne de façon à ce que le seuil de chauves-souris mortes choisi ne soit pas dépassé. Les différentes étapes de calcul nécessaires à l'application de l'algorithme sont détaillées dans l'annexe 6.

Lors de RENEBAT II, l'efficacité de l'algorithme respectueux des chiroptères a été testée en utilisant les données issues des recherches de cadavres (prospections quotidiennes du 04 Juillet au 11 Octobre 2012) et celles issues de mesure de l'activité acoustique au niveau de la nacelle

(enregistrement continu sur la période d'étude). La performance du modèle a été testée sur 16 éoliennes de 8 parcs éoliens (soit deux éoliennes par parc) situées dans différentes régions géographiques allemandes, ces dernières étant sélectionnées parmi les 70 machines échantillonnées en 2008 (lors de RENEBAT I) pour leur important risque de collision et leurs conditions favorables à la recherche de cadavres<sup>(278)</sup>.

Sur chaque site, les deux éoliennes opéraient une semaine sur deux en fonctionnement normal puis en fonctionnement « respectueux » c'est-à-dire en appliquant l'algorithme défini lors de RENEBAT I. Un groupe d'expert a défini le seuil de chauves-souris mortes accepté avec l'algorithme à 2 chauves-souris par éolienne et par an soit 0,012 chauves-souris par éolienne et par nuit<sup>(278)</sup>. Le fonctionnement respectueux incluait également une **hystérésis\*** de 0,5 m/s : par exemple, durant les périodes où la cut-in-speed définie par l'algorithme est de 5m/s, le rotor s'arrête lorsque la vitesse de vent est inférieure à 5m/s mais il recommence seulement à tourner lorsque la vitesse de vent dépasse 5,5m/s. Ce procédé permet de réduire le nombre de démarrage et ainsi, de limiter l'usure des composants de l'aérogénérateur<sup>(278)</sup>.

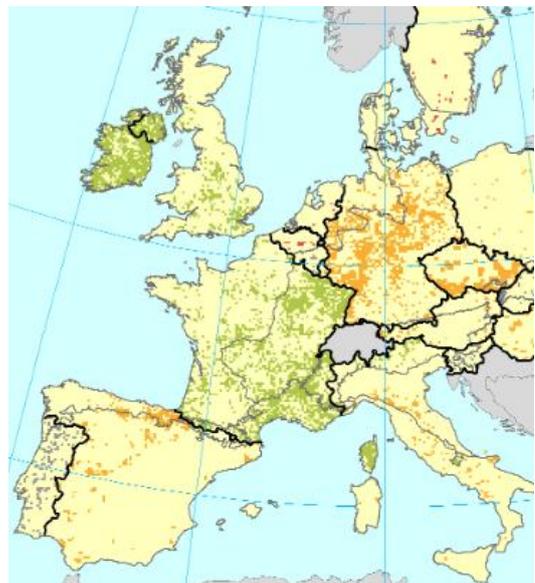
Les 1.596 recherches de cadavres ont permis de comptabiliser au total 21 cas de mortalité. Parmi ceux-ci, seuls 3 cadavres ont été trouvés lors des 7 semaines de fonctionnement « respectueux » des éoliennes (contre 18 lors des 7 semaines de fonctionnement normal)<sup>(278)</sup>. Le taux moyen de mortalité a alors été calculé à partir de la mortalité observée, et, après correction par le taux de prédation et l'efficacité du chercheur, celui-ci s'élève à 0,010 chauves-souris mortes par éoliennes et par nuit lorsque les machines fonctionnent en mode « respectueux ». Le taux de mortalité obtenu avec le fonctionnement respectueux des éoliennes diffère donc très peu de la valeur cible de 0,012 chauves-souris mortes par éolienne par nuit définie par les experts : le modèle statistique développé lors de RENEBAT I est donc capable de réduire le risque de collision à une valeur prédéfinie avec une haute précision<sup>(278)</sup>.

## B AVANTAGES ET LIMITES

L'approche développée par les allemands est beaucoup plus fine que celles développées dans d'autres pays. En effet, la pratique la plus courante consiste en une légère augmentation de la cut-in-speed durant la période d'activité des chauves-souris ainsi qu'une augmentation plus marquée lors de la période à plus haut risque (fin été/début automne). L'algorithme allemand développé ici permet quant à lui de différencier le bridage selon le mois de l'année et la période de la nuit en prenant en compte la protection des chauves-souris mais aussi les rendements de l'éolienne. Il en résulte une technique de bridage optimisée bénéfique à la fois pour les chiroptères et pour les exploitants des parcs éoliens.

L'algorithme développé par les allemands présente néanmoins quelques limites. L'acquisition et l'analyse des données doivent être réalisées de la même manière que lors du projet de recherche. Ces protocoles sont assez lourds et rigoureux. Pour que l'algorithme soit fiable, il est essentiel :

- De se trouver en zone continentale afin de rencontrer les mêmes espèces que lors du projet de recherche. En effet, le modèle a été développé en Allemagne où les abondances des différentes espèces de chiroptères ne sont pas les mêmes que sur les zones atlantiques et méditerranéennes françaises. Seules la zone continentale héberge en effet des populations de noctules (*N. noctula* et *N. leisleri*, cf. Figure 11 et figure ci-contre pour la Leisler).



- D'avoir installé les détecteurs et analysé les données de la même façon que lors de l'élaboration de l'algorithme (type d'appareils de mesures, protocoles de réglage...);
- D'avoir une activité acoustique similaire à celle du projet de recherche : dans le cas d'une forte divergence entre le modèle d'activité d'un échantillon de données d'une éolienne par rapport aux données de l'étude de référence, l'algorithme ne peut pas être appliqué. Il est alors nécessaire de développer un modèle spécifique. Par exemple, de telles divergences peuvent être liées à :
  - un motif d'activité très divergent en fonction de l'heure de la nuit à proximité de gîtes ;
  - une activité plus importante lors de fortes vitesses de vents que dans l'étude de référence ;
  - De fortes particularités liées au site sur la distribution de l'activité dans l'année.
- A partir d'un graphique de référence issue de l'étude<sup>(305)</sup>, les différences dans la représentation de l'activité n'ont pas toutes le même poids : celles liées à la vitesse du vent sont déterminantes par rapport à celles liées à la période (heures, mois).
- L'algorithme de fonctionnement respectueux des chiroptères étant basé sur le calcul de l'activité spécifique à l'éolienne étudiée, ce calcul nécessite un nombre minimal de nuits valides sur la période pendant laquelle l'algorithme doit être calculé :
  - Une nuit est définie comme valide si au moins 80% des intervalles de 10 minutes de cette nuit contiennent des données de vent et/ou de détecteur (elle peut n'être valide que pour l'une des deux composantes) ;
  - En outre il faut un minimum de nuits où à la fois les données de vent ET les données de détecteur sont valides. Pour le détecteur une nuit sans chauves-souris est valide, seules les pannes posant problème. Il faut au moins 66% de nuits valides pour les deux composantes ensemble sur la période considérée. Et il serait préférable d'avoir 75% des nuits avec des données valides pour assurer la fiabilité du modèle. Les données de vent étant relevées en permanence par le producteur éolien, seul l'effort d'étude des chiroptères (et les pannes matérielles) limite la période durant laquelle l'algorithme peut être défini.
  - Enfin ce seuil de 66 % de nuits valides pour les deux composantes doit aussi être atteint sur la période de plus haute activité des chiroptères (juillet à fin septembre) soit au moins 61 nuits sur les 92 de la période juillet à fin septembre.

#### Exemples

- Pour calculer l'algorithme du 15 mars au 31 octobre (soit 231 nuits), il faudra au moins 154 nuits (soit environ 5 mois de suivi) avec des données de détecteur et de vent valides pour que l'algorithme puisse être calculé sur toute cette période, dont 61 sur la période juillet-septembre. Idéalement il serait préférable d'avoir un total de 173 nuits valides.
- Pour calculer l'algorithme de début août à fin octobre (soit 92 nuits), le calcul sera impossible à faire pour l'ensemble de la période mars à octobre (92<154). Par contre il sera bien faisable pour la période d'août à octobre à condition d'avoir sur cette période au moins 2/3 de nuits valides de détecteur ET de vent.

La conclusion principale de l'étude des limites est qu'il faudrait a priori adapter l'algorithme aux zones atlantiques (peu de *N. leisleri*) et méditerranéennes (peu de *N. noctula*) pour tenir compte des différences d'activité et de distribution des espèces<sup>12</sup>. Cela se traduit d'ailleurs bien par les différences de taux de mortalité selon les espèces entre l'Allemagne et la France (cf. Figure 10).

<sup>12</sup> La question reste entière pour le cas de *Nyctalus lasiopterus*

#### 4.2.4.4 - Probat (WindBat)

L'utilisation de l'algorithme respectueux des chiroptères nécessite de collecter un nombre important de données ainsi que de réaliser de nombreuses étapes de calculs (cf. annexe 6). Lors de RENE BAT III, les chercheurs ont développé le logiciel **Probat** afin de faciliter l'utilisation de l'algorithme. Il s'agit d'un logiciel basé sur Access dans lequel il faut importer les données météorologiques, chiroptérologiques ainsi, éventuellement, que les données de production de l'éolienne recueillies lors de l'étude. Après avoir définie la période sur laquelle l'algorithme doit être calculé, Probat effectue automatiquement les calculs et produit plusieurs graphiques dont un permettant de mettre en évidence le lien entre le nombre de victimes prédit au niveau de l'éolienne étudiée et les pertes de rendement estimées en fonction de la vitesse de démarrage des éoliennes (cf. Figure 45), selon le seuil de victime préalablement défini.

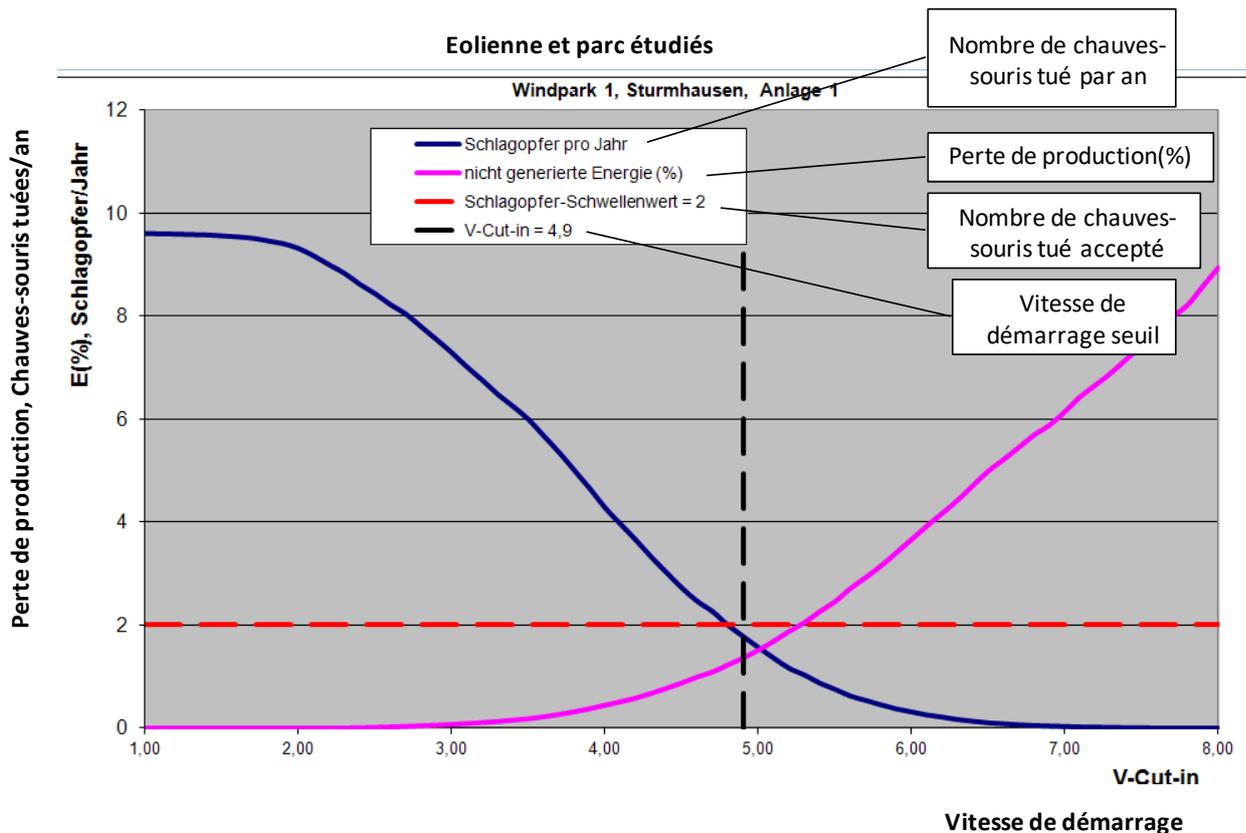


Figure 45 : Graphique représentant le lien entre le nombre de victimes prédit à l'éolienne étudiée, le seuil de victime préalablement défini et les pertes de rendement estimées en fonction de la vitesse de démarrage des éoliennes.

Bien entendu l'utilisation de Probat nécessite d'avoir respecté au préalable toutes les conditions d'application de l'algorithme développées dans le chapitre précédent.

#### 4.2.4.5 - Fleximaus®

Fleximaus<sup>(301)</sup> est un outil développé par la profession éolienne en Allemagne pour contrôler le fonctionnement des éoliennes à partir de l'algorithme de fonctionnement respectueux des chauves-souris proposé par le logiciel ProBat. Fleximaus a déjà été mis en place sur des parcs de Bavière et de moyenne et basse Franconie par exemple<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Parcs : Kaltenbuch-Bergen, Ortlesbrunn, Mühlhausen, Schnaittenbach, Offenhausen, Dürrwangen, Starnberger See, ...

Il va servir d'interface entre les données de Probat et le logiciel qui permet de faire fonctionner l'éolienne (SCADA). Il va néanmoins optimiser les propositions de Probat en tenant compte d'une part des données météorologiques réelles à l'échelle du parc mais aussi d'autres facteurs comme l'intensité de la pluie ou des conditions particulières pouvant impliquer une modification de la régulation (ex : période de fauche ou de moisson). Il permet aussi d'apporter des données de contrôle à l'administration. Enfin, il intègre une approche globale à l'échelle du parc pour réduire les processus marche/arrêt à l'échelle des éoliennes unitairement. Fleximais gère l'hystérésis\* à partir des vitesses de vent et d'un pourcentage de marge de manœuvre variant selon les modèles d'éoliennes.

#### 4.2.5 - Prendre en compte les pertes de rendement

Avant de parler des pertes de rendement, il faut considérer leur impact sur le business plan :

- Lorsque les mesures sont anticipées, au stade de l'étude d'impact par exemple, la perte de rendement peut constituer l'un des paramètres du plan de financement et donc être supportable
- Lorsque les mesures proviennent de prescriptions de l'administration plusieurs années après la construction d'un parc, il peut s'avérer extrêmement difficile de trouver les ressources complémentaires pour financer le manque à gagner.

Les mesures de régulation les plus simples décrites précédemment offrent une stratégie facile à mettre en œuvre pour réduire la mortalité des chauves-souris par les éoliennes<sup>(177)</sup> et elle est généralement considérée comme économiquement acceptable.

Techniquement, lors de fortes vitesses de vent, l'éolienne doit aussi être arrêtée pour éviter tout endommagement de la machine et, sur les modèles récents au moins, ce procédé est possible grâce à la mise en drapeau des pales. Il suffit donc, pour ce type d'éolienne, de paramétrer le SCADA afin que la mise en drapeau soit aussi réalisée lors de vitesses de vent inférieures à la cut-in-speed. Cette mesure n'entraîne donc aucun frais supplémentaire et aucune perte de production (puisque en dessous de la cut-in-speed les forces de frottement sur le rotor sont trop importantes et l'énergie disponible dans le vent n'est pas exploitable). Cette technique permet notamment d'éviter les risques liés aux rafales survenant à de faibles vitesses de vent.

La simplicité est la même pour l'augmentation de la cut-in-speed puisque celle-ci se définit via le SCADA. Par contre cela engendre des pertes de rendement qui dépendent de la vitesse choisie, de la machine et de la répartition des vents dans la zone considérée. Il a été récemment démontré que le bridage des éoliennes à des cut-in-speed supérieures à 6,5m/s ne permet pas de diminuer d'avantage la mortalité mais entraîne par contre un déficit économique conséquent<sup>(230)</sup>. Néanmoins les différences d'impact économique entre une régulation entre 4 ou 6 m/s par exemple peuvent être conséquentes. Cela peut être illustré par les vitesses de rotation du rotor d'une éolienne Vestas V90 étudiée entre juillet et novembre dans l'est de la France par notre équipe<sup>(67)</sup>. La Figure 46 et la Figure 47 étudie respectivement la relation entre la vitesse de vent (m/s) et la vitesse de rotation du rotor (tour/mn) sur les données minimales et maximales au sein des tranches de 10 mn étudiées. Dans la mesure où les données sont obtenues sur des classes de 10 mn, l'analyse des valeurs moyennes de vitesse de vent et de rotation présenterait des artefacts liés à l'effet seuil et mettrait difficilement en évidence les effets rafales. Il faut préciser que le minimum (ou le maximum) de chaque paramètre n'est pas forcément obtenu au même instant du fait des temps de latence. Néanmoins l'étude des relations reste pertinente. La Figure 46 et la Figure 47 mettent en évidence les points suivants :

- L'importance des effets rafales sur les faibles vitesses de vent (nuages verts) sachant qu'il n'y avait pas de mise en drapeau des pales et qu'il n'y a pas de production économique à ce niveau
- Le décalage important, surtout pour les vitesses minimales, entre une régulation à 4 m/s et à 6 m/s (nuages orange).

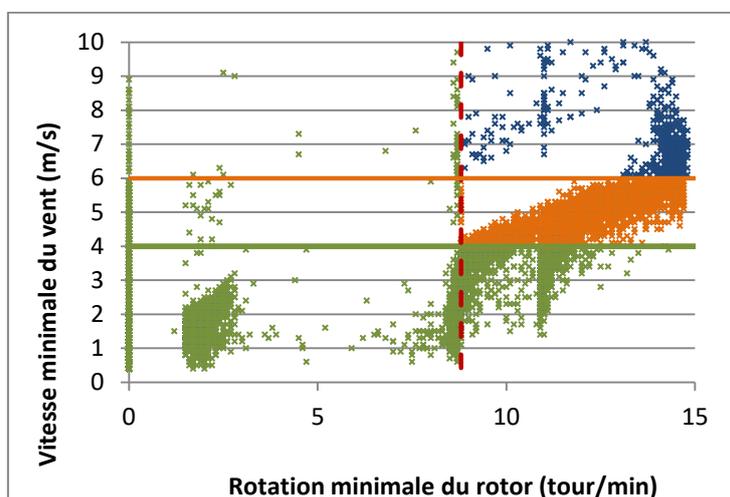


Figure 46 : Relation entre la vitesse minimale du vent et la vitesse de rotation minimale du rotor, sur des classes de 10 mn entre le 1<sup>er</sup> Juillet et le 4 Novembre 2014, sur une éolienne de Franche Comté.

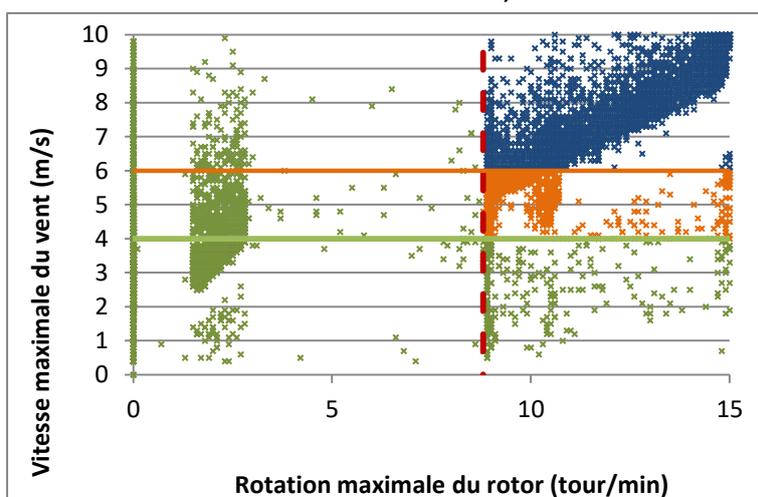


Figure 47 : Relation entre la vitesse maximale du vent et la vitesse de rotation maximale du rotor, sur des classes de 10 mn entre le 1<sup>er</sup> Juillet et le 4 Novembre 2014, sur une éolienne de Franche Comté.

Le nombre de rotation par minute minimal pour la production d'électricité sur l'éolienne étudiée était d'environ 8,8 RPM<sup>14</sup>. Ce paramètre varie d'une éolienne à l'autre de même évidemment que le

<sup>14</sup> Les deux figures permettent de constater l'absence de données pour des rotations comprises entre environ 3 et 8,8 rotation par minute. Ceci s'explique par le mode de fonctionnement de ce type d'éolienne : une fois la cut-in-speed atteinte sur un laps de temps suffisant, les pales sont orientées dans le sens du vent afin d'accélérer le rotor jusqu'à la vitesse de rotation nécessaire à la production d'énergie (ici 8,8 RPM). Cette observation n'aurait pu être faite en analysant les vitesses de vent et de rotation moyennes en raison de l'effet seuil précédemment cité.

diamètre du rotor (cf. annexe 5). Cela signifie qu'une régulation donnée pour des caractéristiques de vent données n'aura pas le même impact économique. Il n'est donc pas possible de généraliser et l'impact économique dépendra :

- Du schéma de régulation défini ;
- De sa relation avec la distribution des vents sur le site considéré ;
- De sa relation avec les caractéristiques techniques de l'éolienne concernée.

Pourtant il est souvent signalé que les coûts économiques de la diminution du fonctionnement des éoliennes en lien avec la protection des chiroptères sont souvent inférieurs à 1% de la production annuelle totale. Cette assertion est difficilement généralisable et sur un site suisse par exemple la perte a été évaluée à 3,2 % par an avec les paramètres choisis<sup>(260, 307)</sup>. La performance du programme mis en œuvre en Suisse a été évaluée et, de mars à octobre 2014, la production d'énergie réalisée avec le programme de bridage a été de 1 188,6 MWh. Cela correspond à une perte de production moyenne de 10,7% sur la période d'étude comparé à une éolienne sans système de bridage. Pour une production annuelle estimée de 4,5GWh en 2014, la perte annuelle ne s'élèverait en fait qu'à 3,2%<sup>(260)</sup>.

Sur un autre site, les résultats issus de 4 ans de test du système CHIROTECH® ont permis d'estimer que la perte économique engendrée par la coupure des éoliennes aux périodes dangereuses pour les chauves-souris a été de moins de 0,5% de la production annuelle<sup>(181)</sup>.

Après avoir testé leur algorithme de mai à octobre 2008 sur 70 éoliennes de 5 parcs différents situés en Allemagne, les premiers résultats publiés en 2013 par Behr *et al.* ont montré que la perte moyenne d'énergie était significativement inférieure à 1% du chiffre d'affaires annuel pour un seuil de deux chauves-souris tuées par an<sup>(172)</sup>.

Il faut donc relativiser les résultats et considérer que pour des lieux d'implantation à haut rendement (où la vitesse de vent est très souvent élevée), un site éolien respectueux des chiroptères entraînera des pertes de rendement relativement faibles, car non seulement les rendements y seront globalement plus élevés mais aussi l'impact des mesures de restriction requises sera très probablement d'importance moindre<sup>(122)</sup>.

## 4.2.6 - Les méthodes de dissuasion

### 4.2.6.1 - Dissuasion acoustique

La mise en place d'effaroucheurs ou de répulsifs à chauves-souris dans l'entourage des éoliennes (brouilleurs, infrasons, sons audibles...) a récemment été testée. Arnett *et al.* ont essayé pendant deux ans des moyens de dissuasion acoustique disposés sur les nacelles des éoliennes. Les éoliennes munies d'appareils diffusant des ultrasons ont montré une baisse de 20 à 53% de la mortalité la première année d'étude et une diminution de 18 à 62% pour la seconde année comparée à celles sans effaroucheur<sup>(184, 193)</sup>.

Cette étude et d'autres expériences ultérieures ont révélées que l'émission d'ultrasons à haut débit peut affecter le comportement des chauves-souris :

- **Directement** : en les décourageant d'approcher de la source sonore.
- **Indirectement** : en réduisant le temps passé à la recherche de nourriture près d'une éolienne si les insectes sont repoussés par ces ultrasons.

Des études ont ainsi montré que les ultrasons pourraient éloigner les insectes et influencer leur reproduction. Des recherches futures devraient tenter de déterminer les facteurs de causalité de l'évitement, y compris pour confirmer l'éventuelle incidence sur les insectes<sup>(43)</sup>.

Une expérience réalisée dans le but de déterminer si les chauves-souris pourraient éventuellement s'acclimater à ce traitement acoustique a démenti cette hypothèse pour la période étudiée. Les chauves-souris ont appris à éviter l'espace aérien traité et la diffusion d'ultrasons pourrait potentiellement servir de balises d'avertissement acoustiques pour les chauves-souris. Ces balises virtuelles pourraient être détectées au-delà de l'espace aérien concerné et les chauves-souris éviteraient ainsi d'entrer dans la zone balayée dangereuse<sup>(69)</sup>.

Si cette solution semble être prometteuse pour limiter l'approche des éoliennes par les chauves-souris<sup>(73)</sup>, les moyens de dissuasion acoustiques montrent tout de même des limites :

- L'efficacité varierait entre les différentes espèces de chauves-souris : les espèces employant une gamme de fréquence faible (20-25 KHz), comme les noctules et les sérotines, seraient davantage affectées que les espèces qui utilisent des fréquences plus élevées<sup>(43)</sup> comme les pipistrelles.
- L'efficacité de la dissuasion par les ultrasons est limitée par la distance et les conditions météorologiques. En effet, les sons émis s'atténuent rapidement et la diffusion des ultrasons est fortement limitée en cas de forte humidité. Une étude de 2013 a montré que l'émission d'ultrasons de haute intensité a réduit l'activité des chauves-souris de manière significative dans un rayon de 15 m<sup>(58)</sup>. Cette faible portée de diffusion peut limiter l'application pratique de l'utilisation de ces appareils étant donné que les pales modernes dépassent largement cette dimension<sup>(69)</sup>. D'autres chercheurs américains<sup>(71)</sup> ont montré que ce système ne permet pas d'éloigner les chauves-souris sur une zone étendue et que pour être pleinement efficaces, les émissions devraient couvrir l'éolienne entière.

#### 4.2.6.2 - Dissuasion visuelle

En 2015, Gorresen et ses collègues ont mené une étude afin de proposer un nouveau moyen d'éloigner les chauves-souris des éoliennes<sup>(236)</sup>. En se basant sur le fait que ces animaux perçoivent les objets distants en premier lieu grâce à leur vision et sur le fait qu'ils pourraient confondre les éoliennes avec des arbres, les auteurs ont étudié le comportement de *Lasiurus cinereus semotus* aux abords d'arbres équipés de lampes ultraviolet (dont le rayonnement est visible pour les chauves-souris et non pour les humains). Le détecteur à ultrason a permis de mettre en évidence que l'illumination des arbres par des lumières UV influence le comportement des chauves-souris et diminue leur activité<sup>(236)</sup>. En effet, les auteurs ont observé des différences significatives dans le nombre total de signaux détectés résultant en une diminution de l'activité de l'ordre de 44% les nuits où les arbres étaient illuminés. Aussi, les vidéos révèlent que la durée moyenne de détection de chauves-souris augmente lors des nuits avec les lampes UV : elles auraient été visibles plus longtemps en passant à de plus grandes distances des caméras et nous pouvons donc supposer qu'elles éviteraient les aires les plus illuminées qui se trouvaient près des caméras<sup>(236)</sup>.

En parallèle de l'étude des chauves-souris, les auteurs ont observé la réponse des insectes aux UV. Il s'est avéré que la biomasse des insectes a été multipliée par 5 les nuits où les lampes étaient allumées et, au vu des résultats précédents, il semblerait que l'activité des chauves-souris ne soit dans ce cas pas corrélée à l'abondance en insectes<sup>(236)</sup>. De plus, les insectes ne sont pas agrégés au niveau des lampes et ceci pourrait suggérer qu'ils sont dispersés dans l'espace aérien à un degré qui ne peut probablement pas attirer les chauves-souris en chasse.

D'après les résultats obtenus, l'utilisation d'un éclairage UV sur les éoliennes pourrait être un moyen spécifique aux chauves-souris (étant donné que les oiseaux ne distinguent pas ce type de rayonnement) pour les empêcher de s'approcher des éoliennes. Néanmoins, les résultats sont à nuancer tout d'abord parce que l'étude n'a porté que sur une espèce (*Lasiurus cinereus semotus*) qui ne réalise pas d'importante migration et dont les taux de mortalité ne montrent pas le pic caractéristique connu en fin d'été en Amérique du Nord ou en Europe. Aussi, les chauves-souris volant autour des arbres illuminés pendant l'expérience sont probablement des individus

« résidents » chassant en territoire connu<sup>(237)</sup> et nous ne savons pas si la familiarité des chauves-souris avec les structures de leur environnement peut influencer leurs interactions avec ces structures. Enfin, la plupart des chauves-souris étudiées ici chassaient sans doute dans les habitats à proximité des arbres éclairés et ne focalisaient donc pas forcément leur comportement vers les arbres alors que les chauves-souris migratrices approcheraient les éoliennes d'une façon plus directe et ciblée<sup>(204)</sup>.

De nombreuses questions restent encore en suspens et des études complémentaires devraient donc être mises en place afin de définir si le fait d'éclairer les éoliennes pourra réduire l'erreur d'identification probablement faite par les chauves-souris.

#### 4.2.6.3 - Dissuasion par émission de champ électromagnétique

En 2007, Nicholls *et al.* ont étudié la possibilité que le rayonnement électromagnétique dégagé par les installations radars pourrait éloigner les chauves-souris de ces structures<sup>(238)</sup>. Pour vérifier leur hypothèse, ils ont étudié l'activité des mammifères autour de stations radars de contrôle de la circulation aérienne civile (n=4) ou militaire (n=3) ou sur des radars météo (n=3) tous entourés d'habitats hétérogènes. L'activité des chiroptères a été mesurée à différentes distances des tours : à moins de 200 mètres où le champ électromagnétique est élevé (>2volts/m) ; entre 200 et 400 mètres où le champ magnétique est modéré (<2volts/m) et à plus de 400 mètres où celui-ci est nul (site de contrôle).

Cette étude a pu mettre en évidence que les chauves-souris sont significativement plus actives dans les sites de contrôle que dans les sites à champ électromagnétique élevé<sup>(238)</sup>. De plus, le type de radar a un effet significatif sur l'activité des chauves-souris entre les sites expérimentaux et les sites témoins : l'activité est la plus importante au voisinage des tours de contrôle de circulation aérienne civile tandis qu'elle est la plus basse au niveau des tours militaires. Cependant, en ajoutant l'interaction intensité du champ\*type de radar au modèle produit par les auteurs, cette relation n'est pas significative. Ceci indique que chaque type de radar a un effet similaire pour les sites de champ électromagnétique modéré et élevé.

La réduction globale de l'activité des chauves-souris dans les habitats exposés à des champs électromagnétiques forts et modérés confirme l'hypothèse que les radiations émises par les radars peuvent provoquer un comportement répulsif chez les chauves-souris. Cette aversion pourrait s'expliquer par deux phénomènes selon les auteurs. Le premier est celui d'une induction thermique provoquée par le champ électromagnétique et ayant pour conséquence une augmentation du risque de surchauffe et d'hyperthermie. En effet, pour la majorité des animaux, une courte période de surchauffe constitue un risque beaucoup plus grand qu'un degré équivalent de refroidissement<sup>(239,240)</sup> et une augmentation de quelques degrés au-dessus de la température optimale peut être rapidement fatale. Aussi, les membranes des ailes des chauves-souris représentent une importante surface par laquelle les radiations peuvent être absorbées, augmentant la surchauffe de l'animal. En combinaison avec l'énergie thermique produite durant le vol, tout ceci fait des chauves-souris des êtres particulièrement sensibles à la surchauffe<sup>(241,242,243)</sup> qui peut être fatale entre 38 et 39°C en conditions expérimentales<sup>(241)</sup>. Il est donc possible que l'induction thermique résultant de l'exposition au champ électromagnétique au voisinage des radars puisse représenter un régime thermique inadapté pour les chauves-souris.

La seconde hypothèse suggère que le champ électromagnétique pourrait interférer avec le système d'écholocation des chauves-souris. Il est probable que les chauves-souris exposées à des fréquences radios de puissance suffisante pourraient effectivement percevoir ces ondes. De plus, la fréquence détectée serait comprise dans la plage de fréquence utilisée pour s'orienter, détecter ou capturer une proie pour la majorité des espèces<sup>(238)</sup>. Pour conclure, si les chauves-souris peuvent percevoir les sites exposés à des champs électromagnétiques élevés et ressentir en parallèle un échauffement interne, il pourrait en résulter un comportement d'évitement de ces zones « à risque ».

Le même auteur a conduit une seconde expérience sur cette thématique en utilisant cette fois-ci un petit radar portable<sup>(246)</sup>. Les résultats obtenus ont permis de démontrer que l'utilisation de ce type d'appareil permet de réduire considérablement l'activité des chauves-souris dans les 30 mètres du dispositif. Mais quel que soit le site, les chauves-souris sont toujours venues chasser durant les essais et aucun comportement d'évitement actif n'a été observé. Il est possible que seule une combinaison particulière de longueur d'onde, de répétitions des signaux, de puissance ou d'orientation puisse entraîner une réaction. D'autres travaux sont donc nécessaires pour connaître d'avantage cette relation et déterminer si les champs électromagnétiques pourraient éloigner les chauves-souris des éoliennes. Néanmoins, ce type de radiation peut provoquer des problèmes de santé aux chauves-souris mais aussi potentiellement aux hommes, cette mesure de dissuasion pourrait ne pas être acceptée du public ou des autorités.

## 5 - CONCLUSION

En France, le débat est toujours centré, mi-2016, sur les protocoles d'études d'impact et ceux concernant le suivi de la mortalité au sol. Ces débats impliquent l'administration, les opérateurs éoliens et les ONG, avec en arrière-plan les questions liées aux dérogations sur les espèces protégées. Si quelques bureaux d'études travaillent sur les protocoles de réduction des risques, ils sont encore peu nombreux. De plus l'administration hésite à imposer des mesures de réduction des risques à la fois par inquiétude de ne pas pouvoir les contrôler mais aussi parce que tous les chiffres circulent sur les possibilités de bridage et les impacts économiques avec un manque de culture sur le sujet.

Le présent rapport montre d'une part qu'à l'étranger les connaissances et les programmes de recherche sont beaucoup plus proactifs et d'autre part que les mesures de réduction des risques sont beaucoup plus développées. La Commission européenne a annoncé son intention de lancer une grande étude sur ce sujet (elle concernera aussi les oiseaux et les mammifères marins) ce qui paraît une nécessité si l'on veut atteindre un bon état de conservation pour certaines espèces européennes de chiroptères.

L'attractivité des éoliennes pour les chiroptères semble de plus en plus acceptée au niveau international ce qui réduit la portée des études d'impacts et renforce le besoin de trouver d'autres modalités de travailler sur les mesures de réduction des impacts.

Beaucoup reste à faire et on relèvera en particulier les besoins suivants :

- Former les administrations, les opérateurs et les bureaux d'études sur les enjeux techniques liés à la réduction du risque de mortalité des chauves-souris au droit des éoliennes ;
- Passer d'une démarche étude ex-ante pour l'implantation à un protocole de réduction minimale des risques doublé d'une évaluation ex-post tournée vers la mise en œuvre de solutions pérenne ;
- Mieux dissocier le comportement de vol et la mortalité en lien avec les paramètres météorologiques ;
- Disposer de modèles permettant aux exploitants de mieux anticiper sur les risques en tenant compte des vents locaux mais aussi des caractéristiques techniques des machines ;
- Disposer de modèles ou algorithmes propres aux domaines biogéographiques méditerranéen ou atlantique ;
- Affiner l'évaluation des procédés de réduction des risques en « temps réel » et définir des normes de comparaison et d'analyse pour cela ;
- Développer les recherches sur l'impact des éoliennes sur les dynamiques de population des chauves-souris et sur les effets cumulés ;
- Poursuivre les recherches sur les pistes novatrices de dissuasion.

A la lumière de ce qui se passe en Allemagne avec les programmes RENEBAT, une implication commune des administrations, des opérateurs, des constructeurs et du monde de la recherche en faveur de solutions novatrices et pérennes constituerait la meilleure des approches pour les années à venir

## 6 - BIBLIOGRAPHIE PAR NUMERO

- (1) Baerwald E., D'Amours G., Klug B. & Barclay R., 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. In *Curent Biology*. Vol. 18 N°16. Calgary, Canada: University of Calgary. p. R695-R696.
- (2) Exen & KJM, 2010. Eoliennes et chauves-souris, Expériences croisées des bureaux d'études. Séminaire national éolien Biodiversité. Reims. 31p.
- (3) Biocenose & LPO Aveyron-Grands Causses, 2002. Synthèse et analyse bibliographique visant à évaluer l'impact des éoliennes sur les populations de vertébrés sauvages. France. 65p.
- (4) Ecothème, 2005. Projet d'implantation d'éoliennes, commune de Saint-Jacques d'Alémont (76). France. 11p.
- (5) Marchais G. 2010. Expérience d'utilisation du système de télétransmission des données 'anabat' sur mâts de mesure d'un site d'étude de projet éolien. Séminaire Eolien et Biodiversité. Ecosphère. Reims. 13p.
- (7) Dulac P., 2008. Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin sur l'avifaune et les chiroptères, bilan de 5 années de suivi. Ademe/Région Pays de Loire, La Roche sur Yon. 106p.
- (8) Loiret Nature Environnement, 2009. Suivi ornithologique et chiroptérologique des parcs éoliens de Beauce. France. 6 p.
- (9) ABIES, 2010. Suivis de l'impact éolien sur l'avifaune et les chiroptères exemples de parcs audois. Séminaire National LPO Eolien & Biodiversité. Reims. 31p.
- (14) Ministère de l'Ecologie et Du Développement Durable, 2004. Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. France. p.94 -96
- (16) ADEME & Conseil général de Bourgogne, 2005. Atlas éolien de la région bourgogne. France. 87p.
- (19) Région Haute-Normandie, 2007. Schéma régional éolien. Rouen. 86p.
- (21) Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2010. Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens Actualisation 2010. Paris. P.70-76.
- (25) Erickson W. & Arnett E., 2009. Wind-wildlife interaction: what we know. WEST Inc., Cheyenne, Wyoming. 37p.
- (26) Piorkowski M., 2006. Breeding bird habitat use and turbine collisions of birds and bats located at a wind farm in Okhlaoma mixes-grass prairie. Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University. 112p.
- (27) Howe R., Evans W. & Wolf A., 2002. Effects of Wind Turbines on Birds and Bats in Northeastern Wisconsin. University of Wisconsin-Green Bay. 112p.
- (29) Erickson W., Jonhson G., Young D., Strickland D., Good R., Bourassa M., Bay K. & Semka K., 2002. Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments. West Inc., Cheyenne. 129p.
- (30) Koford R., 2003. Avian mortality associated with the top of Iowa wind farm. Iowa State University, 2004. 9p.
- (36) U.S. Fish & Wildlife Service, 2012. Land-Based Wind Energy Guidelines. USFWS, USA. 82p.
- (37) The American Wind Energy Association, 2004. Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts. RESOLVE, Inc. Washington, DC. 132p.
- (40) Arnett E. 2006. A Preliminary Evaluation on the Use of Dogs to Recover Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. Bat Conservation International, Austin, USA. 6p.
- (41) Arnett E., Huso M., Schirmacher M. & Hayes J., 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities -*Front Ecol Environ* 2011 – 9 (4): 209-214.

- (42) Natagora et Plecotus, 2008. Éoliennes et Chauves-souris. Colloque Chauves-souris VUB du 18 avril 2008. 20p.
- (43) Arnett E., Hein C., Schirmacher M., Huso M. & Szewczak J., 2011. Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines: Final Report. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 46p.
- (44) Nicholson C., Tankersley R., Fiedler J. & Nicholas N.S., 2005. Assessment And Prediction Of Bird And Bat Mortality At Wind Energy Facilities In The Southeastern United States. Tennessee Valley Authority, Knoxville, TN. 65p.
- (46) Barclay R., Baerwald E.F. & Gruver J.C. 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy fatalities: assessing the effect of rotor size and tower height. NRC Canada. P381-387.
- (50) Edkins M. 2008. Impacts of wind energy developement on birds and bats: looking into the problem. Prepared for: FPL Energy, Juno Beach, Florida. 44p.
- (51) Horn J., Arnett E. & Kunz T. 2008(a). Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. The Journal of Wildlife Management.72(1) p. 123-132
- (52) Cryan P. & Barclay R. 2009. Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. Journal of Mammalogy, Vol. 90, n°6.p:1330–1340.
- (54) Lynn J. & Auberle W., 2009. Guidelines for Assessing the Potential Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development in Northern Arizona and the Southern Colorado Plateau. Northern Arizona University, Flagstaff. 48p.
- (56) National Wind Coordinating Collaborative, 2010. Wind Turbine Interactions with Birds, Bats, and their Habitats: A Summary of Research Results and Priority Questions. NWCC. 8p.
- (58) EUROBATS, 2013. Progress Report of the IWG on “Wind Turbines and Bat Populations”. 18th Meeting of the Advisory Committee. Sofia, Bulgaria, 15 – 17 April 2013. 30p.
- (59) Godineau F. & Pain D., 2007. Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 – 2012. Société Française pour l’Étude et la Protection des Mammifères / Ministère de l’Écologie, du Développement et de l’Aménagement Durables, 79 p.
- (60) Leuzinger Y., Lugon A. & Bontadina F. 2008. Eoliennes en Suisse Mortalité de chauves-souris. Rapport avril 2008. Département fédéral de l’environnement, des transports, de l’énergie et de la communication. 34p.
- (61) Haquart A., Bas Y., Tranchard J. & Lagrange H. 2012. Suivi annuel continu de l’activité des chiroptères sur 10 mâts de mesure : évaluation des facteurs de risque lié à l’éolien. Biotope, Bourges. 54p.
- (62) Joiris E. 2012. High altitude bat monitoring. Preliminary results Hainaut & Ardennes. CSD Ingenieurs. 69p.
- (64) Eneria. 2010. IDSTAT Détection des collisions sur pale d’éolienne. Eneria et Calidris. 2p.
- (68) Arnett E., Schirmacher M., Huso M. & Hayes J. 2010. Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities. Final report prepared for the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission, 57 pp.
- (69) Szewczak J. & Arnett E. 2007. Field Test Results of a Potential Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortality from Wind Turbines. Humboldt State University, Acata, CA and Bat Conservation International, Austin, TX. 14p.
- (70) Kunz T., Arnett E., Erickson W., Hoar A., Jonhson G., Larkin R., Dale Strickland M., Thresher R. & Tuttle M. 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. Front Ecol Environ 2007; 5(6).p.315–324.
- (71) Horn J., Arnett E., Jensen M. & Kunz T. 2008(b). Testing the effectiveness of an experimental acoustic bat deterrent at the Maple Ridge wind farm. Report Prepared for: The Bats and Wind Energy Cooperative and Bat Conservation International, Austin, TX. 30p.

- (72) Szewczak J. & Arnett E. 2006. Ultrasound emissions from wind turbines as a potential attractant to bats: a preliminary investigation. Humboldt State University, Acata, CA and Bat Conservation International, Austin, TX. 11p.
- (73) Spanjer G., 2006. Responses of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*, to an acoustic deterrent device in a lab setting. Department of Biology, University of Maryland, College Park, MD. 12p.
- (74) Kerns J., 2005. Preliminary Fatality Results-Mountaineer Wind Energy Center. University of Maryland Center for Environmental Science Appalachian Laboratory, Frostburg, MD. 34p.
- (75) Johnson G., 2003. Overview of Available Bat Mortality Studies at Wind Energy Projects. WEST Inc., 2003 Central Ave. Cheyenne, WY. 46p.
- (78) Paula J., Leal M., Silva M., Mascarenhas R., Costa H. & Mascarenhas M. 2011. Beware of the dog! Bio3. Norway. 1p.
- (83) Lagrange H. & Rico P. 2010. Chirotech Bilan du programme 2006-2009. Biotope et NORDEX. 18p.
- (85) Hedenström A. & Rydell J. 2012. Effect of wind turbine mortality on noctule bats in Sweden: predictions from a simple population model. Biology Department Lund University, Sweden. 11p.
- (86) Mathews F. 2011. National Bats and Wind Turbines Project. University of Exeter. 25p.
- (87) Mitchell-Jones T. & Carlin C. 2009. Bats and onshore wind turbines. Natural England Technical Information Note TIN051, 11 February 2009. 9p.
- (93) EUROBATS 2012. 17th Meeting of the Advisory Committee Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations. Dublin, Ireland, 15 – 17 May 2012. 19p.
- (94) DT-Bird. 2012. DT-Bird, a self-working system to reduce bird mortality in wind farms. Madrid. DTBird, Madrid. 2p.
- (95) Dubourg-Savage M-J. 2011. Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe comparing north and south. EUROBATS. 1p.
- (96) Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage MJ., Green M., Rodrigues L. & Hedenström A. 2010. Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? Eur J Wildl Res, published online DOI 10.1007/s10344-010-0444-3, Springer-Verlag. 5p.
- (98) Behr O., Eder D., Marckmann U., Mette-Christ H., Reisinger N., Runkel V. & von Helversen O. 2007. Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Schlagopfern – Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald. Nyctalus (N.F.) 12 (2/3): 115-127
- (102) Korner-Nievergelt F., Korner-Nievergelt P., Behr O., Niermann O., Brinkmann R. & Hellriegel B. 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildl. Biol. 17: 350-363. 14p.
- (104) Rydell J., Engstrom H., Hedenstrom A., Kyed Larsen J., Pettersson J & Green M. 2012. The effect of wind power on birds and bats. Report 6511. Swedish Environmental Protection Agency. 152p.
- (107) Cornut J. & Vincent S. 2010. Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme/CN'Air, 43p.
- (108) AVES environnement & le Groupe Chiroptères de Provence. 2010. Parc éolien du Mas de Leuze Saint Saint-Martin-de-Crau (13). Etude de la mortalité des Chiroptères (17 mars– 27 novembre 2009). Arles. 38p.
- (109) Beucher Y., Kelm V., Albespy F., Geyelin M., Nazon L. & Pick D. 2011. Parc éolien de Castelnaud-Pegayrols (12). Suivi d'impacts post-implantation sur les chauves-souris. Bilan de campagne des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> années d'exploitation (2009-2010). Exen et KJM Conseil. 92 p.
- (111) EUROBATS, 2007. Notes from the Workshop Wind Turbines & Bat Populations Workshop, 5th February 2007. Defra, EUROBATS, Bat Conservation Trust. 26 p.

- (112) Rodrigues L., Bach L., Dubourg-Sauvage M.J., Goodwin J. & Harbusch C. 2008. Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. Publication Series No 3. PNUE/EUROBATS. 29p.
- (113) European Commission, 2010. Wind energy developments and Natura2000. 116p.
- (117) Brinkmann R., 2006. Études sur les impacts potentiels liés au fonctionnement des éoliennes sur les chauves-souris du district de Fribourg. Koordinierungsstelle Windenergie e.V., Gundelfingen. 63p.
- (118) Behr O. & Helversen O. 2005. Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Institut für Zoologie, Erlangen. 42p.
- (120) Korner-Nievergelt F., Brinkmann R, Niermann O. & Behr O. 2013. Estimating Bat and Bird Mortality Occuring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. PLoS ONE 8(7) : e67997.
- (121) Behr O., Brinkmann R., Niermann I. & Korner-Nievergelt F. 2011. Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergie-anlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp.354-382
- (122) Brinkmann R., Behr O., Korner-Nievergelt F., Mages J., Niermann I. & Reich M. 2011. Zusammenfassung der praxisrelevanten Ergebnisse und offene Fragen. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergie-anlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp.425-453
- (123) Niermann I., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F. & Behr O. 2011. Systematische Schlagopfersuche-Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergie-anlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp. 40-111
- (125) Arthur L. & Lemaire M. 2009. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze. 544p.
- (128) SER, 2013. SER Magazine Le syndicat des énergies renouvelables. N°8, juin 2013. Paris. 33p.
- (129) Camina A. 2012. Bat fatalities at wind farms in northern Spain — lessons to be learned. In: Acta Chiropterologica, Volume 14, Number 1, June 2012 , pp. 205-212(8) Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences.
- (130) Georgiakakis P., Kret E., Carcamo B., Doutau B., Kafkaletou-Diez A., Vasilakis D. & Papadatou E. 2012. Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece- Acta Chiropterologica, Volume 14, Number 2, December 2012 , pp. 459-468(10)Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences.
- (131) Amanda Miller. 2008. Patterns of avian and bat mortality at a utility scaled wind farm on the southern high plains. Texas Tech University.125p.
- (132) Johnson G., Erickson W., White J. & McKinney R. 2003. Avian and Bat Mortality During the First Year of Operation at the Klondike Phase I Wind Project, Sherman County, Oregon. WEST, Inc. 17p.
- (133) Johnson G., Erickson W., Dale Strickland M., Shepherd M., Shepherd D. & Sarappo S. 2003. Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. Am. Midl. Nat. 150:332–342.
- (135) Energie Eolienne France. En France/Statistiques/Tout savoir sur l'énergie éolienne/Accueil-France Energie Eolienne. France Energie Eolienne [en ligne]. Consulté le 10 juillet 2013. Disponible sur: [http://fee.asso.fr/tout\\_savoir\\_sur\\_l\\_energie\\_eolienne/statistiques/en\\_france](http://fee.asso.fr/tout_savoir_sur_l_energie_eolienne/statistiques/en_france)
- (136) The Wind Power : Base de données sur les éoliennes et parcs éoliens. Base de données sur l'énergie éolienne. [en ligne]. 2013. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : [http://www.thewindpower.net/index\\_fr.php](http://www.thewindpower.net/index_fr.php)
- (137) Enercon. Windenergieanlagen-Enercon. Windenergieanlagen [en ligne]. 2013. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : <http://www.enercon.de/de-de/windenergieanlagen.htm>

- (138) Nordex. Nordex : N90 (2,5 MW). [en ligne]. 2013. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : [http://www.nordex-online.fr/index.php?id=474&no\\_cache=1&L=ydvymokhklqcas](http://www.nordex-online.fr/index.php?id=474&no_cache=1&L=ydvymokhklqcas)
- (139) Michamps 4B. Vitesse maximale d'une éolienne au bout de la pale - pédagogie. [en ligne]. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : <http://www.michamps4b.be/pedagogie-eolienne-calcul-vitesse.php>
- (140) Barataud M., 2012. Ecologie acoustique des Chiroptères d'Europe. Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope éditions, Mèze- Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 344p.
- (141) Dürr T., 2013. Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Stand: 19. April 2013. 1p.
- (142) Frick W., Stepanian P., Kelly J., Howard K., Kuster C., Kunz T. & Chilson P. 2012. Climate and Weather Impact Timing of Emergence of Bats. PLOS One. 2012 7 (8) Published online 2012 august 2. Brock Fenton, Editor. Disponible sur: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0042737>
- (143) Gillam E., McCracken G., Westbrook J., Lee Y., Jensen M. & Balsley B. 2009. Bats aloft: variability in echolocation call structure at high altitudes. Behav. Ecol. Sociobiol (2009) 64:69-79. Disponible sur : <http://link.springer.com/article/10.1007/s00265-009-0819-1>
- (144) Albrecht K. & Grünfelder C. 2011. Fledermäuse für die Standortplanung von Windenergieanlagen erfassen. Standortplanung von Windenergieanlagen, NuL 43 (1), 2011, 5-014 Pp.
- (145) Ahlen I., Bach L., Baagoe H. & Pettersson J. 2007. Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. Report 5571, July 2007. Swedish Environmental Protection Agency. Bromma, Sweden. 37 p.
- (146) Bach L., Bach P. & Tillmann M. 2011(a). What does bat activity inside the forest tell us about the activity above the canopy? A method for sensing bat activity at proposed wind plans in forest. 1p.
- (147) Bach P., Niermann I. & Bach L. 2011(b). Impact of wind speed on the activity of bats- at the coast and inland. 1p.
- (148) Collins J. & Jones G. 2009. Differences in Bat Activity in Relation to Bat Detector Height: Implications for Bat Surveys at Proposed Windfarm Sites. Acta Chiropterologica 11(2):343-350 Pp. Disponible sur: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.3161/150811009X485576>
- (149) Energie Renouvelable, 2007. L'énergie éolienne. Paris. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: <http://www.energie-renouvelable.org/eolien/energie-eolienne.htm>
- (150) Usine Nouvelle, 2013. Le secteur de l'éolien réclame un nouvel arrêté sur le tarif de rachat de l'électricité-Energie. Publié le 11 juillet 2013. Paris. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: <http://www.usinenouvelle.com/article/le-secteur-de-l-eolien-reclame-un-nouvel-arrete-sur-le-tarif-de-rachat-de-l-electricite.N201315>
- (151) Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. 2013. Communiqué de presse. Eolien terrestre : un nouveau modèle de contrat d'achat pour sécuriser les projets et faciliter leur financement. Paris, vendredi 29 mars 2013. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2013-03-29\\_Eolien\\_terrestre.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2013-03-29_Eolien_terrestre.pdf)
- (152) Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'énergie. 2009. L'énergie éolienne à terre. Paris. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Tarifs-d-achat,12280.html>
- (153) France Energie Eolienne, 2015. Observatoire de l'éolien, analyse du marché et des emplois éoliens en France. Colloque France Energie Eolienne, novembre 2015, BearingPoint France SAS.

Disponible sur : [http://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/11/Observatoireeolien2015\\_VF\\_FEE.pdf](http://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/11/Observatoireeolien2015_VF_FEE.pdf)

- (154) Morrison M. 2006. Bird Movements and Behaviors in the Gulf Coast Region: Relation to Potential Wind energy Developments. Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas. 38p.
- (155) Huso M., Wilson Z. & Arnett E. 2011. Expanding fatality estimates from the search plot to the entire site. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 29
- (156) Reitan O. & Bevanger K. 2011. Optimizing searches for bird collision fatalities within a wind-power plant area by using trained dogs. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 119
- (157) Paula J., Leal M., Silva M., Mascarenhas R., Costa H. & Mascarenhas M. 2011. Beware of the dog! In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 109
- (158) Bispo R., Huso M., Palminha G., Som N., Ladd L., Bernardino J., Marques T. & Pestana D. 2011. A web based application to estimate wildlife fatality: from the bias correction factors to the corrected fatality estimates. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 13
- (159) Delprat B & Alcuri G. 2011. ID Stat: Innovative technology for assessing wildlife collisions with wind turbines. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 22
- (160) Budgey R., Bone S. & Simms I. 2009. The assessment of mortality at an onshore windfarm corrected for scavenging rate and detection rate. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 71
- (161) Bach L., Bach P. & Niermann I. 2011(c). Impact of wind speed on the activity of bats. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 59
- (163) O'Briain M. 2011. EU Guidelines on wind energy and nature conservation. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 43
- (164) Smallwood S. 2011. Comparing avian and bat fatality rates estimates among North American wind energy projects. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 54
- (165) Dubourg-Savage M.J., Rodrigues L., Santos H., Bach L & Rydell J. 2011. Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe: comparing north and south. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 124
- (166) Bach P., Bach L., Ekschmitt K., Frey K. & Gerhardt U. 2013. Bat Activities and Bat Fatalities at Different Wind Farms in Northwest Germany. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.12
- (167) Baerwald E. & Arnett E. 2013. Assessing the Impact of Wind Energy Development on Bats. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.12
- (168) Barclay R. 2013. It is Time to Stop Counting Bat Fatalities per Wind Turbine. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.16
- (170) Hale A., McAlexander A., Bennett V. & Cooper B. 2013. A test of a novel Attraction hypothesis- Why are bats attracted to wind turbines? In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.64

- (171) Weller T. & Giordano S. 2013. Echolocation behavior of Hoary Bats during migration provides insights into their disproportionate fatality rate at Wind energy Fatalities. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.165
- (172) Behr O., Brinkman R., Korner-Nievergelt F. & Niermann I. 2011. Using acoustic monitoring to measure and mitigate the risk of bat-collisions at wind turbines in central Europe. In: NINA Report 693 Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 12
- (173) Marchais G. 2011. Projet d'implantation d'un parc éolien sur les communes de Saint-Civran, Chazelet et Sacierges-Saint-Martin. Rapport sur le suivi de l'activité chiroptérologique en hauteur (avril – octobre 2011). Ecosphère, Saint-Maur-des-Fossés, France. 49p.
- (174) Conduche N., Daumal T., Louvet C., Tourte S. & Spinelli-Dhuicq F. 2012. Suivis des impacts sur les chiroptères d'un parc éolien dans l'Aisne (02). Ecosphère/Ecothème, Saint-Maur-des-Fossés, France. 42p.
- (175) Ecosphère. 2012. Projet d'implantation d'un parc éolien en Dordogne (24) Etude chiroptérologique en altitude sur mât de mesure d'août à octobre 2012. Ecosphère, Saint-Maur-des-Fossés, France. 38p., dossier en cours
- (176) Kippeurt L. 2012. Volet avifaune et chiroptères de l'étude d'impact pour l'implantation d'un parc éolien sur le territoire de la communauté de communes du secteur de Dompierre (88). Biotope 107p.
- (177) Arnett E., Johnson G.D., Erickson W.P. & Hein C.D. 2013(b). A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 38 p.
- (178) AREN, 2006. Dossier Les éoliennes. Agence régionale de l'environnement de Haute-Normandie Consulté le 27/08/2013 [en ligne] Disponible sur:  
<http://www.arehn.asso.fr/dossiers/eolienne/eolienne.html>
- (179) EUROPA. 2013. EUROPA-Domaine d'Action de l'Union Européenne-Energie. [en ligne] Consulté le 27/08/13. Disponible sur: [http://europa.eu/pol/ener/index\\_fr.htm](http://europa.eu/pol/ener/index_fr.htm)
- (180) Collier M.P., Dirksen S. & Krijgsveld K.L., 2012. A review of methods to monitor collisions or micro-avoidance of birds with offshore wind turbines Part 2: Feasibility study of systems to monitor collisions. Bureau Waardenburg by Consultants for environment & ecology. 30p.
- (181) Lagrange H., Rico P., Bas Y., Ughetto A.L., Melki F. & Kerbiriou C., 2013. Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of Chirotech®. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.83
- (182) Bennett V. & Hale A., 2013. Site-specific wind turbine curtailment has its advantages. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.19
- (183) Martin C., Arnett E., Wallace M. & Hein C., 2013. Effectiveness of operational mitigation in reducing bat fatalities at the Sheffield Wind Facility, Vermont. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.93
- (184) Arnett E., Baker M., Hein C., Schirmacher M., Huso M. & Szewczak J., 2011. Effectiveness of deterrents to reduce bat fatalities at wind energy facilities. In: NINA Report 693 Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 57
- (185) Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011. Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie

mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement. Journal officiel de la république française. Texte 14 sur 136. 6p.

(186) Jones G., Cooper-Bohannon R., Barlow K. & Parsons K., 2009. Scoping and method development report. Determining the potential ecological impact of wind turbine bat populations in Britain. University of Bristol et Bat Conservation Trust. 158p.

(187) Bernardino J., Bispo R., Torres P., Rebelo R., Mascarenhas M. & Costa H., 2011. Enhancing Carcass Removal Trials at Three Wind Energy Facilities in Portugal. Portuguese Wildlife Society. In: Wildlife Biologie Practice, 2011 Décembre 7(2): 1-14.

(188) Santos S., Carvalho F. & Mira A., 2011. How Long Do the Dead Survive on the Road? Carcass Persistence Probability and Implications for Road-Kill Monitoring Surveys. PLoS ONE 6(9). Disponible sur: <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0025383>

(189) Divers intervenants 2013. Séminaire « Comment concilier développement éolien et biodiversité ? Regards croisés franco-allemands – 26 septembre 2013 - Office franco-allemand pour les énergies renouvelables (OFAEnR), ambassade de France en République d'Allemagne, Berlin

(190) Euroserv'er, 2013. Baromètre éolien Wind Power Barometer février 2013. Hors série Le journal de l'éolien. N°12. 12

(191) Arnett E., Barclay R. & Hein C. 2013(c). Thresholds for bats killed by wind turbines - Front Ecol Environ 2013 – 11 (4): 171-171

(192) EUROBATS 2014. 9<sup>th</sup> Meeting of the Standing Committee, 19th Meeting of the Advisory Committee Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations. Heraklion, Greece, 7 – 10 April 2014. 26p

(193) Arnett E., Hein C., Schirmacher M., Huso M. & Szewczak J. 2013(a). Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. PLoS ONE 8(6): e65794. doi:10.1371/journal.pone.0065794.

(194) Amorim F., Rebelo H. & Rodrigues L. 2012. Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean Region – Acta Chiropterologica, 14(2): 439-457

(195) Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.). 2011. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum bd., Cuvillier Verlag, Göttingen, 457 pp.

(196) Huso M. 2010. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. Environmetrics 22 : 318-329.

(197) Rico P. & Lagrange H. 2011. Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze. Ademe, 52 p.

(198) Guegnard A. & Condette C. 2013. Retour sur 10 années de suivi de mortalité en Vendée. Diaporama présenté au deuxième séminaire national sur l'énergie éolienne et la protection de la biodiversité. Nantes le 30 octobre 2013.

(199) Roux D., Tran M. & Gay N., 2013. Suivi des oiseaux et des chiroptères sur un parc éolien : comportement et mortalité à Bollène (84) entre 2009 et 2012. Faune sauvage 298 : 10-16.

(200) Bernardino J., Bispo r., Costa H. & Mascarenhas M. 2013. Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. New Zealand Journal of Zoology 41(1) : 63-74.

(201) Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage MJ., Green M., Rodrigues L. & Hedenström A., 2010. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. Acta Chiropterologica 12(2) : 261-274.

(202) Bispo R., Bernardino J. Marques T.A. & Pestana D. 2012. Modeling carcass removal time for avian mortality assessment in wind farms. Environmental and Ecological Statistics. DOI 10.1007/s1061-012-0212-5.

- (203) Lehnert L.S., Kramer-Schadt S., Schönborn S., Lindecke O. & Niermann I. 2014. Wind Farm Facilities in Germany Kill Noctule Bats from Near and Far. PLoS ONE 9(8) : e103106 doi:10.1371/journal.pone.0103106.
- (204) Cryan, P. M., Gorresen P. M., Hein C.D., Schirmacher M.R., Diehl R.H., Huso M.M., Hayman D.T.S., Fricker P.D., Bonarcorso F.J., Johnson D.H., Heist K. & Dalton D.C. 2014. Behavior of bats at wind turbines – PNAS, 111, 42 6 p. + supporting information 10.1073/pnas.1406672111
- (205) Long C.V., Flint J.A. & Lepper P.A., 2011. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? Eur J Wildl Res, published online DOI 10.1007/s10344-010-0432-7, Springer-Verlag. 9p.
- (206) Kelm D.H, Lenski J., Kelm V., Toelch U. & Dziock F. 2014. Seasonal bat activity in relation to distance to hedgerows in an agricultural landscape in central Europe and implications for wind energy development - Acta Chiropterologica, 16(1): 65–73
- (207) Osborne, R. G., Higgins K. F., Dieter C. D. & Usgaard R. E. - 1996 - Bat collisions with wind turbines in Southwestern Minnesota. Bat Research News 37: 105-108
- (208) Smallwood, K. S. & Karas, B. – 2009 - Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in California. – Journal of Wildlife Management 73: 1062-1071; doi: 10.2193/2008-464.
- (209) MEDDE – 2008 - Rapport au Parlement - Programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité - Période 2009–2020 – Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, 132 p.
- (210) Beucher Y., Kelm V., Albespy F., Geyelin M., Nazon L. & Pick D., 2013. Parc éolien de Castelnaud-Pegayrols (12). Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan de campagne des 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> années d'exploitation (2009-2011). Exen et KJM Conseil. 116 p.
- (211) Hurst, J., Dietz M., Höhne E., Biedermann M., Karst I., Schorcht W., Dietz C. & Brinkmann R. 2015. Bats activity above the forest canopy - Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts 10-12, 2015 Berlin
- (212) Feltl J., Werner M. & Kaminsky S.K. 2015. Activity of bats in different altitudes at wind measurement masts and wind turbines - Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts 10-12, 2015 Berlin
- (213) Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. 2014. Konkretisierung der hessischen Schutzanforderungen für die Mopsfledermaus *Barbastella barbastellus* bei Windenergie-Planungen unter besonderer Berücksichtigung der hessischen Vorkommen der Art. pdf-document 65 pages
- (214) Voigt C.C., Popa-Lisseanu A.G., Niermann I. & Kramer-Schadt S. 2012. The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations – Biological Conservation 153(2012) 80-86
- (215) Behr O., Hochradel K., Mages J., Nagy M., Korner-Nievergelt F., Niermann I., Simon R., Stiller F., Weber N. & Brinkmann R., 2013(a). Bat-friendly operation algorithms: reducing bat fatalities at wind turbines in central Europe. Journée "Comment concilier développement éolien et biodiversité ? Regards croisés franco-allemands" Office franco-allemand pour les énergies renouvelables (OFAEnR), Berlin 26 Septembre 2013
- (216) Behr O. & Rudolph B-U. 2013. Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen - Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 30 p.
- (217) Bach P., Bach L. & Ekschmitt K. 2015. Activities and fatalities of Nathusius' pipistrelles at different wind farms in Northwest Germany - Communication Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin

- (218) Reers, H. & Brinkmann R. 2015. Bat activity at nacelle height over forest – Communication Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin
- (219) Hein C., Cryan P., Gorresen M., Huso M., Schirmacher M., Diehl R., Heist K., Bonaccorso F., Johnson D., Hayman D., Fricker P. & Dalton D. 2015. Monitoring bat activity & behavior at wind turbines using thermal imagery & ultrasonic acoustic detectors – Communication Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin
- (220) Martin C., Arnett E. & Wallace M. 2015. Operational Mitigation Reduces Bat fatalities at Sheffield Wind facility, Vermont – Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin
- (221) Hochradel K., Uwe A., Heinze N., Nagy M., Stiller F. & Behr O. 2015. Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen. In : Behr O., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Reich M. & Simon R. (Hrsg.) : Reduktion des Kollisionrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). – Umwelt und Raum BD. 7, 81 - 100, Institut für Umweltplanung, Hannover.
- (222) Million L., Julien J.-F., Julliard R. & Kerbiriou C. 2015. Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering* , 75, pp. 250-257.
- (223) Bach L. 2001. Fledermäuse und Windenergienutzung, reale Probleme oder Einbildung ? Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 33 : 19-124.
- (224) Roscioni F., Rebelo H., Russo D., Carranza M.L., Di Febbraro M. & Loy A. 2014. A modelling approach to infer the effects of wind farms on landscape connectivity for bats. *Landscape Ecol* (2014) 29:891–903
- (225) Voigt C., Lehnert L., Petersons G., Adorf F. & Bach L. 2015. Wildlife and renewable energy : German politics cross migratory bats. *European journal of wildlife research*. DOI :10.1007/s10344-015-0903-y.
- (226) Jameson J.W. & Willis C.K.R. 2014. Activity of tree bats at anthropogenic tall structures: Implications for mortality of bats at wind turbines. *Anim Behav* 97:145–152
- (227) Sterbing-D'Angelo S, Chadha M., Chiu C., Falk B., Xian W., Barcelo J., Zook J.M. & Moss C.F. .2011. Bat wing sensors support flight control. *Proc Natl Acad Sci USA* 108(27):11291–11296.
- (228) Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016. Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 17 pages.
- (229) Hein C.D., Gruver J. & Arnett E.B. 2013. Relating pre-construction bat activity and post-construction bat fatality to predict risk at wind energy facilities :a synthesis. *Bat conservation international*, Austin, Texas.
- (230) Nyári J, Bailleul E, Gow S & Arbinolo M – EKOenergy. 2015. The effects of wind turbines on bat mortality and available solutions - An executive review. 5 pages
- (231) Arnett E. B., Baerwald E. F., Mathews F., Rodrigues L., Rodriguez-Duran A., Rydell J., Villegas-Patracá R. & Voigt C. C.. 2016. Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *In* *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. C. Voigt and T. Kingston, eds.). Springer-Verlag, Berlin.
- (232) Arnett E.B. & Baerwald E.F. 2013(d). Impacts of wind energy development on bats : implications for conservation. In : Adams RA, Peterson SC (eds) *Bat evolution, ecology, and conservation*. Springer, New York, pp 435 – 456.
- (233) Rydell J., Bogdanowicz W., Boonman A., Pettersson S., Suchecka E. & Pomorski J. J. 2016. Bats may eat diurnal flies that rest on wind turbines. *Mammalian Biology* <http://dx.doi.org/10.1016/j.mambio.2016.01.005>
- (234) Russo D., Ancillotto L., Cistrone L. & Korine C. 2015. The buzz of drinking on the wing in echolocating bats. *Ethology* doi: 10.1111/eth.12460.

- (235) Willmott J.R., Forcey G.M. & Hooton L.A. 2015. Developing an automated risk management tool to minimize bird and bat mortality at wind facilities. *Ambio* 44, 557-571.
- (236) Gorresen P.M., Cryan P.M., Dalton D.C., Woli S., Johnson J.A., Todd C.M. & Bonaccorso F.J. 2015. Dim ultraviolet light as a means of deterring activity by the Hawaiian hoary bat *Lasiurus cinereus semotus*. *Endangered species research*, Vol.28 : 249 – 257.
- (237) Bonaccorso F.J., Todd C.M., Miles A.C. & Gorresen P.M. 2015. Foraging range movements of the endangered Hawaiian hoary bat, *Lasiurus cinereus semotus* (Chiroptera : Vespertilionidae). *J Mammal* 96 : 64 – 71.
- (238) Nicholls B. & Racey P.A. 2007. Bats Avoid Radar Installations: Could Electromagnetic Fields Deter Bats from Colliding with Wind Turbines? *PLoS ONE* 2(3): e297. doi:10.1371/journal.pone.0000297
- (239) Reeder W.G. & Cowles R.B. 1951. Aspects of thermoregulation in bats. *J Mammal* 32: 389–403.
- (240) Neuweiler G. 2000. *The biology of bats*. Oxford University Press, New York.
- (241) Henshaw R.E. & Folk G.E. Jr. 1966. Relation of thermoregulation to seasonally changing microclimate in two species of bat (*Myotis lucifugus* and *M. sodalis*). *Physiol Zool* 39: 223–236.
- (242) Speakman J.R., Hays G.C. & Webb P.I. 1994. Is hyperthermia a constraint on the diurnal activity of bats? *J Theoret Biol* 171: 325–341.
- (243) Davydov A.F. 2004. Energetics and thermoregulation in Chiroptera. *J Evol Biochem Phys* 40: 241–249.
- (244) Bartonicka T., Rehak Z. & Andreas M. 2008. Diet composition and foraging activity of *Pipistrellus pygmaeus* in a floodplain forest. *Biologica* 63, 266 – 272.
- (245) Dudek K., Dudek M. & Tryjanowski P. 2015. Wind turbines as overwintering sites attractive to an invasive lady beetle, *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *The Coleopterists Bulletin* 69, 665-669.
- (246) Nicholls B. & Racey P.A. 2009. The Aversive Effect of Electromagnetic Radiation on Foraging Bats—A Possible Means of Discouraging Bats from Approaching Wind Turbines. *PLoS ONE* 4(7): e6246. doi:10.1371/journal.pone.0006246
- (247) Huso M.M.P., D.H. Dalthorp, D.A. Dail & L.J. Madsen. 2014(a). Estimating wind-turbine caused bird and bat fatality when zero carcasses are observed. *Ecological Applications*. DOI: 0.1890/14-0764.1.
- (248) Huso M.M.P. & D. Dalthorp. 2014(b). Accounting for unsearched Areas in Estimating wind turbine-caused fatality. *The Journal of Wildlife Management*, 78(2): 347–358.
- (249) Hale A. & Bennett V. 2014. Investigating the benefits of fine-tuning curtailment strategies at operational wind facilities. In *Wind Wildlife Research Meeting X : presentation abstracts*. Broomfield, Colorado (USA). December 2-5, 2014.
- (250) Minderman J., Fuentes-Montemayor E., Pearce-Higgins JW, Pendlebury C.J. & Park K.J. 2015. Levels and correlates of bird and bat mortality at small wind turbines sites. *Biodiversity and Conservation* 24(3) : 467-482.
- (251) Hull C.L. & Cawthen L. 2013. Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia : bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *N Z L Zool* 40(1) :5-15. Rydell nocturnal insect
- (252) Niermann, I., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt F. & Behr O. 2011. Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen - ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche. - In: Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann, M. Reich (Hrsg.): *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. - Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- (253) EWEA. 2016. Wind in power – 2015 European Statistics. Disponible sur : <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>

- (254) Global Wind Energy Council. 2016. Global wind statistics 2015. 4p.
- (255) <http://www.plan-actions-chiropteres.fr> consulté le 24.03.2016
- (256) Bennett E. 2012. Observations from the use of dogs to undertake carcass searches at wind facilities in Australia. In : Wind and Wildlife, DOI 10.1007/978-94-017-9490-9\_7
- (257) BWECC. 2015. FINAL 2015 Workshop Proceedings. 4<sup>th</sup> Science and All Committees Meeting, 6-8 January 2015, National Wind Technology Center, Louisville, Colorado. 53 pages.
- (258) Bennett V.J. & Hale A.M. 2014. Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions. *Anim Conserv.* 17(4) : 354 – 358.
- (259) Thauront M., D’Agostino R. & Marchais G. 2015. Expertise chiroptères et suivi de mortalité - Parcs éoliens Lomont – Pays de Montbéliard. *Ecosphère*. 63 pages.
- (260) Hanagasioglu M., Aschwanden J., Bontadina F. & De la Puente Nilsson M. 2015. Investigation of the effectiveness of bat and bird detection of the DTBat and DTBird systems at Calandawind turbine - Final Report. 142 pages
- (261) MEDDE. 2015. Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres. Ministère de l’écologie, de l’énergie, du développement durable et de l’aménagement du territoire. 40 p.
- (262) Rodrigues L., Bach L., Dubourg-Savage M.-J., Karapandza B., Kovac D., Kervyn T., Dekker J., Kepel A., Bach P., Collins J., Harbusch C., Park K., Micevski B. & Minderman J. 2015. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects – Revision 2014. EUROBATS Publication Series No. 6 (English version). UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany. 133p.
- (263) Dürr T., 2015. Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Stand: 16 December 2015. 1p.
- (264) UICN France, MNHN, SFPEM & ONCFS. 2009. La liste rouge des espèces menacées en France. Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.
- (265) Nature Centre & CBNBP. 2013. Liste rouge des chauves-souris de la région Centre. 1p.
- (266) Roué S.Y. 2007. Proposition de liste rouge pour les chiroptères de Franche-Comté. Pub. CPEPESC. Franche-Comté, 1p
- (266) [http://www.normandea.com/pages/technology/bat\\_acoustic\\_monitoring.asp](http://www.normandea.com/pages/technology/bat_acoustic_monitoring.asp) consulté le 21/04/2016
- (267) [http://www.normandea.com/pages/technology/rebat\\_timr.asp](http://www.normandea.com/pages/technology/rebat_timr.asp) consulté le 21/04/2016
- (268) Normandea – environmental consultants. 2015. ReBAT™ Technical Specifications – Field System. 2p.
- (269) Coly R. 2015. Evaluation des possibilités d’exploitation des données Chiroptères collectées dans le cadre d’implantation d’éoliennes (études d’impact et suivis post-implantatoires). Rapport de stage master 2, MNHN. 62p.
- (270) SFPEM. 2016. Quel contrôle par l’état du suivi des impacts des parcs éoliens sur les chauves-souris en France ? Bilan de l’étude menée par le Groupe Chiroptères de la SFPEM. 28p.
- (271) Bastos R., Santos M. & Cabral J.A. 2013. A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34: 428–440.
- (272) Jain A.A., Kerlinger P., Curry R. & Slobodnik L. 2007. Annual report for the Maple Ridge wind power project post-construction bird and bat fatality study 2006. Annual report prepared for PPM Energy and Horizont Energy.
- (273) Bispo R., Palminha G., Bernardino J., Marques T. & Pestana D. 2010. A new statistical method and a web-based application for the evaluation of the scavenging removal correction factor. Proceedings of the VIII Wind Wildlife Research Meeting, Denver, EUA. 32p.
- (274) Bio3 & ISPA. 2015. Wildlife Fatality Estimator – Fatality Estimation tutorial. 4p.
- (275) Bio3 & ISPA. 2015. Wildlife Fatality Estimator – Search Efficiency tutorial. 3p.

- (276) Bio3 & ISPA. 2015. Wildlife Fatality Estimator – Carcass Persistence tutorial. 7p.
- (277) Encis Environnement. 2015. Etude chiroptérologique – Inventaires ultrasoniques continus pour un projet éolien en Dordogne. 37p.
- (278) Behr O., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Simon R. & Reich M. 2015. Reducing the collision risk for bats at onshore wind turbines (RENEBAT II) – Summary. In : Behr O., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Reich M. & Simon R. (Hrsg) : Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). Umwelt und Raum Bd. 7, 15 - 21, Institut für Umweltplanung, Hannover.
- (279) Durr T. & Bach L. 2004. Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 7 : 253 – 263.
- (280) Hötter H., Thomsen K.-M. & Köster H. 2005. Auswirkungen regenerativer Energie-gewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderung an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. BfN Skripten. Bonn – Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). 142.
- (281) Rodrigues L., Bach L., Biraschi L., Dubourg-savage M.-J., Goodwin J., Harbusch C., Hutson T., Ivanova T., Lutsar L. & Parsons K. 2006. Annex 1 to Resolution 5.6 : Wind turbines and Bats : Guidelines for the planning process and impact assessments (Version 1.0, September 2006).
- (282) Lewis T. 1969. The distribution of flying insects near a low hedgerow. J Appl Ecol 6 : 443 – 452.
- (283) Verboom B. & Huitema H. 1997. The importance of linear landscape element for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*. Landsc Ecol 12 : 117 – 125.
- (284) Niermann I., Von Felten S., Korner-Nievergelt F., Brinkmann R. & Behr O. 2011. Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. In : Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum BD. 4, 384-405, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- (285) Behr O., Brinkmann R., Niermann I. & Korner-Nievergelt F. 2011. Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. – In : Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Umwelt und Raum BD. 4, 287 – 322, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- (286) Dubourg-savage M.J., Bach L. & Rodrigues L. 2009. Bat mortality at wind farms in Europe. *Presentation at 1st International Symposium on Bat Migration*, Berlin, January 2009.
- (287) Prevors L. & Perret M - MEDDE. 2014. Guide sur l'application de la réglementation relative aux espèces protégées pour les parcs éoliens terrestres. 32p.
- (288) Bach L. & Bach P. 2013. Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Friesland, Endbericht 2013 – unpubl. Report to MAIBARA GmbH & Co. KG : 44p.
- (289) Oikon Ltd. 2014. Praćenje stradavanja oioykacija šišmiša tijekom korištenja VE Jelinak (Bat mortality monitoring during operation of Wind farm Jelinak).
- (290) [http://www.enr.fr/userfiles/files/Brochures%20Eolien/SER-BrochureEolien2014\\_web.pdf](http://www.enr.fr/userfiles/files/Brochures%20Eolien/SER-BrochureEolien2014_web.pdf) consulté le 06/06/2016.
- (291) FCEN. 2016. Projet de Plan National d'Actions en faveur des chiroptères 2016-2025. Fédération des conservatoires d'espaces naturels – Ministère de l'environnement, de l'Energie et de la Mer, 87 p.
- (292) FEE. 2015. L'éolien : un nouveau souffle. France Energie Eolienne, novembre 2015. Disponible sur internet : <http://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/11/FEE-SR-v4.pdf>
- (293) CE. 2011. La stratégie biodiversité de l'UE à l'horizon 2020. Commission Européenne. 6 p.

- (294) Roué S., Thauront M. & Jung L. 2013. Suivis de mortalité : protocoles, abaques, optimisation des fréquences de passage et collecte nationale des données. Séminaire Energie éolienne et protection de la biodiversité, 30 octobre 2013. 9p.
- (295) EUROBATS. 2016. Report of the IWG on "Wind Turbines and Bat Populations". 21<sup>st</sup> Meeting of the Advisory Committee. Zandvoort, Netherlands, 18 – 20 April 2016. 32p.
- (296) Wiser R., Yang Z., Hand M., Hohmeyer O., Infield D., Jensen P.H., Nikolaev V., O'Malley M., Sinden G., Zervos A. 2011. Wind Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S. & von Stechow C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- (297) Harter N. 2015. Eoliennes et mortalité des chiroptères : synthèse des résultats du suivi d'une quinzaine de parcs éoliens en Champagne-Ardenne. Rencontre chiroptères Grand-Est, Saint-Brisson, 16-18 octobre 2015. 15p.
- (298) Kerbiriou C., Julien J.-F., Bas Y., Marmet J., Le Viol I., Lorrilliere R., Azam C., Gasc A. & Lois G. 2015. Vigie-Chiro : 9 ans de suivi des tendances des espèces communes. Symbioses, nouvelle série n°34 & 35. 4p.
- (299) Roeleke M., Blohm T., Kramer-Schadt S., Yovel Y. & Voigt C.-C. 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Sci. rep.* 6, 28961;doi:10.1038/srep28961.
- (300) Johnson G.D., Perlik M.K., Erickson W.P. & Strickland M.D. 2004. Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildl Soc Bull* 32:1278-1288.
- (301) Feltl J., Kaminsky S. & Tospann M. 2016. Gutachen über die Funktionsweise und den Nutzen von « Fleximaus » - Intelligenter Fledermausschutz für Windräder. Kaminsky/EE-TechService GmbH, 16 p.
- (302) Francou M. 2015. Comment interpréter les données acoustiques de chauves-souris dans les études d'impact éoliennes – Ecosphère, mémoire Master 2 AgroParisTech/ENS/MNHN/UPMC/Paris sud. 50 p.
- (303) Dietz C., von Helvesen O. & Nill D. Alcuri G. – 2009 – L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du nord. Delachaux et Niestlé, Paris, 400 p.
- (304) Bodin, J. & Dubourg-Savage M.J. – 2009 – Elaboration de la cartographie de sensibilité des éoliennes en Midi-Pyrénées – Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées, 32 p.
- (305) Baumbauer L. 2016. Probat – Bedienungsanleitung für Version 5.3. 48p.
- (306) Baumbauer L., Nagy M., Simon R. & Behr O. 2016. Probat – Voraussetzungen für die Verwendung von Probat. 34p.
- (307) SWILD, 2015. Performance of the real-time bat detection system DTBat at the wind turbine of Calandawind, Switzerland. Final report V2.1 – 15 May 2015, 29 p.
- (308) Rico, P. & Lagrange, H. 2016. Etude de l'activité et de la mortalité des chiroptères sur plusieurs parcs éoliens par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherche de cadavres au sol – Contribution aux évaluations des incidences sur l'environnement. Présentation orale et Powerpoint, 16<sup>èmes</sup> Rencontres nationales "chauves-souris" de la SFPEM, Muséum de Bourges, 25 mars 2016, [http://www.sensoflife.com/wp-content/uploads/2015/05/Bourges\\_2016\\_SOL.pdf](http://www.sensoflife.com/wp-content/uploads/2015/05/Bourges_2016_SOL.pdf)
- (309) Roemer C., Devos S. & Bas Y. 2014. Assessment of bat mortality risk around human activities using unattended recordings for flight path reconstruction. Présentation Powerpoint, 13th European Bat Research Symposium 2014, Sibenik, Croatia



## 7 - BIBLIOGRAPHIE ALPHABETIQUE

- ABIES, 2010. Suivis de l'impact éolien sur l'avifaune et les chiroptères exemples de parcs auvernois. Séminaire National LPO Eolien & Biodiversité. Reims. 31p.
- ADEME et Conseil général de Bourgogne, 2005. Atlas éolien de la région bourgogne. France. 87p.
- Adomeit U., Niermann I., Behr O. & Brinkmann R. 2011. Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. – In : Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Umwelt und Raum Bd. 4, 145 - 176, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Agence régionale de l'environnement de Haute-Normandie, 2006. Dossier Les éoliennes. Consulté le 27/08/2013 [en ligne] Disponible sur: <http://www.arehn.asso.fr/dossiers/eolienne/eolienne.html>
- Ahlen I., Bach L., Baagoe H., Pettersson J., 2007. Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. Report 5571, July 2007. Swedish Environmental Protection Agency. Bromma, Sweden. 37 p.
- Albrecht K. und Grünfelder C., 2011. Fledermäuse für die Standortplanung von Windenergieanlagen erfassen. Standortplanung von Windenergieanlagen, NuL 43 (1), 2011, 5-014 Pp.
- Amorim F., Rebelo H. & Rodrigues L. – 2012 – Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean Region – Acta Chiropterologica, 14(2): 439-457
- Arnett E. 2006. A Preliminary Evaluation on the Use of Dogs to Recover Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. Bat Conservation International, Austin, USA. 6p.
- Arnett E., Schirmacher M., Huso M. & Hayes J., 2010. Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities. Final report prepared for the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission, 57 pp.
- Arnett E., Huso M., Schirmacher M. and Hayes J., 2011 (a). Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities -Front Ecol Environ 2011 – 9 (4): 209-214.
- Arnett E., Baker M., Hein C., Schirmacher M., Huso M. et Szewczak J., 2011 (b). Effectiveness of deterrents to reduce bat fatalities at wind energy facilities. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 57
- Arnett E., Hein C., Schirmacher M., Huso M. et Szewczak J., 2011 (c). Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines: Final Report. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 46p.
- Arnett E., Hein C., Schirmacher M., Huso M. & Szewczak J. 2013(a). Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. PLoS ONE 8(6): e65794. doi:10.1371/journal.pone.0065794.
- Arnett E., Johnson G.D., Erickson W.P. & Hein C.D. 2013(b). A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 38 p.
- Arnett E., Barclay R. & Hein C. 2013(c). Thresholds for bats killed by wind turbines - Front Ecol Environ 2013 – 11 (4): 171-171
- Arnett E.B., Baerwald E.F. 2013(d). Impacts of wind energy development on bats : implications for conservation. In : Adams RA, Peterson SC (eds) Bat evolution, ecology, and conservation. Springer, New York, pp 435 – 456.
- Arnett E. B., Baerwald E. F., Mathews F., Rodrigues L., Rodriguez-Duran A., Rydell J., Villegas-Patracá R., and Voigt C. C. 2016. Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *In* Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world (C. C. Voigt and T. Kingston, eds.). Springer-Verlag, Berlin.

- Arthur L. et Lemaire M., 2009. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze. 544p.
- AVES environnement et le Groupe Chiroptères de Provence, 2010. Parc éolien du Mas de Leuze Saint Martin-de-Crau (13). Etude de la mortalité des Chiroptères (17 mars– 27 novembre 2009). Arles. 38p.
- Bach L. 2001. Fledermause und Windenergienutzung, reale Probleme oder Einbildung ? Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 33 : 19-124.
- Bach L., Bach P. et Tillmann M., 2011(a). What does bat activity inside the forest tell us about the activity above the canopy? A method for sensing bat activity at proposed wind plans in forest. 1p.
- Bach P., Niermann I. et Bach L., 2011(b). Impact of wind speed on the activity of bats- at the coast and inland. 1p.
- Bach L., Bach P. et Niermann I., 2011(c). Impact of wind speed on the activity of bats. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 59
- Bach L., Bach P. et Tillmann M., 2011(d). What does bat activity inside the forest tell us about the activity above the canopy? A method for censuring bat activity at proposed wind farms in forests. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 58
- Bach P., Bach L., Ekschmitt K., Frey K. et Gerhardt U., 2013(a). Bat Activities and Bat Fatalities at Different Wind Farms in Northwest Germany. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.12
- Bach L. & Bach P. 2013(b). Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Friesland, Endbericht 2013 – unpubl. Report to MAIBARA GmbH & Co. KG : 44p.
- Bach P., Bach L. & Ekschmitt K. 2015. Activities and fatalities of *Nathusius' pipistrelles* at different wind farms in Northwest Germany - Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin
- Baerwald E. et Arnett E., 2013. Assessing the Impact of Wind Energy Development on Bats. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.12
- Baerwald E., D'Amours G., Klug B. et Barclay R., 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. In *Curent Biology*. Vol. 18 N°16. Calgary, Canada: University of Calgary. p. R695-R696.
- Barataud M., 2012. Ecologie acoustique des Chiroptères d'Europe. Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope éditions, Mèze- Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 344p.
- Barclay R., 2013. It is Time to Stop Counting Bat Fatalities per Wind Turbine. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.16
- Barclay R., Baerwald E.F., Gruver J.C., 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy fatalities: assessing the effect of rotor size and tower height. NRC Canada. P381-387.
- Bartonicka T., Rehak Z. and Andreas M. 2008. Diet composition and foraging activity of *Pipistrellus pygmaeus* in a floodplain forest. *Biologica* 63, 266 – 272.
- Bastos R., Santos M. & Cabral J.A. 2013. A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34: 428–440.
- Baumbauer L. 2016. Probat – Bedienungsanleitung für Version 5.3. 48p.
- Baumbauer L., Nagy M., Simon R. & Behr O. 2016. Probat – Voraussetzungen für die Verwendung von Probat. 34p.

- Behr O., et Helversen O., 2005. Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Institut für Zoologie, Erlangen. 42p.
- Behr O., Eder D., Marckmann U., Mette-Christ H., Reisinger N., Runkel V. et von Helversen O., 2007. Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Schlagopfern – Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald. *Nyctalus (N.F.)* 12 (2/3): 115-127
- Behr O., Brinkmann R., Niermann I. & Korner-Nievergelt F. 2011. Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. – In : Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Umwelt und Raum Bd. 4, 287 – 322, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Behr O., Brinkmann R., Niermann I. et Korner-Nievergelt F., 2011. Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp.354-382
- Bennett E. 2012. Observations from the use of dogs to undertake carcass searches at wind facilities in Australia. In : Wind and Wildlife, DOI 10.1007/978-94-017-9490-9\_7
- Behr O., Brinkman R., Korner-Nievergelt F. et Niermann I., 2011 (a). Using acoustic monitoring to measure and mitigate the risk of bat-collisions at wind turbines in central Europe. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 12
- Behr O. & Rudolph B-U. 2013. Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen - Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 30 p.
- Behr O., Hochradel K., Mages J., Nagy M., Korner-Nievergelt F., Niermann I., Simon R., Stiller F., Weber N., Brinkmann R., 2013(a). Bat-friendly operation algorithms: reducing bat fatalities at wind turbines in central Europe. Journée "Comment concilier développement éolien et biodiversité ? Regards croisés franco-allemands" Office franco-allemand pour les énergies renouvelables (OFAEnR), Berlin 26 Septembre 2013.
- Behr O., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Simon R. & Reich M. 2015. Reducing the collision risk for bats at onshore wind turbines (RENEBAT II) – Summary. In : Behr O., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Reich M. & Simon R. (Hrsg.) : Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). Umwelt und Raum Bd. 7, 15 - 21, Institut für Umweltplanung, Hannover.
- Bennett V.J. and Hale A. 2013. Site-specific wind turbine curtailment has its advantages. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.19
- Bennett V.J., and Hale A.M., 2014. Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions. *Anim Conserv.* 17(4) : 354 – 358.
- Bernardino J., Bispo R., Costa H. et Mascarenhas M. 2013. Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology* 41(1) : 63-74.
- Bernardino J., Bispo R., Torres P., Rebelo R., Mascarenhas M. et Costa H., 2011. Enhancing Carcass Removal Trials at Three Wind Energy Facilities in Portugal. Portuguese Wildlife Society. In: *Wildlife Biologie Practice*, 2011 Décembre 7(2): 1-14.
- Beucher Y., Kelm V., Albespy F., Geyelin M., Nazon L. et Pick D., 2011. Parc éolien de Castelnaud-Pegayrols (12). Suivi d'impacts post-implantation sur les chauves-souris. Bilan de campagne des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> années d'exploitation (2009-2010). Exen et KJM Conseil. 92 p.

Beucher Y., Kelm V., Albespy F., Geyelin M., Nazon L. et Pick D., 2013. Parc éolien de Castelnaud-Pegayrols (12). Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan de campagne des 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> années d'exploitation (2009-2011). Exen et KJM Conseil. 116 p.

Bio3 & ISPA. 2015. Wildlife Fatality Estimator – Fatality Estimation tutorial. 4p.

Bio3 & ISPA. 2015. Wildlife Fatality Estimator – Search Efficiency tutorial. 3p.

Bio3 & ISPA. 2015. Wildlife Fatality Estimator – Carcass Persistence tutorial. 7p.

Biocenose & LPO Aveyron-Grands Causses, 2002. Synthèse et analyse bibliographique visant à évaluer l'impact des éoliennes sur les populations de vertébrés sauvages. France. 65p.

Bispo R., Bernardino J. Marques T.A. & Pestana D. 2012. Modeling carcass removal time for avian mortality assessment in wind farms using survival analysis. Environmental and Ecological Statistics. DOI 10.1007/s1061-012-0212-5

Bispo R., Huso M., Palminha G., Som N., Ladd L., Bernardino J., Marques T. & Pestana D., 2011. A web based application to estimate wildlife fatality: from the bias correction factors to the corrected fatality estimates. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 13

Brinkmann R., 2006. Études sur les impacts potentiels liés au fonctionnement des éoliennes sur les chauves-souris du district de Fribourg. Koordinierungsstelle Windenergie e.V., Gundelfingen. 63p.

Bispo R., Palminha G., Bernardino J., Marques T. & Pestana D. 2010. A new statistical method and a web-based application for the evaluation of the scavenging removal correction factor. Proceedings of the VIII Wind Wildlife Research Meeting, Denver, EUA. 32p.

Bodin, J. & Dubourg-Savage M.J. – 2009 – Elaboration de la cartographie de sensibilité des éoliennes en Midi-Pyrénées – Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées, 32 p.

Brinkmann R., Behr O., Korner-Nievergelt F., Mages J., Niermann I. & Reich M., 2011. Zusammenfassung der praxisrelevanten Ergebnisse und offene Fragen. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp.425-453

Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.). 2011. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum bd., Cuvillier Verlag, Göttingen, 457 pp.

Budgey R., Bone S. & Simms I. 2009. The assessment of mortality at an onshore windfarm corrected for scavenging rate and detection rate. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 71

BWEC. 2015. FINAL 2015 Workshop Proceedings. 4<sup>th</sup> Science and All Committees Meeting, 6-8 January 2015, National Wind Technology Center, Louisville, Colorado. 53 pages.

Camina A. 2012. Bat fatalities at wind farms in northern Spain — lessons to be learned. In: Acta Chiropterologica, Volume 14, Number 1, June 2012 , pp. 205-212(8) Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences.

CE. 2011. La stratégie biodiversité de l'UE à l'horizon 2020. Commission Européenne. 6 p.

Collier M.P., Dirksen S. et Krijgsveld K.L., 2012. A review of methods to monitor collisions or micro-avoidance of birds with offshore wind turbines Part 2: Feasibility study of systems to monitor collisions. Bureau Waardenburg by Consultants for environment & ecology. 30p.

Collins J. and Jones G., 2009. Differences in Bat Activity in Relation to Bat Detector Height: Implications for Bat Surveys at Proposed Windfarm Sites. Acta Chiropterologica 11(2):343-350 Pp. Disponible sur: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.3161/150811009X485576>

Conduche N., Daumal T., Louvet C., Tourte S. et Spinelli-Dhuicq F., 2012. Suivis des impacts sur les chiroptères d'un parc éolien dans l'Aisne (02). Ecosphère/Ecothème, Saint-Maur-des-Fossés, France. 42p.

- Cornut J. et Vincent S., 2010. Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme/CN'Air 43p.
- Cryan P. et Barclay R., 2009. Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, Vol. 90, n°6.p:1330–1340.
- Cryan, P. M., Gorresen P. M., Hein C.D., Schirmacher M.R., Diehl R.H., Huso M.M., Hayman D.T.S., Fricker P.D., Bonarcorso F.J., Johnson D.H., Heist K. & Dalton D.C. – 2014 – Behavior of bats at wind turbines – PNAS, 111, 42 6 p. + supporting information 10.1073/pnas.1406672111
- Davydov A.F. 2004. Energetics and thermoregulation in Chiroptera. *J Evol Biochem Phys* 40: 241–249.
- Delprat B et Alcuri G., 2011. ID Stat: Innovative technology for assessing wildlife collisions with wind turbines. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 22
- Dietz C., von Helversen O. & Nill D. Alcuri G. – 2009 – L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du nord. Delachaux et Niestlé, Paris, 400 p.
- Dubourg-savage M.J., Bach L. & Rodrigues L. 2009. Bat mortality at wind farms in Europe. *Presentation at 1st International Symposium on Bat Migration*, Berlin, January 2009.
- Dubourg-Savage M.J., Rodrigues L., Santos H., Bach L et Rydell J., 2011. Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe: comparing north and south. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 124
- Dubourg-Savage M.-J. 2011(a). Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe comparing north and south. EUROBATS. 1p.
- Dulac P., 2008. Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin sur l'avifaune et les chauves-souris, bilan de 5 années de suivi. Ademe/Région Pays de Loire, La Roche sur Yon. 106p.
- Durr T. & Bach L. 2004. Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 7 : 253 – 263.
- Dürr T., 2015. Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Stand: 16 December 2015. 1p.
- Ecosphère, 2012. Projet d'implantation d'un parc éolien en Dordogne (24) Etude chiroptérologique en altitude sur mât de mesure d'août à octobre 2012. Ecosphère, Saint-Maur-des-Fossés, France. 38p., dossier en cours
- Ecothème, 2005. Projet d'implantation d'éoliennes, commune de Saint-Jacques d'Alémont (76). France. 11p.
- Edkins M, 2008. Impacts of wind energy development on birds and bats:looking into the problem. Prepared for: FPL Energy, Juno Beach, Florida. 44p.
- Encis Environnement. 2015. Etude chiroptérologique – Inventaires ultrasoniques continus pour un projet éolien en Dordogne. 37p.
- Enercon. Windenergieanlagen-Enercon. Windenergieanlagen [en ligne]. 2013. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : <http://www.enercon.de/de-de/windenergieanlagen.htm>
- Energie Eolienne France. En France/Statistiques/Tout savoir sur l'énergie éolienne/Accueil-France Energie Eolienne. France Energie Eolienne [en ligne]. Consulté le 10 juillet 2013. Disponible sur: [http://fee.asso.fr/tout\\_savoir\\_sur\\_l\\_energie\\_eolienne/statistiques/en\\_france](http://fee.asso.fr/tout_savoir_sur_l_energie_eolienne/statistiques/en_france)
- Energie Renouvelable, 2007. L'énergie éolienne. Paris. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: <http://www.energiesrenouvelable.org/eolien/energie-eolienne.htm>
- Eneria, 2010. IDSTAT Détection des collisions sur pale d'éolienne. Eneria et Calidris. 2p.
- Erickson W. et Arnett E., 2009. Wind-wildlife interaction:what we know. WEST Inc., Cheyenne, Wyoming. 37p.

- Erickson W., Jonhson G., Young D., Strickland D., Good R., Bourassa M., Bay K. et Semka K., 2002. Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments. West Inc., Cheyenne. 129p.
- EUROBATS. 2016. Report of the IWG on “Wind Turbines and Bat Populations”. 21<sup>st</sup> Meeting of the Advisory Committee. Zandvoort, Netherlands, 18 – 20 April 2016. 32p.
- EUROBATS 2014. 9<sup>th</sup> Meeting of the Stading Committee, 19th Meeting of the Advisory Committee Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations. Heraklion, Greece, 7 – 10 April 2014. 26p.
- EUROBATS, 2013. Progress Report of the IWG on “Wind Turbines and Bat Populations”. 18th Meeting of the Advisory Committee. Sofia, Bulgaria, 15 – 17 April 2013. 30p.
- EUROBATS 2012. 17th Meeting of the Advisory Committee Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations. Dublin, Ireland, 15 – 17 May 2012. 19p.
- EUROBATS, 2007. Notes from the Workshop Wind Turbines & Bat Populations Workshop, 5th February 2007. Defra, EUROBATS, Bat Conservation Trust. 26 p.
- Europa, 2013. EUROPA-Domaine d'Action de l'Union Européenne-Energie. [en ligne] Consulté le 27/08/13. Disponible sur: [http://europa.eu/pol/ener/index\\_fr.htm](http://europa.eu/pol/ener/index_fr.htm)
- European Commission, 2010. Wind energy developments and Natura2000. 116p.
- EWEA. 2016. Wind in power – 2015 European Statistics. [en ligne] Consulté le 21/03/2016. Disponible sur : <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2015.pdf>
- Exen et KJM, 2010. Eoliennes et chauves-souris, Experiences croisées des bureaux d'études. Séminaire national éolien Biodiversité. Reims. 31p.
- FCEN. 2016. Projet de Plan National d'Actions en faveur des chiroptères 2016-2025. Fédération des conservatoires d'espaces naturels – Ministère de l'environnement, de l'Energie et de la Mer, 87 p.
- FEE. 2015. L'éolien : un nouveau souffle. France Energie Eolienne, novembre 2015. Disponible sur internet : <http://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/11/FEE-SR-v4.pdf>
- Feltl J., Werner M., Kaminsky S.K. 2015. Activity of bats in different altitudes at wind measurement masts and wind turbines - Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts 10-12, 2015 Berlin.
- Feltl J., Kaminsky S. & Tospann M. 2016. Gutachen über die Funktionsweise und den Nutzen von « Fleximaus » - Intelligenter Fledermausschutz für Windräder. Kaminsky/EE-TechService GmbH, 16 p.
- France Energie Eolienne, 2015. Observatoire de l'éolien, analyse du marché et des emplois éolines en France. Colloque France Energie Eolienne, novembre 2015, BearingPoint France SAS. Disponible sur : [http://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/11/Observatoireeolien2015\\_VF\\_FEE.pdf](http://fee.asso.fr/wp-content/uploads/2015/11/Observatoireeolien2015_VF_FEE.pdf)
- Francou M. 2015. Comment interpréter les données acoustiques de chauves-souris dans les études d'impact éoliennes – Ecosphère, mémoire Master 2 AgroParisTech/ENS/MNHN/UPMC/Paris sud. 50 p
- Frick W., Stepanian P., Kelly J., Howard K., Kuster C., Kunz T. et Chilson P., 2012. Climate and Weather Impact Timing of Emergence of Bats. PLOS One. 2012 7 (8) Published online 2012 august 2. Brock Fenton, Editor. Disponible sur: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0042737>
- Georgiakakis P., Kret E., Carcamo B., Doutau B., Kafkaletou-Diez A., Vasilakis D. et Papadatou E., 2012. Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece- Acta Chiropterologica, Volume 14, Number 2, December 2012 , pp. 459-468(10)Museum and Institute of Zoology, Polish Academy of Sciences.
- Gillam E., McCracken G., Westbrook J., Lee Y., Jensen M. et Balsley B., 2009. Bats aloft: variability in echolocation call structure at high altitudes. Behav. Ecol. Sociobiol (2009) 64:69-79. Disponible sur : <http://link.springer.com/article/10.1007/s00265-009-0819-1>

- Global Wind Energy Council. 2016. Global wind statistics 2015. 4p.
- Godineau F. et Pain D., 2007. Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 – 2012. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères / Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 79 p.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016. Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 17 pages.
- Guegnard A. & Condette C. 2013. Retour sur 10 années de suivi de mortalité en Vendée. Diaporama présenté au deuxième séminaire national sur l'énergie éolienne et la protection de la biodiversité. Nantes le 30 octobre 2013.
- Hale A., McAlexander A., Bennett V. et Cooper B., 2013. A test of a novel Attraction hypothesis-Why are bats attracted to wind turbines? In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.64
- Hale A. et Bennett V. 2014. Investigating the benefits of fine-tuning curtailment strategies at operational wind facilities. In Wind Wildlife Research Meeting X : presentation abstracts. Broomfield, Colorado (USA). December 2-5, 2014
- Haquart A., Bas Y., Tranchard J. et Lagrange H., 2012. Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mâts de mesure : évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien. Biotope, Bourges. 54p.
- Harter N. 2015. Eoliennes et mortalité des chiroptères : synthèse des résultats du suivi d'une quinzaine de parcs éoliens en Champagne-Ardenne. Rencontre chiroptères Grand-Est, Saint-Brissson, 16-18 octobre 2015. 15p.
- Hanagasioglu M., Aschwanden J., Bontadina F. and De la Puente Nilsson M. 2015. Investigation of the effectiveness of bat and bird detection of the DTBat and DTBird systems at Calandawind turbine - Final Report. 142 pages.
- Hedenström A. et Rydell J., 2012. Effect of wind turbine mortality on noctule bats in Sweden: predictions from a simple population model. Biology Department Lund University, Sweden. 11p.
- Hein C.D., Gruver J. et Arnett E.B. 2013. Relating pre-construction bat activity and post-construction bat fatality to predict risk at wind energy facilities :a synthesis. Bat conservation international, Austin, Texas.
- Hein C., Cryan P., Gorresen M., Huso M., Schirmacher M., Diehl R., Heist K., Bonaccorso F., Johnson D., Henshaw R.E., Folk G.E. Jnr. 1966. Relation of thermoregulation to seasonally changing microclimate in two species of bat (*Myotis lucifugus* and *M. sodalis*). *Physiol Zool* 39: 223–236.
- Hayman D., Fricker P., Dalton D. 2015. Monitoring bat activity & behavior at wind turbines using thermal imagery & ultrasonic acoustic detectors – Communication Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. 2014. Konkretisierung der hessischen Schutzanforderungen für die Mopsfledermaus *Barbastella barbastellus* bei Windenergie-Planungen unter besonderer Berücksichtigung der hessischen Vorkommen der Art. pdf-document 65 pages
- Hochradel K., Uwe A., Heinze N., Nagy M., Stiller F. & Behr O. 2015. Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen. In : Behr O., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Reich M. & Simon R. (Hrsg.) : Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). – Umwelt und Raum BD. 7, 81 - 100, Institut für Umweltplanung, Hannover.
- Horizont Energy. Jameson J.W., Willis C.K.R. 2014. Activity of tree bats at anthropogenic tall structures: Implications for mortality of bats at wind turbines. *Anim Behav* 97:145–152

- Horn J., Arnett E. and Kunz T. 2008(a). Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. *The Journal of Wildlife Management*. 72(1) p. 123-132
- Horn J., Arnett E., Jensen M. et Kunz T., 2008(b). Testing the effectiveness of an experimental acoustic bat deterrent at the Maple Ridge wind farm. Report Prepared for: The Bats and Wind Energy Cooperative and Bat Conservation International, Austin, TX. 30p.
- Hötker H., Thomsen K.-M. & Köster H. 2005. Auswirkungen regenerativer Energie-gewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderung an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. BfN Skripten. Bonn – Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). 142.
- Howe R., Evans W., Wolf A., 2002. Effects of Wind Turbines on Birds and Bats in Northeastern Wisconsin. University of Wisconsin-Green Bay. 112p.
- Hull C.L. & Cawthen L. 2012. Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia: bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *New Zeal J Zool*. 12p.
- Hurst, J., Dietz M., Höhne E., Biedermann M., Karst I., Schorcht W., Dietz C., Brinkmann R. 2015. Bats activity above the forest canopy - Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts 10-12, 2015 Berlin
- Huso M. 2010. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics* 22 : 318-329.
- Huso M., Wilson Z. et Arnett E., 2011. Expanding fatality estimates from the search plot to the entire site. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 29
- Huso M.M.P., D.H. Dalthorp, D.A. Dail & L.J. Madsen. 2014(a). Estimating wind-turbine caused bird and bat fatality when zero carcasses are observed. *Ecological Applications*. DOI: 0.1890/14-0764.1.
- Huso M.M.P. & D. Dalthorp. 2014(b). Accounting for unsearched Areas in Estimating wind turbine-caused fatality. *The Journal of Wildlife Management*, 78(2): 347–358.
- Jain A.A., Kerlinger P., Curry R. & Slobodnik L. 2007. Annual report for the Maple Ridge wind power project post-construction bird and bat fatality study 2006. Annual report prepared for PPM Energy and
- Johnson G., 2003. Overview of Available Bat Mortality Studies at Wind Energy Projects. WEST Inc., 2003 Central Ave. Cheyenne, WY. 46p.
- Johnson G., Erickson W., White J. et McKinney R., 2003. Avian and Bat Mortality During the First Year of Operation at the Klondike Phase I Wind Project, Sherman County, Oregon. WEST, Inc. 17p.
- Johnson G., Erickson W., Dale Strickland M., Shepherd M., Shepherd D. et Sarappo S., 2003. Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. *Am. Midl. Nat.* 150:332–342.
- Johnson G.D., Perlik M.K., Erickson W.P. & Strickland M.D. 2004. Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildl Soc Bull* 32:1278-1288.
- Joiris E. 2012. High altitude bat monitoring. Preliminary results Hainaut & Ardennes. CSD Ingenieurs. 69p.
- Jones G., Cooper-Bohannon R., Barlow K. et Parsons K., 2009. Scoping and method development report. Determining the potential ecological impact of wind turbine bat populations in Britain. University of Bristol et Bat Conservation Trust. 158p.
- Kelm D.H, Lenski J., Kelm V., Toelch U. & Dziock F. 2014. Seasonal bat activity in relation to distance to hedgerows in an agricultural landscape in central Europe and implications for wind energy development - *Acta Chiropterologica*, 16(1): 65–73

- Kerbiriou C., Julien J.-F., Bas Y., Marmet J., Le Viol I., Lorrilliere R., Azam C., Gasc A. & Lois G. 2015. Vigie-Chiro : 9 ans de suivi des tendances des espèces communes. Symbioses, nouvelle série n°34 & 35. 4p.
- Kerns J., 2005. Preliminary Fatality Results-Mountaineer Wind Energy Center. University of Maryland Center for Environmental Science Appalachian Laboratory, Frostburg, MD. 34p.
- Kippeurt L., 2012. Volet avifaune et chiroptères de l'étude d'impact pour l'implantation d'un parc éolien sur le territoire de la communauté de communes du secteur de Dompierre (88). Biotope pour NEOEN. France. 107p.
- Koford R., 2003. Avian mortality associated with the top of Iowa wind farm. Iowa State University, 2004. 9p.
- Korner-Nievergelt F., Brinkmann R, Niermann O. & Behr O. 2013. Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. PLoS ONE 8(7) : e67997.
- Korner-Nievergelt F., Korner-Nievergelt P., Behr O., Niermann O., Brinkmann R. & Hellriegel B., 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildl. Biol. 17: 350-363 (2011). 14p.
- Korner-Nievergelt F. *et al.*, 2011. Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisions-risikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergie-anlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp.324-350
- Kunz T., Arnett E., Erickson W., Hoar A., Jonhson G., Larkin R., Dale Strickland M., Thresher R. et Tuttle M., 2007. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. Front Ecol Environ 2007; 5(6).p.315–324.
- Lagrange H., Rico P., Bas Y., Ughetto A.L., Melki F. et Kerbiriou C., 2013. Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of Chirotech®. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.83
- Lagrange H. et Rico P., 2010. Chirotech Bilan du programme 2006-2009. Biotope et NORDEX. 18p.
- Lehnert L.S., Kramer-Schadt S., Schönborn S., Lindecke O. & Niermann I. 2014. Wind Farm Facilities in Germany Kill Noctule Bats from Near and Far. PLoS ONE 9(8) : e103106 doi:10.1371/journal.pone.0103106.
- Leuzinger Y., Lugon A., Bontadina F., 2008. Eoliennes en Suisse Mortalité de chauves-souris. Rapport avril 2008. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. 34p.
- Lewis T. 1969. The distribution of flying insects near a low hedgerow. J Appl Ecol 6 : 443 – 452.
- Loiret Nature Environnement, 2009. Suivi ornithologique et chiroptérologique des parcs éoliens de Beauce. France. 6 p.
- Long C.V., Flint J.A., Lepper P.A., 2011. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? Eur J Wildl Res, published online DOI 10.1007/s10344-010-0432-7, Springer-Verlag. 9p.
- Lynn J. et Auberle W., 2009. Guidelines for Assessing the Potential Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development in Northern Arizona and the Southern Colorado Plateau. Northern Arizona University, Flagstaff. 48p.
- Marchais G., 2011. Projet d'implantation d'un parc éolien sur les communes de Saint-Civran, Chazelet et Sacierges-Saint-Martin. Rapport sur le suivi de l'activité chiroptérologique en hauteur (avril – octobre 2011). Ecosphère, Saint-Maur-des-Fossés, France. 49p.
- Marchais G. 2010. Experience d'utilisation du système de télétransmission des données 'anabat' sur mâts de mesure d'un site d'étude de projet éolien. Séminaire Eolien et Biodiversité. Ecosphère. Reims. 13p.

Martin C., Arnett E., Wallace M. et Hein C., 2013. Effectiveness of operational mitigation in reducing bat fatalities at the Sheffield Wind Facility, Vermont. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.93

Martin C., Arnett Ed. And Wallace M. 2015. Operational Mitigation Reduces Bat fatalities at Sheffield Wind facility, Vermont – Poster Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin

Mathews F., 2011. National Bats and Wind Turbines Project. University of Exeter. 25p.

MEDDE. 2008. Rapport au Parlement - Programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité - Période 2009–2020 – Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, 132 p.

MEDDE. 2015. Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. 40 p.

Michamps 4B. Vitesse maximale d'une éolienne au bout de la pale - pédagogie. [en ligne]. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : <http://www.michamps4b.be/pedagogie-eolienne-calcul-vitesse.php>

Miller A. ,2008. Patterns of avian and bat mortality at a utility scaled wind farm on the southern high plains. Texas Tech University.125p.

Million, L, Julien, J.-F., Julliard, R., & Kerbiriou, C. 2015. Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering* , 75, pp. 250-257.

Ministère de l'Ecologie et Du Développement Durable, 2004. Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. France. p.94 -96

Minderman J., Fuentes-Montemayor E., Pearce-Higgins JW, Pendlebury C.J., Park K.J. 2015. Levels and correlates of bird and bat mortality at small wind turbines sites. *Biodiversity and Conservation* 24(3) : 467-482.

Ministre de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2013. Communiqué de presse. Eolien terrestre : un nouveau modèle de contrat d'achat pour sécuriser les projets et faciliter leur financement. Paris, vendredi 29 mars 2013. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: [http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2013-03-29\\_Eolien\\_terrestre.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2013-03-29_Eolien_terrestre.pdf)

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'énergie, 2009. L'énergie éolienne à terre. Paris. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Tarifs-d-achat,12280.html>

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2010. Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens Actualisation 2010. Paris. P.70-76.

Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011. Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement. Journal officiel de la république française. Texte 14 sur 136. 6p.

Mitchell-Jones T. et Carlin C., 2009. Bats and onshore wind turbines. Natural England Technical Information Note TIN051, 11 February 2009. 9p.

Morrison M., 2006. Bird Movements and Behaviors in the Gulf Coast Region: Relation to Potential Wind energy Developments. Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas. 38p.

Natagora et Plecotus, 2008. Éoliennes et Chauves-souris. Colloque Chauves-souris VUB du 18 avril 2008. 20p.

National Wind Coordinating Collaborative, 2010. Wind Turbine Interactions with Birds, Bats, and their Habitats: A Summary of Research Results and Priority Questions. NWCC. 8p.

Nature Centre et CBNBP. 2013. Liste rouge des chauves-souris de la région Centre. 1p.

- Neuweiler G. 2000. The biology of bats. Oxford University Press, New York.
- Nicholls B., Racey P.A. 2007. Bats Avoid Radar Installations: Could Electromagnetic Fields Deter Bats from Colliding with Wind Turbines? PLoS ONE 2(3): e297. doi:10.1371/journal.pone.0000297
- Nicholson C., Tankersley R., Fiedler J. et Nicholas N.S., 2005. Assessment And Prediction Of Bird And Bat Mortality At Wind Energy Facilities In The Southeastern United States. Tennessee Valley Authority, Knoxville, TN. 65p.
- Niermann I., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F. et Behr O., 2011. Systematische Schlagopfersuche-Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen 2011. Pp. 40
- Niermann, I., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt F. & Behr O. 2011. Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen - ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche. - In: Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann, M. Reich (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. - Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Niermann I., Von Felten S., Korner-Nievergelt F., Brinkmann R. & Behr O. 2011. Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. In : Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum BD. 4, 384-405, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Nordex. Nordex : N90 (2,5 MW). [en ligne]. 2013. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : [http://www.nordex-online.fr/index.php?id=474&no\\_cache=1&L=ydvymokhklqcas](http://www.nordex-online.fr/index.php?id=474&no_cache=1&L=ydvymokhklqcas)
- Normandeau – environmental consultants. 2015. ReBAT™ Technical Specifications – Field System. 2p.
- Nyári J, Bailleul E, Gow S, Arbinolo M – EKOenergy. 2015. The effects of wind turbines on bat mortality and available solutions - An executive review. 5 p.
- O'Briain M., 2011. EU Guidelines on wind energy and nature conservation. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 43
- Oikon Ltd. 2014. Praćenje stradavanja oioykacija šišmiša tijekom korištenja VE Jelinak (Bat mortality monitoring during operation of Wind farm Jelinak).
- Osborne, R. G., Higgins K. F., Dieter C. D. & Usgaard R. E. - 1996 -Bat collisions with wind turbines in Southwestern Minnesota. Bat Research News 37: 105-108
- Paula J., Leal M., Silva M., Mascarenhas R., Costa H. et Mascarenhas M., 2011. Beware of the dog! Bio3. Norway. 1p.
- Paula J., Leal M., Silva M., Mascarenhas R., Costa H. et Mascarenhas M., 2011. Beware of the dog! In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 109
- Piorkowski M., 2006. Breeding bird habitat use and turbine collisions of birds and bats located at a wind farm in Okhlaoma mixes-grass prairie. Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University. 112p.
- Prevors L. & Perret M - MEDDE. 2014. Guide sur l'application de la réglementation relative aux espèces protégées pour les parcs éoliens terrestres. 32p.
- Reeder W.G., Cowles R.B. 1951. Aspects of thermoregulation in bats. J Mammal 32: 389–403.
- Reers, H. & Brinkmann R. 2015. Bat activity at nacelle height over forest – Communication Conference on Wind Energy and Wildlife impacts March 10-12, 2015 Berlin
- Région Haute-Normandie, 2007. Schéma régional éolien. Rouen. 86p.

- Reitan O. et Bevanger K., 2011. Optimizing searches for bird collision fatalities within a wind-power plant area by using trained dogs. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 119
- Rico P. & Lagrange H. 2011. Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze. 39 p.
- (308) Rico, P. & Lagrange, H. 2016. Etude de l'activité et de la mortalité des chiroptères sur plusieurs parcs éoliens par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherché de cadavres au sol – Contribution aux évaluations des incidences sur l'environnement. Présentation orale et Powerpoint, 16<sup>èmes</sup> Rencontres nationales "chauves-souris" de la SFPEM, Muséum de Bourges, 25 mars 2016, [http://www.sensoflife.com/wp-content/uploads/2015/05/Bourges\\_2016\\_SOL.pdf](http://www.sensoflife.com/wp-content/uploads/2015/05/Bourges_2016_SOL.pdf)
- Rodrigues L., Bach L., Biraschi L., Dubourg-savage M.-J., Goodwin J., Harbusch C., Hutson T., Ivanova T., Lutsar L. & Parsons K. 2006. Annex 1 to Resolution 5.6 : Windturbines and Bats : Guidelines for the planning process and impact assessments (Version 1.0, September 2006).
- Rodrigues L., Bach L., Dubourg-Sauvage M.J., Goodwin J. et Harbusch C., 2008. Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. Publication Series No 3. PNUE/EUROBATS. 29p.
- Rodrigues L., Bach L., Dubourg-Savage M.-J., Karapandza B., Kovac D., Kervyn T., Dekker J., Kepel A., Bach P., Collins J., Harbusch C., Park K., Micevski B. and Minderman J. 2015. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects – Revision 2014. EUROBATS Publication Series No. 6 (English version). UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany. 133p.
- Roeleke M., Blohm T., Kramer-Schadt S., Yovel Y. & Voigt C.-C. 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Sci. rep.* 6, 28961;doi:10.1038/srep28961.
- Roemer C., Devos S. & Bas Y. 2014. Assessment of bat mortality risk around human activities using unattended recordings for flight path reconstruction. Présentation Powerpoint, 13th European Bat Research Symposium 2014, Sibenik, Croatia
- Roscioni F., Rebelo H., Russo D., Carranza M.L., Di Febbraro M. and Loy A. 2014. A modelling approach to infer the effects of wind farms on landscape connectivity for bats. *Landscape Ecol* (2014) 29:891–903
- Roué S.Y. 2007. Proposition de liste rouge pour les chiroptères de Franche-Comté. Pub. CPEPESC. Franche-Comté, 1p.
- Roué S., Thauront M. & Jung L. 2013. Suivis de mortalité : protocoles, abaques, optimisation des fréquences de passage et collecte nationale des données. Séminaire Energie éolienne et protection de la biodiversité, 30 octobre 2013. 9p.
- Roux D., Tran M. & Gay N., 2013. Suivi des oiseaux et des chiroptères sur un parc éolien : comportement et mortalité à Bollène (84) entre 2009 et 2012. *Faune sauvage* 298 : 10-16.
- Russo, D., Ancillotto, L., Cistrone, L. and Korine, C. 2015. The buzz of drinking on the wing in echolocating bats. *Ethology* doi: 10.1111/eth.12460.
- Rydell J., Engstrom H., Hedenstrom A., Kyed Larsen J., Pettersson J et Green M., 2012. The effect of wind power on birds and bats. Report 6511. Swedish Environmental Protection Agency. 152p.
- Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage MJ., Green M., Rodrigues L. & Hedenström A., 2010. Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *Eur J Wildl Res*, published online DOI 10.1007/s10344-010-0444-3, Springer-Verlag. 5p.
- Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage MJ., Green M., Rodrigues L. & Hedenström A., 2010. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12(2) : 261-274.
- Santos S., Carvalho F. et Mira A., 2011. How Long Do the Dead Survive on the Road? Carcass Persistence Probability and Implications for Road-Kill Monitoring Surveys. *PLoS ONE* 6(9). Disponible sur: <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0025383>
- SER, 2013. SER Magazine Le syndicat des énergies renouvelables. N°8, juin 2013. Paris. 33p.

SER, 2011. Le développement de l'éolien dans le monde. Syndicat des énergies renouvelables et France Énergie Éolienne. Paris. 2p

Smallwood, K. S. & Karas, B. – 2009 - Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in California. – *Journal of Wildlife Management* 73: 1062-1071; doi: 10.2193/2008-464.

Smallwood S., 2011. Comparing avian and bat fatality rates estimates among North American wind energy projects. In: NINA Report 693 Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, 2011. p. 54

Spanjer G., 2006. Responses of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*, to an acoustic deterrent device in a lab setting. Department of Biology, University of Maryland, College Park, MD. 12p.

Speakman J.R., Hays G.C., Webb P.I. 1994. Is hyperthermia a constraint on the diurnal activity of bats? *J Theoret Biol* 171: 325–341.

Sterbing-D'Angelo S, Chadha M., Chiu C., Falk B., Xian W., Barcelo J., Zook J.M. and Moss C.F. .2011. Bat wing sensors support flight control. *Proc Natl Acad Sci USA* 108(27):11291–11296.

SWILD, 2015. Performance of the real-time bat detection system DTBat at the wind turbine of Calandawind, Switzerland. Final report V2.1 – 15 May 2015, 29 p.

Szewczak J. et Arnett E., 2006. Ultrasound emissions from wind turbines as a potential attractant to bats: a preliminary investigation. Humboldt State University, Acata, CA and Bat Conservation International, Austin, TX. 11p.

Szewczak J. et Arnett E., 2007. Field Test Results of a Potential Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortality from Wind Turbines. Humboldt State University, Acata, CA and Bat Conservation International, Austin, TX. 14p.

Thauront M., D'Agostino R. et Marchais G. 2015. Expertise chiroptères et suivi de mortalité - Parcs éoliens Lomont – Pays de Montbeliard. *Ecosphère*. 63 pages.

The American Wind Energy Association, 2004. Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts. RESOLVE, Inc. Washington, DC. 132p.

The Wind Power : Base de données sur les éoliennes et parcs éoliens. Base de données sur l'énergie éolienne. [en ligne]. 2013. Consulté le 24 juillet 2013. Disponible sur : [http://www.thewindpower.net/index\\_fr.php](http://www.thewindpower.net/index_fr.php)

U.S. Fish & Wildlife Service, 2012. Land-Based Wind Energy Guidelines. USFWS, USA. 82p.

UICN France, MNHN, SFEPM & ONCFS. 2009. La liste rouge des espèces menacées en France. Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.

Usine Nouvelle, 2013. Le secteur de l'éolien réclame un nouvel arrêté sur le tarif de rachat de l'électricité-Energie. Publié le 11 juillet 2013. Paris. [En ligne]. Consulté le 19 août 2013. Disponible sur: <http://www.usinenouvelle.com/article/le-secteur-de-l-eolien-reclame-un-nouvel-arrete-sur-le-tarif-de-rachat-de-l-electricite.N201315>

Verboom B. & Huitema H. 1997. The importance of linear landscape element for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*. *Landsc Ecol* 12 : 117 – 125.

Voigt C., Lehnert L., Petersons G., Adorf F., Bach L. 2015. Wildlife and renewable energy : German politics cross migratory bats. *European journal of wildlife research*. DOI :10.1007/s10344-015-0903-y.

Voigt C.C., Popa-Lisseanu A.G., Niermann I., Kramer-Schadt S. 2012. AThe catchement area of wind farms for European bats: A plea for international regulations – *Biological Conservation* 153(2012) 80-86

Weller T. et Giordano S., 2013. Echolocation behavior of Hoary Bats during migration provides insights into their disproportionate fatality rate at Wind energy Fatalities. In: Abstracts 16th International Bat Research Conference & 43rd North American Symposium on bat Research. San Jose, Costa Rica, 11 au 15 août 2013. p.165.

Wiser R., Yang Z., Hand M., Hohmeyer O., Infield D., Jensen P.H., Nikolaev V., O'Malley M., Sinden G. & Zervos A. 2011. Wind Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S. & von Stechow C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

## 8 - BIBLIOGRAPHIE NON TRAITÉE

**En gras:** publications particulièrement intéressantes

Arnett E., Barclay R. & Hein C. 2013. Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11, p.171.

Barré K., Millon L., Bernardin F., Compere P., Leviol I., Julliard R. & Kerbiriou C. 2015. Implementation of ecological mitigation installations of wind turbines in farming landscape : a win-win project for farmers and a wind farm developer. Poster EWEA 2015

Bellenoue S., Ternois V. 2016. Etat des lieux provisoire sur la mortalité connue en Champagne-Ardenne (+ Lorraine et Alsace) : Impact du développement éolien sur les oiseaux et les chiroptères. Centre permanent d'initiatives pour l'environnement du Pays de Soulaines. 2<sup>e</sup> colloque Grand Est d'Ornithologie. Montier en Der. 3 & 4 Décembre 2016. Powerpoint

**Ferrer M., de Lucas M., Janss G.F.E., Casado E., Munoz A.R., Bechard M.J. & Calabuig C.P. 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. *Journal of Applied Ecology* 49, 38-46.**

Frick W.F., Baerwald E.F., Pollock J.F., Barclay R.M.R., Szymanski J.A., Weller T.J., Russell A.L., Loeb S.C., Medellin R.A. & McGuire L.P. 2017. Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biological Conservation* 209, 172-177.

**Köppel J. (ed.). 2017. Wind Energy and Wildlife Interactions. Presentations from the CWW2015 Conference. Springer International Publishing.**

Lintott P.R., Richardson S.M., Hosken D.J., Fensome S.A. & Mathews F. 2016. Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat casualties at wind farms. *Current Biology*, Volume 16, N°21.

**Mathews F., Richardson S., Lintott P. & Hosken D. 2016. Understanding the Risk of European Protected Species (Bats) at Onshore Wind Turbine Sites to Inform Risk Management. Final report. University of Exeter, 127 pages.**

Minderman J., Gillis M.H., Daly H.F. & Park K.J. 2017. Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation* 2017. 8p.

**Perrow M. (ed.). 2017. Wildlife and Wind Farms, Conflicts and solutions – Volume 1 : Onshore : Potential Effects. Pelagic Publishing. 298 pages.**

Pratz J.L. 2013. Eolien-biodiversité : deuxième programme de suivi à long terme en région Centre, Bilan des études de l'année 2012. 84 p.

Reyes G.A., Rodriguez M.J., Lindke K.T., Ayres K.L., Halterman M.D., Boroski B.B. & Johnston D.S. 2016. Searcher Efficiency and Survey Coverage Affect Precision of Fatality Estimates. *The Journal of Wildlife Management* 80(8), 1488-1496.

Rodhouse T.J., Philippi T.E., Monahan W.B., Castle K.T. 2016. A macroecological perspective on strategic bat conservation in the U.S. National Park Service. *Ecosphere* 7(11). 21 p.

**Roeleke M., Blohm T., Kramer-Schadt S., Yovel Y., Voigt C. 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. [www.nature.com](http://www.nature.com). *Scientific Reports*. 6:28961.DOI: 10.1038/srep28961. 9p**

Santos M., Bastos R., Ferreira D., Santos A., Barros P., Travassos P., Carvalho D., Gomes C., Vale-Gonçalves H.M., Braz L., Morinha F., Paiva-Cardoso M.d.N., Hughes S.J., Cabral J.A. 2017. A spatial explicit agent based model approach to evaluate the performance of different monitoring options for mortality estimates in the scope of onshore windfarm impact assessments. *Ecological Indicators* 73, 254-263.

Skalak S., Sherwin R. & Brigham M. 2012. Sampling period, size and duration influence measures of bat species richness from acoustic surveys. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 490-455.

## 9.1 - Annexe 1 : Protocoles de suivi direct de la mortalité

De nombreuses publications ont proposé des protocoles de recherche et surtout des modalités statistiques pour corriger les résultats bruts. Plusieurs estimateurs existent et les résultats obtenus peuvent varier suivant la formule de calcul choisie. Différents protocoles de recherche sur les données de mortalité ont été proposés, comme les recommandations d'EUROBATS<sup>(262)</sup> et de la SFEPM<sup>(228)</sup>. Néanmoins ces protocoles sont très coûteux en temps et le Ministère a aujourd'hui défini un protocole national qui pose néanmoins question (cf. Annexe 2).

D'une manière générale, l'évaluation du nombre d'accidents mortels de chauves-souris est réalisée par des suivis de mortalité qui comportent deux étapes successives: la recherche de cadavres et l'estimation de la mortalité réelle. On étudiera successivement ici les techniques de prospection au sol, éventuellement à l'aide de chiens, les différents correctifs liés aux protocoles de recherche et les techniques de calcul de l'estimation de mortalité.

### Les techniques de prospection au sol

Sont présentées ci-dessous les principales recommandations trouvées dans la littérature (notamment EUROBATS et la SFEPM) et les éventuelles adaptations réalisées par Ecosphère.

#### A LA SURFACE PROSPECTEE

Selon les recommandations diffusées par EUROBATS et la SFEPM, la surface prospectée doit englober un rayon égal à la hauteur hors tout de l'éolienne. C'est-à-dire que la largeur de la recherche doit être égale à la hauteur en bout de pale. Par exemple, pour une turbine de 120 mètres de hauteur en bout de pale, la zone de recherche, déterminée par un rectangle, un carré ou un cercle, devra être de 60 mètres de part et d'autre de la base de la turbine<sup>(50)</sup>.

S'il n'est pas possible de prospecter cette surface, la surface de recherche ne doit pas être inférieure à 1 ha en plaçant l'éolienne en son centre<sup>(228)</sup>. Dans la plupart des cas, cette surface ne peut pas être correctement contrôlée en raison de la hauteur de la couverture végétale ou d'obstacles naturels. Il est alors recommandé de contrôler une surface plus petite mais recouverte d'une végétation plus rase ou sans végétation. En Europe, il est conseillé d'opter pour un carré afin d'éviter le plus possible les contraintes de terrain, telles que l'accessibilité et la mise en place des transects<sup>(107)</sup>. Néanmoins d'autres techniques permettent de travailler sur des cercles (corde métrée autour du mat, géolocalisation).

La définition du périmètre de prospection peut dépendre de la dispersion des chauves-souris par le vent après collision, un facteur éventuellement insuffisamment pris en compte dans le suivi. En 2011, Niermann et ses collègues ont mené une étude dans le but de déterminer l'influence de ce facteur : pour cela, des chauves-souris mortes ont été lâchées de la nacelle d'une éolienne près d'Ursleben en Allemagne<sup>(252)</sup>. Le test a été réalisé avec différentes vitesses de vent (faible et importante) ainsi qu'avec différentes espèces classées dans deux groupes suivant leur poids : un premier groupe de chauves-souris « légères » de 3,5 à 10,5 grammes comprenant *Myotis brandtii*, *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus nathusii* et *Vespertilio murinus* et un second de chauves-souris « lourdes » entre 19 et 29 grammes incluant *Nyctalus noctula* et *Myotis myotis*. Les cadavres utilisés étant congelés, ils ont été lâchés dans cet état mais aussi décongelé pour déterminer si la portance exercée sur les ailes des animaux peut impacter la dispersion des cadavres.

L'éolienne du haut de laquelle ont été lâchées les chauves-souris possédait un rotor de 70 m de diamètre et une hauteur de moyeu de 98,8 m. Dans les 50 m autour de l'éolienne, 97% des chauves-souris « lourdes » ont été retrouvées contre 74% des chauves-souris « légères ». Ce dernier pourcentage passe à 88% si le rayon de recherche est de 60 m et à 95% pour une prospection dans les 70 m autour de la machine. Il a finalement été conclu que, pour des éoliennes du même type que celle testée ici, il est suffisant de limiter les recherches à la surface circulaire correspondant à la moitié de la hauteur du moyeu, c'est-à-dire 50 mètres dans le cas étudié<sup>(252)</sup>. Selon l'étude, la variation de dispersion est expliquée à 75% par les facteurs vitesse du vent, poids de l'animal et position des ailes en fonction de l'état de congélation des chauves-souris.

Bien que certaines dépouilles puissent être retrouvées à des distances très importantes des éoliennes, un large pourcentage est retrouvé dans les 30 mètres autour du mat<sup>(262)</sup>. Il est donc recommandé par la SFEPM et EUROBATS d'effectuer les prospections sur un rayon de 50 mètres minimum<sup>(107)</sup>. Si la zone ne peut être entièrement parcourue, la surface contrôlée pour chaque éolienne devra obligatoirement être calculée<sup>(112,228)</sup>.

Brinkmann et ses collègues ont considéré que si la surface prospectable (c'est-à-dire facilement accessible) sous l'éolienne est de l'ordre de moins de 20% dans un rayon de 50m, la recherche des cadavres donne des résultats très peu fiables<sup>(122)</sup>. Eventuellement en lien avec des progrès statistiques, O. Behr<sup>(189)</sup> considérait en 2013 que si la surface pouvant être prospectée est inférieure à 40 % dans les 50 m autour du mât, il n'est pas possible d'obtenir de résultats cohérents (plus de fiabilité statistique).

Le guide d'étude d'impact des parcs éoliens sur les chauves-souris et les oiseaux pour les zones du nord de l'Arizona et du Sud du Colorado (USA) considère que les limites de la zone de recherche n'influenceraient pas grandement les estimations si les surfaces sont au moins fouillées 40 mètres autour de la turbine. Néanmoins, les études de suivi de mortalité américaines comportent en général un rayon de recherche de 60 mètres à partir de la base de l'éolienne.

## **B LE NOMBRE D'ÉOLIENNES À CONTRÔLER**

Dans l'idéal toutes les éoliennes sont prospectées car la mortalité peut varier selon différents paramètres. Néanmoins il est souvent nécessaire de ne prospecter qu'un échantillon pour des raisons de coût. Quelle que soit la taille du parc, le nombre et le choix des éoliennes échantillonnées peuvent être déterminés de façon aléatoire. Pour les parcs éoliens de grande envergure, plusieurs éoliennes seront ainsi sélectionnées au hasard et réunies selon l'habitat environnant ou les caractéristiques du parc éolien<sup>(112)</sup>. Au préalable, des analyses statistiques basées sur le nombre escompté de cadavres et sur les variations obtenues dans d'autres études peuvent aider à définir le nombre optimal d'éoliennes à échantillonner.

## **C LA FREQUENCE DES CONTRÔLES**

En toute logique plus la fréquence des contrôles est élevée, plus le nombre de cadavres récupérés sera grand et les possibilités de leur disparition faibles. Pour EUROBATS<sup>(112)</sup>, le pas de temps entre les contrôles conseillé est de 3 jours pour tous les parcs sans exception. Les fréquences de contrôle peuvent être ajustées sur les périodes plus à risque (été et automne) en fonction du taux d'enlèvement des carcasses, des espèces ciblées ou encore de la topographie du terrain<sup>(50)</sup>. Les études réalisées jusqu'à aujourd'hui présentent une forte variabilité interannuelle de la mortalité, les suivis doivent donc être idéalement réalisés pendant trois années consécutives<sup>(228)</sup>. Le coût (temps humain) est néanmoins un facteur limitant important pour large un déploiement, mettant à part les programmes de recherche scientifique. Cette question de la fréquence de contrôle et de son poids relatif dans les estimations de mortalité sera donc étudiée plus en détail dans les chapitres sur les correctifs et la statistique. A titre indicatif (cf. annexe 2), le protocole national officiel du MEDDE<sup>(261)</sup>

prévoit en général seulement 4 passages par éolienne par an (à 3 jours d'intervalle en avril, mai, juin, août ou septembre) !

## D LE CALENDRIER DU SUIVI

Dans l'idéal, le suivi de la mortalité devrait englober toute la plage d'activité des chauves-souris c'est-à-dire excluant uniquement le temps d'hibernation. Cette période active s'étend globalement du 1<sup>er</sup> mars au 15 novembre, avec une période cœur de 7 mois allant du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre. Le calendrier peut en revanche varier selon les conditions météorologiques et les zones géographiques (le nord de l'Europe n'équivaut pas à la méditerranée).

## E LES METHODOLOGIES DE SUIVI

Des transects sont effectués soit par bandes pour les surfaces prospectées carrés et rectangles soit en spirales ou en cercles pour les surfaces rondes.

La zone contrôlée est marquée aux quatre coins par un piquet et deux côtés opposés avec d'autres piquets marquant des bandes de 10 m ou de 5 m de large suivant le couvert végétal. Les transects parcourus d'un piquet à l'autre permettent alors de contrôler une bande de respectivement 5 ou 2,5 m de large<sup>(112)</sup>. Le contrôleur, si possible unique durant toute l'étude, doit parcourir chaque transect d'un pas lent et régulier, recherchant les cadavres de part et d'autre de sa ligne de déplacement. Aux USA, les taux de recherche sont en moyenne de 20 à 30 mètres par minute nécessitant un temps de 0,5 à 1,5 heures par éolienne<sup>(54)</sup>.

Pour les prospections au sein d'un trajet en spirale, technique pratiquée davantage outre-Atlantique, des transects dont la longueur entre deux lignes de déplacement est de 7<sup>(39)</sup> ou 5<sup>(262)</sup> mètres, sont effectués depuis le mât de l'éolienne. Autre technique : des cercles concentriques de 15 mètres d'intervalles ayant pour centre le mât sont dans certains cas réalisés<sup>(74)</sup>. Dans ces deux cas on peut utiliser une corde métrée fixée au mât (escalier d'accès) en tournant dans un sens puis l'autre.

La prospection doit débuter de manière optimale une heure après le lever du soleil<sup>(112)</sup> pour limiter le plus possible le biais de prédation diurne. Chaque fois qu'un cadavre est découvert, il est dans la mesure du possible localisé précisément par GPS. La distance et l'azimut sont mesurés par rapport au mât de l'éolienne. Puis le cadavre est photographié et identifié autant que possible (espèce, âge, sexe, état de décomposition ou de prédation, heure de découverte, estimation de la date de mortalité, et de la cause de la mort). Si l'identification du cadavre n'est pas possible sur le terrain ou s'il s'agit d'espèces non déterminées, le cadavre est alors prélevé et envoyé pour identification ou analyse<sup>(107)</sup>. Rappelons qu'en vertu du Code de l'Environnement article L 411-1, les espèces protégées ne doivent pas être manipulées sans dérogation même mortes, l'organisme en charge du suivi de mortalité devra donc se mettre en conformité avec la réglementation et demander une dérogation de détention et de transport d'espèces protégées auprès de l'autorité compétente.

Afin d'éviter toute erreur de suivi, les cadavres retrouvés devront être enlevés des zones contrôlées après chaque passage<sup>(228)</sup>, sauf dans le cas d'études particulières sur l'enlèvement par les charognards.

## La prospection à l'aide de chiens

Les estimations de recherche de cadavres au pied des éoliennes utilisées pour définir les taux de mortalité des chauves-souris sur les sites éoliens sont biaisées par la faculté de détection du chercheur et le déplacement par des prédateurs qui est très important surtout quand la surface est végétalisée. Une solution est d'utiliser l'olfaction des chiens pour augmenter l'efficacité des recherches de carcasses particulièrement dans la végétation dense<sup>(40)</sup>. Des études récentes ont

prouvé que l'efficacité de détection des dépouilles par les chiens est de l'ordre de 70 à 80% contre seulement 15 à 45% pour les humains<sup>(42)</sup>. Une autre étude réalisée en Norvège a prouvé que la faculté olfactive des canidés est plus efficace que l'œil humain puisque les chiens ont su détecter 98 objets contre 47 pour le chercheur<sup>(156)</sup>.

L'objectif d'une étude datant de 2006 réalisée par Arnett a été d'entraîner deux chiens et de comparer l'efficacité des recherches des hommes sur des transects identiques et comportant des carcasses plus ou moins dissimulées dans la végétation. Les chiens dressés ont réussi à trouver 71% des dépouilles de chauves-souris lors des essais sur le site de Mountaineer (Virginie occidentale) et 81% sur le site Meyersdale (Pennsylvanie), comparativement à 42% et 14%, respectivement, pour les chercheurs humains. Arnett a montré que la recherche par les chiens et les humains varie avec la distance à l'éolienne, les hommes trouvant davantage les carcasses proches des éoliennes. Bien qu'il n'y ait pas de différences significatives sur milieu ouvert, en milieu de végétation dense les chiens sont significativement plus performants<sup>(40)</sup>.

Les chiens sont entraînés grâce à des techniques similaires à la détection d'explosifs, ou de drogues avec un langage corporel spécifique puis sont commercialisés, par exemple par la société Bio3 qui a développé la méthode au Portugal<sup>(157)</sup>. Pour certifier ces chiens il existe un label qui garantit l'exactitude et l'efficacité du travail de l'animal et les recherches effectuées par Bio3 ont été publiées dans un journal international<sup>(157)</sup>. Après l'entraînement ces chiens sont aptes à retrouver les carcasses de chauves-souris et d'oiseaux. Bien formés, ils seraient beaucoup plus précis que les humains et détecteraient respectivement 96 et 99% des carcasses indépendamment de la densité de la végétation et de l'état de décomposition. Ces chiens représentent également un gain de temps évident puisque les recherches durent 40 minutes avec un chien contre 2 heures et demi sans<sup>(86)</sup>.

L'efficacité des chiens pourrait cependant être affectée par la température et de leur état de décomposition, mais dans une échelle de temps réduite<sup>(78)</sup>.

En 2012, une étude australienne a permis de mettre en évidence d'autres facteurs influençant l'efficacité de détection des chiens<sup>(256)</sup> comme la relation entre le chien et son maître puisque le chien ne fait pas le travail seul. En effet, sans une personne avertie et capable de « lire » les signaux du chien, de nombreuses petites carcasses ou des fragments de cadavres peuvent être manqués. Dans certains cas, le chien peut signaler la présence d'une carcasse sans que le maître ne la voie à priori alors qu'en général, une recherche plus approfondie permet de découvrir une portion d'aile ou une chauve-souris déshydratée cachée dans l'herbe haute.

En Grande-Bretagne, Fiona Mathews de l'université d'Exeter a récemment développé une entreprise de conseil (consultancy business) utilisant des chiens entraînés pour la recherche des cadavres aux pieds des éoliennes.

## **Paramètres correctifs liés au protocole de recherche des cadavres**

Pour déterminer le nombre réel de chauves-souris ayant heurté une éolienne, il est nécessaire de prendre en compte les erreurs méthodologiques (biais) survenant dans le cadre de la recherche directe des victimes de collision.

Ceux-ci incluent la superficie de prospection, le fait que les cadavres peuvent être emportés par les prédateurs entre deux prospections et que le contrôleur soit incapable de détecter parfaitement toutes les carcasses. Pour pallier à ces facteurs d'erreurs, et ainsi s'approcher du taux de mortalité réel, différentes méthodes incluant ces biais à plus ou moins haut niveau ont été développées et seront développées ci-dessous.

### **A L'AJUSTEMENT DE LA SURFACE REELLEMENT CONTROLEE**

Il existe au moins deux biais liés à la recherche de cadavres restreinte à une surface donnée :

- La surface recherchée ne contient pas, en général, la totalité des cadavres tués par l'éolienne ;
- Parfois (souvent ?) seule une portion de la surface est accessible.

Si l'on ignore les cadavres gisant en dehors de la zone de recherche cela conduit bien évidemment à une sous-estimation de la mortalité.

L'une des principales difficultés consiste donc à corriger les données en fonction de la surface réellement prospectée par rapport à la surface théorique du protocole. Ces différences sont liées en général à la topographie et/ou la densité ou le caractère forestier de la végétation. Le coefficient de correction surfacique renseigne alors sur le pourcentage de cadavres non relevés par l'observateur<sup>(7)</sup>. Deux facteurs rendent difficiles l'appréciation :

- Plus la surface réellement prospectée est petite plus la marge d'erreur est grande ;
- La répartition spatiale des carcasses influe sur les calculs (variable selon les cas) et plus l'on s'éloigne du mat plus la surface non prospectée est importante.

Bien souvent on ajuste les estimations de mortalité totale par une simple relation de proportionnalité surfacique selon la formule suivante<sup>(109)</sup> :

$$a = 1 + \left(1 - \frac{\text{Surface réellement prospectée}}{\text{Surface à prospectée (théorique)}}\right)$$

Cette formule ne tient pas compte de la distribution des carcasses sur le terrain en considérant qu'elles sont réparties de façon homogène sur le terrain. Huso *et al.*<sup>(155)</sup> ont estimé que cela conduit probablement à une surestimation de la mortalité. Le coefficient lié à la dispersion des cadavres n'est presque jamais considéré dans les études françaises<sup>(107)</sup>.

Une autre formule développée par Arnett *et al.* (2005)<sup>15</sup> tient compte de la proportion des surfaces inspectées par rayon et de la répartition spatiale des cadavres. Elle s'exprime de la façon suivante:

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

Avec :

Sk : la proportion du cercle concentrique k prospecté

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

Pk : le taux de détection (ici comme il est constant, il ne modifie pas la formule)

Enfin, O. Behr<sup>(189)</sup> considérait en 2013 que si la surface pouvant être prospectée est inférieure à 40 % dans les 50 m autour du mât, il n'est pas possible d'obtenir de résultats cohérents (plus de fiabilité statistique). Globalement, pour que les projections soient de bonne qualité, il a été estimé que l'aire de recherche doit représenter plus de 60% du rayon de prospection et que, en parallèle, le taux de persistance des cadavres doit être élevé<sup>(123)</sup>. Afin de réduire la marge d'erreur du calcul du nombre effectif de victimes de collision, il est possible de compenser des conditions de recherche défavorables par un autre facteur : par exemple, si un faible pourcentage de surface sous l'éolienne est prospectable, ceci peut être compensé par une intensité de recherche élevée<sup>(122)</sup>.

<sup>15</sup> Aussi utilisée en France par Cornut et Vincent (2010) par exemple

## B LES TESTS SUR LA PERFORMANCE DES OBSERVATEURS

Toutes les méthodes de correction statistiques utilisent un facteur  $d$ , c'est-à-dire le taux de détection par l'observateur. L'efficacité de recherche décrit la proportion de chauves-souris mortes retrouvées après la prospection. Elle varie en fonction de la personne<sup>(123)</sup> et surtout du couvert végétal<sup>(112)</sup>.

Pour évaluer le taux d'efficacité, il convient de réaliser des tests de détectabilité. EUROBATS recommande de les faire 4 fois par an en fonction de classes de végétation définies par la combinaison de la hauteur de végétation, de la visibilité du site et de la topographie<sup>(112)</sup>, tandis que le MEDDE préconise de le réaliser au moins 2 fois lors d'un suivi sur plusieurs mois<sup>(261)</sup>. Le principe est de dissimuler des cadavres et de compter le nombre de carcasses retrouvées par l'observateur testé (qui effectue sa prospection comme lors d'une recherche normale).

Des cadavres de souris ou des peluches peuvent être répartis sur la surface contrôlée sous les éoliennes<sup>(123)</sup>, ou encore des morceaux de plastique noir découpés (chambre à air, caoutchouc, etc.) Niemann *et al.* ont ainsi calculé ce taux de détection grâce à un modèle binomial, intégrant les nombres de carcasses trouvées ou non, modulés en fonction de la nature de l'objet dissimulé (souris mortes ou jouets)<sup>(123)</sup>.

Un module de la plateforme Wildlife Fatality Estimator<sup>16</sup> permet de calculer facilement l'efficacité de recherche. Ces estimations sont calculées grâce à des modèles binomiales mixtes prenant en compte des variables indépendantes telles que la personne effectuant la recherche, la taille du cadavre ou encore l'éolienne prospectée<sup>(275)</sup>.

## C LES TESTS SUR LES ENLEVEMENTS DE CADAVRES PAR LES CHAROIGNARDS

Une partie des chauves-souris tuées par les éoliennes disparaît avant qu'elle ne puisse être découverte dans le cadre des prospections. En effet, des charognards (mammifères, oiseaux, insectes) peuvent dévorer, enterrer ou déplacer les victimes. Afin de quantifier ce taux d'enlèvement, des tests de disparition des cadavres doivent être effectués sur le terrain. Le taux est donc équivalent à la proportion de dépouilles qui demeurent durant l'intervalle compris entre deux recherches<sup>(107)</sup>.



Figure 48 : Renard roux récupérant un cadavre de Pipistrelle commune sous une éolienne du parc de Lomont.<sup>(260)</sup>

<sup>16</sup> <http://internal.bio3.pt/demo/>

D'après les recommandations d'EUROBATS<sup>(111)</sup>, il faudrait procéder à des tests au moins 4 fois par an pour tenir compte des variations de hauteur de végétation dans la zone contrôlée. Comme pour le test sur la performance des observateurs, le MEDDE préconise de réaliser au moins deux fois le test si le suivi dure plusieurs mois<sup>(261)</sup>.

Chaque test devra durer 10 jours : des passages consécutifs seront faits pendant les 7 premiers jours puis 1 passage au 14<sup>ème</sup> jour puis un dernier au 21<sup>ème</sup> jour. Dans l'idéal, des cadavres de chauves-souris préalablement décongelés devraient être utilisés. Pour des raisons juridiques (dérogation), de praticité et d'approvisionnement, les chauves-souris sont couramment remplacées par des petits passereaux morts ou des poussins d'un jour.

Les données collectées lors des tests de persistance des cadavres sont des exemples classiques de temps de survie. Selon Bispo *et al.*<sup>(273)</sup> les temps de disparition des cadavres peuvent donc être analysés par des méthodes de survie paramétriques selon le principe suivant :

- la probabilité empirique de persistance jusqu'au temps  $t$  est tout d'abord calculée grâce à l'estimateur de Kaplan Meier
- il faut ensuite définir la meilleure hypothèse de distribution pour modéliser les temps de disparition puisqu'il existe plusieurs distributions de probabilités appropriées pour les données de survie (distribution exponentielle, de Weibull, log-logistique et log-normale)
- puis l'effet de différentes variables (par exemple la saison, la taille du cadavre etc..) est testé et les variables non significatives doivent être exclues du modèle
- enfin, la pertinence du modèle final choisi est vérifiée graphiquement en superposant la distribution observée et le modèle adopté et la probabilité de persistance des cadavres peut être estimée à partir de ce modèle.

Finalement, les auteurs ont défini un facteur de correction de l'enlèvement des cadavres à utiliser lors de l'estimation de la mortalité comme suit :

$$R_{ij}(t) = \frac{1}{t_i - t_{(i-1)}} \sum_{t=1}^{t_i - t_{(i-1)}} \hat{S}_j(t)$$

avec  $R_{ij}$  le taux de persistance moyen à la  $i^{\text{ème}}$  recherche pour la  $j^{\text{ème}}$  condition (définie par les différentes variables) et  $\hat{S}(t) = 1 - \hat{F}_j(t)$  correspondant à la fonction de survie de T (temps avant la disparition), estimé sur la base du modèle de survie paramétrique le mieux ajusté<sup>(273)</sup>.

Cet estimateur suppose que la mortalité causée par collision se produit avec la même probabilité pour tout temps compris entre deux recherches consécutives et il est exploitable quel que soit l'intervalle de temps entre les recherches utilisé lors du protocole du test. L'utilisation de ces modèles de survie permet d'intégrer les effets de différentes variables à l'estimation du taux de persistance des cadavres. De plus, le module « Carcasse persistance » de l'application en ligne Wildlife Fatality Estimator permet d'obtenir facilement le facteur de correction de l'enlèvement des cadavres<sup>(276)</sup>.

Il existe une grande variabilité dans le temps de persistance des carcasses. En effet, celui-ci change selon les sites en raison des différences de comportement ou de densité des charognards, de la température et de l'humidité. Par exemple, au Portugal, le taux de persistance des carcasses de chauves-souris sous des éoliennes est passé de 3,6 à 4,6 jours entre le printemps et l'automne<sup>(187)</sup>. En Allemagne, Niermann *et al.* ont annoncé que le taux de persistance variait de 1,3 à 24,5 jours pour une valeur moyenne de 4,2 jours. Sur plusieurs parcs éoliens de France, celui-ci variait de 0 à 5,2 jours mais généralement avec une valeur inférieure à 3 jours<sup>(107, 108, 109, 174, 197, etc.)</sup>.

En fonction des périodes, ce taux peut atteindre une valeur nulle ou très petite c'est-à-dire que les cadavres disparaissent très rapidement. Santos *et al.*<sup>(188)</sup> confirment que les temps de persistance sont très faibles en Europe notamment pour les chiroptères et les petits oiseaux avec une probabilité

de disparition très élevée dans les 2 premiers jours par rapport à d'autres groupes d'animaux. Arnett *et al.* ont par contre annoncé un temps de persistance moyen de 32 jours sur un site en Amérique du Nord où les temps de persistance sont en général plus longs qu'en Europe<sup>(102)</sup>. Mais en bordure de route au Canada une carcasse de chauve-souris persisterait au maximum 5 jours<sup>(188)</sup>.

En 2011, Niermann *et al.*<sup>(123)</sup> ont réalisé ces tests avec des souris de laboratoires de couleur foncée qu'ils ont disposées au sol avec des gants pour éliminer toute odeur humaine pouvant s'avérer répulsive pour les renards ou les sangliers. De plus, pour ne pas conditionner les prédateurs, un maximum de deux chauves-souris a été disposé sous chaque éolienne. Ensuite, pour estimer la proportion d'animaux encore présents après 24h, un modèle exponentiel du type :  $S(t)=e^{-\lambda}$  où  $\lambda=e^{-bx}$ <sup>17</sup> a été utilisé. Les coefficients associés ont été déterminés à l'aide du logiciel de statistique R 2.7.2. Enfin, des appareils photographiques nocturnes ont été installés pour apporter des informations sur le spectre des prédateurs potentiels. Ils ont ainsi estimé un taux d'enlèvement de 0,79 c'est-à-dire qu'après 24h, 7,89 cadavres sur 10 ont été retrouvés en moyenne au pied des éoliennes.

L'impact du taux de persistance sur les données est plus difficile à quantifier que la question de l'efficacité de l'observateur (hors difficultés du terrain) et reste un champ de recherche.

## D CORRECTIF LIE A LA PERIODE D'ETUDE

Pour ajuster la mortalité du nombre de chiroptères par éolienne par an, si la période de suivi est partielle, il est nécessaire d'extrapoler les résultats trouvés à la période principale d'activité des chauves-souris soit une durée d'au moins 7 mois, entre avril-octobre.

Toutefois, le risque de collision n'est pas égal au cours de cette période. En effet, il intervient surtout pendant l'été-automne, période qui regroupe environ 80% des cadavres trouvés. Le tableau ci-dessous et la Figure 13 montre ainsi l'importance de la période située entre le 15 juillet et le 31 octobre. Si un correctif basé sur le ratio 80%-20% est envisageable, il n'a pas fait l'objet de tests statistiques poussés.

Référence	Proportion de cadavres découverts après le 15 juillet
Exen, 2013	73 %
Aves 2011	75 %
Cornut et Vincent, 2010	80 et 83 %
Biotope, 2011	83 % après le 1 <sup>er</sup> aout
Dulac, 2010	91 % après le 1 <sup>er</sup> juillet
Rydell <i>et al.</i> , 2010	90 % entre fin juillet et début octobre

## E LES DIVERSES METHODES STATISTIQUES

Le paramètre clé pour estimer la mortalité des chauves-souris à partir de la recherche des carcasses est la probabilité de détection (b). C'est-à-dire la probabilité qu'un animal tué soit retrouvé. La probabilité est fonction du taux de persistance des carcasses (p), de l'efficacité du chercheur (d) et de la surface réellement contrôlée (a)<sup>(102)</sup>.

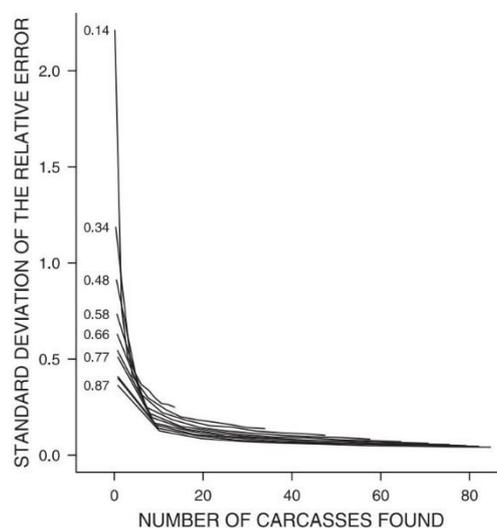
<sup>17</sup> S(t) : Proportion d'animaux restants en fonction du temps, bx : prédicteur linéaire composé des variables explicatives x pour les éoliennes et du coefficient du modèle b.

La manière apparemment la plus simple consiste, pour une aire prospectée totalement, à estimer cette probabilité comme étant le produit de l'efficacité des contrôleurs et du taux de disparition des cadavres ( $b=p*d$ ). C'était l'approche utilisée par la première méthode développée au début des années 90 mais elle ne tenait pas compte de la fréquence des passages (tendance à la surestimation de la mortalité)<sup>(102)</sup>.

Une deuxième méthode, dite d'Erickson, a mieux pris en compte à partir de 2000 la fréquence des passages ainsi que la persistance des cadavres mais elle sous-estimait légèrement la mortalité (sauf pour des temps de persistance longs), comparativement aux différentes méthodes les plus modernes (Jones, Huso et Korner)<sup>(120)</sup>. En fait, l'utilisation d'une relation exponentielle (Jones, Huso) ou d'une relation statistique complexe (Korner) rendent l'analyse plus fine avec en particulier un poids plus important donné à la probabilité de disparition des cadavres. La formule de Korner<sup>(120)</sup> est en moyenne la méthode la plus fiable notamment lorsque l'efficacité du chercheur et le taux d'enlèvement des cadavres par les prédateurs sont constants<sup>18</sup>. Lorsque ces paramètres varient, les biais sont proches entre les différentes approches. Il n'existe à ce jour pas de modèle universel<sup>(200)</sup>. Par contre, quelque-soit la méthode utilisée, les estimations sont sous-estimées pour des temps de persistance courts et des intervalles de recherches **supérieur à 7 jours**<sup>(120)</sup>.

Les différents estimateurs sont présentés ci-dessous. Etant donné la variabilité des estimations fournies par ces méthodes, la Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères recommande d'utiliser au moins trois estimateurs différents et récents dans les analyses<sup>(228)</sup>.

Notons que l'estimation de la mortalité réelle devient peu fiable lorsque le nombre de chauves-souris trouvées est inférieur à 10 spécimens quel que soit le modèle statistique utilisé<sup>(102)</sup>. De plus, il faut toujours tenir compte des marges d'erreur qui sont plus sensibles sur des sites avec de faibles surfaces prospectées comme les sites à caractère forestier<sup>(200)</sup>.



**Figure 49 : Robustesse de l'estimation de la mortalité en fonction du nombre de cadavres trouvés**

### La méthode de Winkelmann (1992)<sup>(107)</sup>

La méthode de Winkelmann est la plus simple pour estimer le nombre de chauves-souris tuées par les éoliennes mais elle est aujourd'hui considérée comme obsolète par exemple par la SFEPM<sup>(228)</sup>.

<sup>18</sup> Ou supposé constants

Dans le protocole national de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres du MEDDE <sup>(261)</sup>, il est proposé d'utiliser une adaptation plus récente de cette formule (d'après André, 2005) :

$$N = (Na - Nb) / (P \times d)$$

Avec :

Na : nombre total d'individus trouvés morts

Nb : nombre d'individus tués par autre chose que les éoliennes

P : temps de disparition d'un cadavre

d : taux de découverte, variable en fonction du couvert végétal

#### La méthode d'Erickson (2000) <sup>(107)</sup>

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

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

Avec :

I : La durée de l'intervalle entre 2 visites équivalent à la fréquence de passage (en jours)

tm : La durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours)

#### La méthode de Jain *et al.* (2007) <sup>(272)</sup>

Cette méthode est basée sur l'hypothèse que la probabilité d'un événement de collision est également distribuée sur tous les jours compris entre deux prospections. La formule de calcul est la suivante :

$$\hat{C} = \frac{C}{Sc \times Se \times Ps}$$

Avec :

$\hat{C}$  : nombre de chauves-souris mortes ajusté

C : nombre de chauves-souris mortes observé

Sc : proportion de cadavres laissés par les charognards durant le test de persistance des cadavres

Se : proportion de cadavres manquée par l'observateur lors du test d'efficacité du chercheur

Ps : proportion d'éoliennes étudiées

#### La méthode de Jones (2009) <sup>(186)</sup>

La méthode de Jones repose sur trois hypothèses :

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

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

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

La formule de calcul est la suivante :

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

Avec :

C : nombre de cadavres trouvés

a : coefficient de correction surfacique

d : taux de détection par l'observateur

Tm = durée moyenne de persistance en jours

I : Intervalle moyen entre deux visites

Î : Intervalle effectif

ê : Le coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à :  $\frac{\text{Min}(I;\hat{I})}{I}$

Jones utilise la notion d' « intervalle effectif » pour calculer le coefficient correcteur qui correspond au rapport entre la durée avant que 99 % des cadavres ne soient envisagés comme prédatés/déplacés et la durée de l'intervalle. Il est en effet logique que plus l'intervalle est long, plus la probabilité de persistance s'approche de 0. L'intervalle effectif correspond ainsi à la durée pour laquelle la probabilité de persistance est égale à 1%. L'intervalle effectif, Î est donc égal à :  $-\log(0,01) \times Tm$ . Dans le calcul, I prend la valeur minimale entre I et Î.

### La méthode de Huso (2010) <sup>(196)</sup>

Huso considère également une mortalité constante mais ici la probabilité de disparition au milieu de l'intervalle de passage n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre. La formule est donc différente. Néanmoins les travaux de Huso sont basés sur des données américaines où les taux de persistance moyens seraient plus élevés qu'en Europe <sup>(102)</sup>. Les biais sont donc plus importants pour cette approche lorsque les temps de persistance sont courts <sup>(200)</sup>.

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

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

D'où la formule :

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

Dans ce protocole également, I prend la valeur minimale entre I et Î.

Une variante développée par des statisticiens, bientôt disponible sur le Web sous forme de logiciel<sup>19</sup>, permet d'effectuer le calcul de la mortalité réelle. Celle-ci tient compte de l'estimateur de Huso et d'autres facteurs de correction élaborés par Bispo *et al.* en 2010<sup>(158) (202)</sup>.

### La méthode de Korner-Nievergelt (2011) <sup>(102)</sup>

Le nouveau protocole proposé est basé sur une formule qui peut être adaptée à des efficacités du chercheur différentes ou à différents taux de persistance des carcasses. En outre, la formule prend en compte les intervalles entre les recherches régulières et la durée de la période de contrôle.

<sup>19</sup> [http://www.batsandwind.org/pdf/BWEC\\_Current\\_Estimator\\_Work\\_Huso.pdf](http://www.batsandwind.org/pdf/BWEC_Current_Estimator_Work_Huso.pdf)

$$b = \frac{d \left( p \frac{1-p^I}{1-p} \right) \left( \sum_{i=0}^{n-1} (n-i) ((1-d)p^I)^i \right)}{n I}$$

Avec :

b : la probabilité qu'une victime tuée pendant la période i soit trouvée

n : le nombre de recherches pendant l'étude

d : taux de détection par l'observateur

p : probabilité de persistance journalière des cadavres, c'est-à-dire la proportion de chauves-souris qui n'ont pas disparus pendant les premières 24 heures

Le nombre de victimes de collision peut donc être calculé à partir de la probabilité de découverte (b), le pourcentage de surface contrôlée (a) et le nombre de cadavres collectés (C) grâce à la formule :  $N=C/(b*a)^{(123)}$

Cette formule, semble moins sous-estimer la mortalité que la formule d'Erickson<sup>(123)</sup> et semble offrir une estimation cohérente du nombre d'animaux tués lorsque l'efficacité du chercheur et la probabilité de disparition sont constantes dans le temps<sup>(102)</sup>. Rappelons que Korner dispose de la seule formule qui ne considère pas les taux de persistance et de détection constants. S'il y a bien des variations d'un site à l'autre sur le taux de persistance, il peut y avoir des variations dans le temps en fonction de la dispersion des jeunes charognards par exemple. Même si les évaluateurs de Jones et Huso peuvent prendre une valeur de p correspondant à une moyenne sur plusieurs périodes d'étude, la relation de Korner est plus robuste.

### Approches complémentaires

Les différents estimateurs détaillés précédemment se différencient par leurs hypothèses sur les facteurs de détection et la façon de combiner ces facteurs afin de refléter la probabilité globale de détection d'une carcasse. En janvier 2015, l'American Wind Wildlife Institute (AWWI) a convoqué un groupe de chercheurs afin de développer un estimateur généralisé ainsi qu'un logiciel d'aide à la réalisation des calculs<sup>(257)</sup>.

Une plateforme gratuite en ligne a été développée en 2010 afin d'aider les utilisateurs à utiliser correctement certaines méthodes de calcul décrites précédemment et de gagner du temps dans l'analyse des données : il s'agit de Wildlife Fatality Estimator<sup>20</sup>. L'estimation de la mortalité peut être réalisée avec 3 estimateurs différents selon le choix de l'utilisateur : l'estimateur de Jain (2007), celui de Huso (2010) ou encore celui de Korner-Nievergelt (2011)<sup>(274)</sup>.

Dans certains cas, les carcasses peuvent ne pas être retrouvées notamment lorsque le taux de mortalité est extrêmement bas ou que la probabilité de trouver une chauve-souris est inférieure à 1<sup>(247)</sup>. Pour pallier à ce problème, Bastos et ses collègues<sup>(271)</sup> ont produit des algorithmes capables d'estimer la mortalité potentielle même en l'absence de cadavres.

La même année, Huso et Dalthorp ont concentré l'une de leurs études sur la proportion de chauves-souris potentiellement tombée en dehors de l'aire de recherche<sup>(248)</sup>. Les auteurs ont testé 5 estimateurs, différant par leurs hypothèses, concernant la relation entre la densité en cadavre et la distance à l'éolienne. Ils ont conclu que l'estimateur divisant simplement le taux de mortalité observé par la fraction de l'aire prospectée surestime parfois largement la mortalité totale. En revanche, les estimateurs ne tenant pas compte de la distance par rapport à l'éolienne semblent être biaisés.

<sup>20</sup> Disponible sur: <http://internal.bio3.pt/demo/index.htm>

Rappel des paramètres nécessaires au calcul de mortalité		
Paramètres	Explications	Formule
C	Nombre de cadavres brut découverts sous les éoliennes	-
d	Taux de détection (efficacité de l'observateur)	= nombre de cadavres découverts par rapport au nombre de cadavres déposés pour le test
p brut	Probabilité moyenne de persistance des cadavres durant l'intervalle (jours)	= nombre de cadavres contrôlés par rapport au nombre de cadavres au départ
p selon Jones		= $\exp[-0,5 * (\min(I : \hat{I}) / tm)]$
P selon Huso		= $[tm * (1 - \exp(-\min(I : \hat{I}) / tm))] / \min(I : \hat{I})$
P selon Korner	Proportion de chauves-souris tuées non disparues en 24h	calculé d'après un modèle statistique (logiciel R), voir également site internet suivant : <a href="http://www.wildlifefatalityestimator.com/">http://www.wildlifefatalityestimator.com/</a>
tm	Durée moyenne de persistance (en jours)	= [(nombre de cadavres à j <sub>1</sub> * durée de l'intervalle j <sub>1</sub> ) + ((nombre de cadavres à j <sub>2</sub> * durée de l'intervalle j <sub>2</sub> ) + etc.] / nombre total de cadavres au départ
I	Intervalle moyen entre 2 visites	exemple = j <sub>2</sub> - j <sub>1</sub>
Ĥ	Intervalle effectif moyen	= - log(0,01) x tm
ê	Coefficient correcteur moyen de l'intervalle	= MIN (I : Ĥ) / I
a	Coefficient de correction surfacique (formule selon Arnett et al.)	$= \frac{\sum_{k'=1}^7 \frac{c_{k'}}{P_{k'} S_{k'}}}{\sum_{k'=1}^7 \frac{c_{k'}}{P_{k'}}$
n	Nombre de recherches	-

**Tableau 4 : Récapitulatif des différents coefficients et paramètres de mortalité**

Les propositions de traitements statistiques réalisées en 2013 par Bastos et al. <sup>(271)</sup> n'ont pas fait l'objet d'études détaillées dans le cadre de cette synthèse. On notera cependant qu'une étude de mortalité en Belgique <sup>(308)</sup> donnait des estimations de mortalité 2 à 4 fois supérieures avec la méthode Bastos comparée aux estimations avec la méthode Huso. Dans ces conditions, l'estimation proposée pour la mortalité potentielle même en l'absence de cadavres reste à prendre avec précaution.

## 9.2 - Annexe 2: le protocole national et ses limites

La législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement prévoit les éléments suivants (article 12 et point 3.7 de l'annexe 1 de l'arrêté du 26 août 2011) :

« 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. »

Le protocole national présenté ci-dessous<sup>21</sup>, en ce qui concerne les chiroptères, correspond à celui reconnu par le ministère en charge de l'écologie et le suivi mis en place par l'exploitant doit être conforme à ce protocole. Ce protocole guide aussi les modalités d'application de l'article R122-14 du code de l'environnement (modalités de suivi des effets du projet).

### Principe général

Le protocole national donne peu d'indication sur les protocoles à mettre en œuvre lors du suivi des chiroptères. Il renseigne seulement sur l'intensité du suivi à réaliser qui est définie selon :

- **Les indices de vulnérabilité** des espèces présentes sur le site ;
- **La significativité de l'impact résiduel** identifié lors de **l'étude d'impact**.

Le rapport de suivi environnemental se compose de tout ou partie des 4 suivis suivants en fonction des spécificités du site : suivi de l'évolution des habitats naturels, suivi de l'activité de l'avifaune, suivi de l'activité des chiroptères et suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères. Cela signifie que le suivi des chiroptères n'est pas obligatoire par défaut (malgré les risques d'attractivité).

Les indices de vulnérabilité sont déterminés pour chaque espèce par le croisement de deux paramètres :

- **L'enjeu de conservation** de l'espèce basé sur la liste rouge nationale ou sur une liste rouge régionale si elle existe et respecte les lignes directrices de l'UICN ;
- Et la **sensibilité** de l'espèce **à l'éolien** déterminée, pour les chiroptères, par 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.

Enjeux de conservation	Sensibilité à l'éolien				
	0	1	2	3	4
Espèce non protégée <sup>22</sup>	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

**Tableau 5 : Indice de vulnérabilité attribué aux espèces en fonction de leur enjeu de conservation et de leur sensibilité à l'éolien.**

MEDDE, 2015.

<sup>21</sup> Décision du 23 novembre 2015, NOR : DEVP15246355

<sup>22</sup> Valable pour les oiseaux seulement

A titre d'exemple, les indices de vulnérabilité obtenus pour chaque espèce en France, en Franche-Comté et dans la région Centre sont récapitulés dans le **Erreur ! Référence non valide pour un signet.**

**Tableau 6 : Détermination des niveaux de sensibilité pour les chiroptères en France, en région Centre et en Franche Comté.**

NA = non applicable, DD = données insuffisantes, LC = préoccupation mineure, NT = quasi menacée, VU = vulnérable, EN = en danger, CR = en danger critique

Nom latin	Liste rouge			Mortalité européenne observée <sup>(263)</sup>					Indice de vulnérabilité			
	France <sup>(264)</sup>	Centre <sup>(265)</sup>	Franche Comté <sup>(266)</sup>	0	1	2	3	4	% de la mortalité européenne connue	France	Centre	Franche Comté
				0	1 à 10	11 à 50	51 à 499	> 500				
<i>Barbastella barbastellus</i>	LC = 2	NT = 3	NT = 3		X				0,06	1,5	2	2
<i>Eptesicus nillssonii</i>	LC = 2		LC = 2			X			0,5	2		2
<i>Eptesicus serotinus/isabellinus</i>	LC = 2	LC = 2	LC = 2				X		5	2,5	2,5	2,5
<i>Hypsugo savii</i>	LC = 2	DD = 1	VU = 4				X		3	2,5	2	3,5
<i>Miniopterus Schreibersii</i>	VU = 4	NA = 1	VU = 4		X				0,1	2,5	1	2,5
<i>Myotis alcaethoe</i>	LC = 2	DD = 1	NT = 3	X					0	1	0,5	1,5
<i>Myotis bechsteinii</i>	NT = 3	DD = 1	NT = 3		X				0,01	2	1	2
<i>Myotis blythii</i>	NT = 3		CR = 5		X				0,09	2		3
<i>Myotis brandtii</i>	LC = 2	DD = 1	NT = 3		X				0,01	1,5	1	2
<i>Myotis capaccinii</i>	VU = 4			X					0	2		
<i>Myotis dasycneme</i>	NA = 1				X				0,04	1		
<i>Myotis daubentonii</i>	LC = 2	NT = 3	LC = 2		X				0,13	1,5	2	1,5
<i>Myotis emarginatus</i>	LC = 2	LC = 2	VU = 4		X				0,04	1,5	1,5	2,5
<i>Myotis escaleraei</i>	DD = 1			X					0	0,5		
<i>Myotis myotis</i>	LC = 2	LC = 2	VU = 4		X				0,07	1,5	1,5	2,5
<i>Myotis mystacinus</i>	LC = 2	NT = 3	LC = 2		X				0,06	1,5	2	1,5
<i>Myotis nattereri</i>	LC = 2	LC = 2	NT = 3	X					0	1	1	1,5
<i>Myotis punicus</i>	VU = 4			X					0	2		
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	DD = 1					X			0,5	1,5		
<i>Nyctalus leisleri</i>	NT = 3	NT = 3	LC = 2				X		6	3	3	2,5
<i>Nyctalus noctula</i>	NT = 3	NT = 3	LC = 2					X	16	3,5	3,5	3
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	LC = 2	LC = 2	LC = 2				X		4	2,5	2,5	2,5
<i>Pipistrellus nathusii</i>	NT = 3	NT = 3	NT = 3					X	14	3,5	3,5	3,5
<i>Pipistrellus pipistrellus/pygmaeus</i>	LC = 2	LC = 2	LC = 2					X	29	3	3	3
<i>Plecotus auritus</i>	LC = 2	DD = 1	LC = 2		X				0,1	1,5	1	1,5

<i>Plecotus austriacus</i>	LC = 2	LC = 2	LC = 2		X				0,1	1,5	1,5	1,5
<i>Plecotus macrobullaris</i>	DD = 1			X					0	0,5		
<i>Rhinolophus euryale</i>	NT = 3	VU = 4	CR = 5	X					0	1,5	2	2,5
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	NT = 3	NT = 3	EN = 5		X				0,01	2	2	3
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	LC = 2	NT = 3	NT = 3	X					0	1	1,5	1,5
<i>Rhinolophus mehelyi</i>	CR = 5				X				0,01	3		
<i>Tadarida teniotis</i>	LC = 2		NT = 3			X			0,6	2		2,5
<i>Vespertilio murinus</i>	DD = 1	NA = 1	LC = 2				X		2,0	2	2	2,5

Dans le protocole national, la sensibilité à l'éolien a été définie uniquement sur la base du nombre de cadavres retrouvés à travers l'Europe. Or, ce paramètre est fortement influencé par la densité des populations. Il est donc difficile de définir la sensibilité des espèces en prenant en compte ce seul critère, surtout pour les espèces relativement rares à l'échelle européenne. La notion de « rareté » est en revanche prise en compte par l'intégration du statut de conservation dans la détermination de l'indice de vulnérabilité. La pertinence de ce critère reste relative étant donné que les populations de chiroptères restent encore très mal connues. On remarque enfin que l'utilisation de listes rouges régionales peut faire baisser l'indice de vulnérabilité (ex : *Nyctalus noctula*).

Il faut noter que l'indice de vulnérabilité des espèces n'est pas cohérent avec la classification proposée par le rapport (cf. 3.1.3.4 - ). Par exemple, certaines espèces de murins (*Myotis bechsteinii*, *M. blythii*, *M. capaccinii*, etc.) et le Rhinolophe de Mehely possèdent un indice de vulnérabilité de 2 au niveau national tandis la classification proposée dans ce rapport considère ces groupes d'espèces comme faiblement sensibles à l'éolien. Cela montre le poids donné aux mauvais statuts de conservation (vulnérable pour *R. mehelyi* par exemple) sans tenir compte de la sensibilité réelle.

A l'inverse, les espèces du groupe des oreillards ont un indice de sensibilité de 0,5 à 1,5 alors que la classification proposée dans ce rapport les considère comme moyennement sensibles à l'éolien. Ceci est dû à de bon statut de conservation (préoccupation mineure pour l'oreillard gris et le roux) ou à un manque de donné pour l'Oreillard montagnard.

Néanmoins il ne faut pas seulement tenir compte des risques de collisions et prendre en compte des phénomènes d'aversion ou de modification/fragmentation des habitats.

Enfin on remarquera que la Pipistrelle de Nathusius ou la Noctule commune sont détectées dans presque toutes les études d'impact en particulier lorsque des mesures en altitude ont lieu.

Le suivi des effets du parc éoliens sur les chiroptères est composé d'un suivi de l'activité des chauves-souris et/ou d'un suivi de mortalité. Quel que soit l'indice de vulnérabilité des espèces et la significativité de l'impact résiduel, le suivi de mortalité des chauves-souris est toujours réalisé (même de façon sommaire par un simple autocontrôle<sup>23</sup> par l'exploitant), ceci n'est en revanche pas le cas pour le suivi d'activité.

Pour chaque type de suivi :

- Les indices de vulnérabilité ont été divisés en trois catégories suivant la présence d'au moins une espèce ayant un indice de vulnérabilité de 0,5 à 2 ou 2,5 à 3 ou 3,5 ;
- L'impact résiduel déterminé lors de l'étude d'impact a été divisé en deux classes : « faible ou non significatif » et « significatif ».

On peut questionner la pertinence de définir l'intensité de suivi en prenant en compte l'impact résiduel estimé lors de l'étude avant implantation du parc puisque ceci ne permet pas de considérer le potentiel attractif des éoliennes aujourd'hui avéré pour certaines espèces. Pour les chauves-souris, la variabilité des approches méthodologiques d'inventaire reste de plus importante dans les études d'impact avec pourtant des incidences notables de protocoles d'échantillonnage<sup>(302)</sup>.

### Suivi de l'activité

Pour le ministère, le suivi de l'activité permet « d'estimer l'impact des éoliennes sur les espèces présentes sur le site »<sup>(261)</sup>. Différentes modalités de suivi sont à réaliser suivant les indices de vulnérabilité des espèces présentes et la significativité de l'impact résiduel. Le Tableau 7 ci-dessous résume la méthodologie à appliquer pour chaque cas.

**Tableau 7 : Modalités de suivi de l'activité des chiroptères suivant l'indice de vulnérabilité des espèces présentes et la significativité de l'impact résiduel.**

MEDDE, 2015.

Au moins 1 espèce identifiée par l'étude d'impact présente un <b>indice de vulnérabilité</b> de niveau :	Impact résiduel <b>faible ou non significatif</b>	Impact résiduel <b>significatif</b>
0,5 à 2	Pas de suivi	Pas de suivi
2,5 à 3	Pas de suivi	<b>6 sorties/an</b> réparties sur les 3 saisons d'observation*. Répartition en fonction des enjeux identifiés dans l'étude d'impact.
3,5	<u>Transit et reproduction</u> : <b>9 sorties/an</b> réparties sur les 3 saisons d'observation*. Répartition en fonction des enjeux identifiés dans l'étude d'impact. <u>Swarming</u> si parc à proximité de sites connus : <b>3 passages</b> en période automnale Suivi de l' <u>hibernation</u> si parc à proximité de gîtes : suivi coordonné par l' <b>association locale</b>	Enregistrement <b>automatique en hauteur</b> sur les 3 saisons d'observation*

\*Printemps, été et automne

<sup>23</sup> Notion non définie

Le suivi de l'activité est demandé :

- Soit dans le cas où l'impact résiduel est significatif avec au moins une espèce avec un indice de vulnérabilité de > 2,5. On peut supposer dans ce cas qu'une demande de dérogation au titre de la législation sur les espèces protégées a eu lieu ce qui à notre connaissance est excessivement rare.
- Soit lorsque le site possède au moins une espèce un indice de vulnérabilité de 3,5 (en général Noctule commune ou Pipistrelle de Nathusius).

Pour les suivis au sol, aucune précision n'est apportée dans le protocole national en ce qui concerne l'utilisation d'une écoute active (pas de temps court) ou passive (nuits entières). La justification du nombre de sortie est inconnue.

La mesure de l'activité au niveau du sol apporte que très peu d'information sur le risque de collision ou de barotraumatisme des chauves-souris en altitude comme cela a pu être démontré dans ce rapport (l'activité au sol diffère de celle que l'on retrouve en altitude, aussi bien en nombre de contact qu'en espèces détectées). Rien n'est précisé quant aux niveaux d'alerte éventuels ou aux conclusions éventuelles à tirer de l'analyse. Rappelons que pour les chauves-souris la forte variabilité interannuelle ne permet pas la réalisation de véritables protocoles BACI.

L'enregistrement en altitude n'est préconisé uniquement pour les sites à fort enjeu. Le protocole ne précise pas si les détecteurs doivent être installés sur un mât de mesure ou en nacelle même si le 2<sup>e</sup> cas paraît évident si l'on veut tirer des enseignements. Là encore on peut supposer qu'une demande de dérogation au titre de la législation sur les espèces protégées a eu lieu avec des études particulières sur les mesures de réduction (bridage ?). Leur efficacité devrait être étudiée via le protocole.

### Suivi de la mortalité

Pour le ministère, le suivi de la mortalité permet de vérifier que les populations de chauves-souris présentes au niveau du parc éolien « ne sont pas affectées de manière significative par le fonctionnement des aérogénérateurs »<sup>(261)</sup>. Différentes modalités sont à réaliser suivant les indices de vulnérabilité des espèces présentes et la significativité de l'impact résiduel. Le Tableau 8 ci-dessous résume la méthodologie à appliquer pour chaque cas.

**Tableau 8 : Modalités de suivi de la mortalité des chiroptères suivant l'indice de vulnérabilité des espèces présentes et la significativité de l'impact résiduel.**

MEDDE, 2015.

Au moins 1 espèce identifiée par l'étude d'impact présente un <b>indice de vulnérabilité</b> de niveau :	Impact résiduel <b>faible ou non significatif</b>	Impact résiduel <b>significatif</b>
0,5 à 2	<b>Autocontrôle</b>	<b>Autocontrôle</b>
2,5 à 3	<b>Autocontrôle</b>	Contrôles <b>opportunistes</b> (série de 4 passages par éolienne par an à 3 jours d'intervalle en avril, mai, juin, aout <b>ou</b> septembre) ou suivi <b>indirect</b>
3,5	Contrôles <b>opportunistes</b> (série de 4 passages par éolienne par an à 3 jours d'intervalle en avril, mai, juin, aout <b>ou</b> septembre) ou suivi <b>indirect</b>	Suivi <b>direct</b> : 4 passages/mois entre mai et octobre ou suivi <b>indirect</b>

Dans les cas les moins à risque, le suivi de la mortalité se fait par un **autocontrôle** : lors de visites sur le parc, l'exploitant recense les données brutes de cadavres et renseigne la base de données du Muséum Nationale d'Histoire Naturelle. Cette démarche pose néanmoins plusieurs questions :

- L'exploitant **doit-il un rapport** à l'administration pour respecter l'arrêté du 26 août 2011 ?
- Dispose-t-il des compétences pour renseigner la base de données du Muséum Nationale d'Histoire Naturelle (existe-elle déjà ?)
- Quelles consignes donner aux sous-traitants ?
- Quelle interprétation donner en l'absence de protocole (aucune obligation en ce qui concerne la fréquence de ses passages)?

Dans les premières réflexions internes de la FEE, l'autocontrôle venait en complément des protocoles pour sensibiliser les acteurs. Ce n'est plus le cas aujourd'hui et, dans un contexte d'attractivité des parcs, l'autocontrôle ne fait pas sens.

Les sites présentant un risque intermédiaire font l'objet du même protocole. Il s'agit des sites avec un impact significatif sur des espèces bien sensibles en France comme la Pipistrelle commune (cf. Figure 10) ou des sites sans impact significatif avec au moins une espèce ayant un indice de vulnérabilité de 3,5 (en général Noctule commune ou Pipistrelle de Nathusius). Dans ce cas deux possibilités existent :

- La notion de **contrôles opportunistes** qui est défini dans le glossaire du protocole comme la réalisation d'une série de passage sur site (4 passages à 3 jours d'intervalle sur **un mois seulement**) permettant de fournir, sur cette période, « *un contrôle de mortalité ponctuel ne relevant pas d'un suivi de mortalité selon un protocole plus conséquent (fréquence et durée des passages plus importantes). Les contrôles opportunistes ne permettent pas d'évaluer les niveaux de mortalité mais peuvent apporter des indications sur ces cas de mortalité* ». Il s'agit donc d'une vision a minima peu exploitable qui ne fournira que des cas épars sans logique d'évaluation des risques du parc et donc sans enjeu sur une régulation éventuelle. Eventuellement on choisira les mois d'août ou septembre qui sont les plus risqués mais si l'exploitant le préfère il choisira avril pour être quasiment sûr de n'avoir aucun cas de mortalité. Le protocole n'est en tout état de cause pas suffisant pour évaluer correctement l'impact des éoliennes sur les chiroptères.
- **Le contrôle indirect** qui n'est pas défini du tout dans le protocole, mais on peut supposer qu'il s'agit d'un suivi en nacelle permettant de déduire des mortalités (cf. 4.2.4 - )4.2.4 -

Dans le cas où l'impact résiduel est significatif, avec un site qui possède au moins une espèce un indice de vulnérabilité de 3,5 (en général Noctule commune ou Pipistrelle de Nathusius), le contrôle opportuniste a lieu chacun des six mois (mai à octobre) de la période à risque ou à nouveau par un contrôle indirect.

Le protocole demande de fournir dans le rapport des données brutes et une analyse des biais et des résultats. Pour les contrôles opportunistes sur un mois seulement, les biais sont tels **que l'analyse des résultats n'est pas envisageable**. Pour les cas où l'impact a été considéré comme significatif seulement<sup>24</sup>, le protocole demande une évaluation standardisée de mortalité par an et par éolienne :

- Dans le cas d'un passage opportuniste sur un mois seulement ce n'est tout simplement pas faisable
- Dans le cas d'un passage opportuniste sur six mois, on regrettera que le protocole mette toujours en avant la formule de Winkelmann et ne retienne pas les derniers travaux comme la méthode de Korner-Nievergelt (<sup>102</sup>).
- Dans le cas d'un suivi indirect en nacelle il n'y a pas de correctif à apporter mais les conditions du suivi doivent être suffisamment adaptées pour permettre l'utilisation des algorithmes.

---

<sup>24</sup> Ce qui, rappelons le, implique une dérogation au titre de la législation sur les espèces protégées.

A l'évidence la qualité du protocole national choisi par le ministère<sup>25</sup> ne permet pas de répondre aux objectifs réglementaires. Il faut néanmoins rappeler que les modalités préconisées correspondent à un minimum obligatoire que les exploitants de parcs éoliens peuvent adapter pour aller au-delà (en particulier pour l'autocontrôle).

Vu que la France comprend plusieurs milliers de mâts installés et beaucoup d'autres en prévision, il faut reconnaître que l'application stricte des protocoles définis en annexe 1 sur l'ensemble des parcs serait trop coûteuse. Néanmoins le protocole proposé permet certes un coût très réduit mais avec des résultats inadaptés à la problématique telle qu'exposée dans cette étude.

Il paraîtrait plus intéressant de cibler la période mortalité principale (août à octobre<sup>26</sup>) et de viser un passage par semaine en tenant compte des interprétations et de leurs limites selon les estimateurs et les publications de Korner-Nievergelt *et al.* (<sup>102, 120</sup>).

## Interprétation par les services ICPE

Le suivi environnemental intervient après l'étude d'impact et l'autorisation du projet (avec ses conditions éventuelles). Sur le principe le suivi post-implantation n'a de sens que s'il débouche sur quelque chose : une amélioration valorisable des connaissances ou une meilleure régulation de l'activité par les services ICPE.

Le suivi peut ainsi confirmer que les règles imposées dans l'autorisation sont satisfaisantes au regard des objectifs ou au contraire qu'il faut envisager une éventuelle évolution de la régulation de l'activité des éoliennes sur un site.

Des inspections de l'administration des ICPE ou l'analyse des rapports fournis par l'exploitant du parc peuvent ainsi engendrer des modifications des conditions d'exploitation définies par les arrêtés préfectoraux d'autorisation, sous réserve de ne pas affecter de façon notable l'équilibre économique du projet. C'est in fine le préfet qui prend cette décision sur la base du travail des inspecteurs des installations classées (au besoin conseillé par le service milieux naturels des DREAL).

Il est difficile d'imaginer avec le protocole national actuel que l'inspection des ICPE puisse réaliser leurs missions :

- Une partie des modalités proposées ne permet pas d'analyse des résultats
- Lorsque le suivi de mortalité direct est correctement réalisé, il n'est pas possible pour autant de disposer des paramètres permettant l'étude d'une régulation. Pour cela il faut obligatoirement un suivi en nacelle de façon à pouvoir corréler facteurs météorologiques, mortalité et coûts
- Aucune information n'est fournie sur la notion de suivi indirect.

Dans ces conditions la charge financière que doivent supporter les exploitants pour la mise en œuvre du suivi ne permet en aucune manière de déboucher sur des résultats exploitables. L'esprit des textes réglementaires est ainsi dénaturé.

---

<sup>25</sup> Sur proposition de la FEE qui est tout de même juge et partie dans ce cas

<sup>26</sup> Ces dates ne tiennent pas compte des oiseaux pour lesquels on dispose de peu d'informations de synthèse sur les dates de mortalité.

### 9.3 - Annexe 3 : Mortalité en Europe - échantillon d'études

Nombre en **bleu** : directement donné par l'auteur

Nombre en **rouge** : calculé à partir des données de l'auteur

Soulignement simple : prise en compte de facteur(s) de correction

Soulignement double : pas d'ajustement

Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
ABIES (9)	Parc éolien de Roquetaillade, Languedoc-Roussillon, France. 2009	Mi mai à fin septembre 2009	22 éoliennes (WT)  H= 81 m G= 29 m  6 WT  H= ? G= ?	Recherche de cadavres sur 28 WT  Aire de recherche des cadavres : ?  Fréquence des recherches : ?  Moment de la recherche : ?  Formule de correction des biais : ?	<b>30 cadavres</b> : <i>Hypsugo savii</i> (17), <i>Pipistrellus pygmaeus</i> (6), <i>Pipistrellus pipistrellus</i> (5), 1 <i>Pipistrellus sp.</i> ( <i>natusii</i> ou <i>pygmae</i> ) et 1 non identifié.  <i>Hypsugo savii</i> (53,3%) et groupe des pipistrelles (46,7%).	1,07
ABIES (9)	Parc éolien de Néviau, Languedoc-Roussillon, France.	3 mois	H= ?	Recherche de cadavres sur 21 éoliennes  Aire de recherche des	<b>3 cadavres</b> : 1 <i>Hypsugo savii</i> , 1 <i>Pipistrellus pipistrellus</i> , 1 <i>Nyctalus leisleri</i> .	—

Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
	2009		G=?	cadavres : ? Fréquence des recherches : ? Moment de la recherche : ?		
AVES Environnement & Groupe Chiroptères de Provence (108)	Parc éolien de Mas de Leuze Saint-Martin-de-Crau, Provence-Alpes-Côte d'Azur, France. 2009	17 Mars au 27 Novembre 2009	H= ? G=?	Recherche de cadavres sur 9 WT Aire de recherche des cadavres : carré de 100m x 100m Fréquence des recherches : ? <b>Moment de la recherche :</b> juste après le lever du soleil, par une personne Formule de correction des biais : ?	103 cadavres 93 % Pipistrellus (pour la plupart des Pipistrellus pygmaeus), Pipistrellus kuhlii, natusii and pipistrellus, Eptesicus serotinus, Tadarida teniotis, Nyctalus leisleri et Myotis emarginatus. 84 % du nombre total des cadavres retrouvés entre le 1er Juillet et le 30 Septembre dont beaucoup à la seconde moitié du mois d'Aout (30 cadavres) La plupart des chauves-souris étaient des adultes (82%) et des femelles (85%)	11,44 79,3
Behr O., et Helversen O. (118)	Parcs éoliens du Bad-Württemberg, Allemagne. 2005	27 Avril au 15 octobre 2005	H= 133 m	Recherche de cadavres sur 4 WT Aire de recherche des cadavres : aire de 1,17ha sous chaque WT	<b>31 cadavres:</b> 23 Pipistrellus pipistrellus, 4 Nyctalus leisleri et 4 Pipistrellus sp.	7,75

Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
			G= 63 m	<b>Fréquence des recherches:</b> 3jours/semaine du 27 avril au 30Juin puis 2fois/semaine du 1er Juillet au 15 octobre (77jours au total)  Durée de la recherche: 30 à 50mn	Le nombre de chauves-souris tuées estimé après correction des biais est de 126 soit 0,18 chauves-souris tuées/WT/nuit	31,5
Brinkmann R. (117)	Plusieurs parcs du district de Fribourg, Allemagne. 2004	Aout 2004 à Octobre 2005	H= 100 à138 m G= 40 à 59 m	<b>Recherche de cadavres</b> sur 15 WT en 2004 et 8 en 2005  Aire de recherche des cadavres : carré de 100m x 100m  <b>Fréquence des recherches:</b> 18 passages en 2004 et 30 entre mi juillet et mi octobre 2005  Durée de la recherche: 30 à 50mn	40 cadavres (2004)  10 cadavres (2005)  Mortalité totale: 39 Pipistrellus pipistrellus, 8 Nyctalus leisleri, 2 Vespertilio murinus et 1 Eptesicus serotinus.  Pas de différence entre les jeunes et les adultes	2,5 (2004)  1,25 (2005)  <u>20,9</u> (2004)  <u>11,8</u> (2005)
Dulac (7)	Parc éolien de Bouin, Vendée, Pays de la Loire, France. 2006	Septembre 2006 à septembre 2007	H= 102 m G= 22 m	Recherche de cadavres sur 8 WT  Aire de recherche des cadavres : carré de 100x100m  Fréquence des recherches: 1 x/semaine	77 cadavres  Eptesicus serotinus (2,6%) Nyctalus noctula (7,8%) Pipistrellus nathusii (45,5%),  Pipistrellus sp. (22,1%)Pipistrellus pipistrellus (19,5%) et Pipistrellus kuhlii (2,6%).	6,0 à 26,7

Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
				Formule de correction des biais : Winkelmann	Sur 5ans, le groupe des Pipistrelles représente 90% de la mortalité totale	
Niermann et al. (123)	Plusieurs parcs en Allemagne. 2007	du 19 Juillet 2007 au 30 Septembre 2008	H= ? G = ?	<b>Recherche de cadavres</b> sur 12 WT de 4 parcs en 2007 et 18 Wt de 5 parcs en 2008  <b>Aire de recherche des cadavres</b> : transects sur une aire de 100m x 100m  Durée de la recherche: 0,75h / éolienne  Formule de correction des biais : Winkelmann	620 cadavres en 2007 et 1433 cadavres en 2008.  88% of Pipistrellus nathusii, Nyctalus noctula, Pipistrellus pipistrellus et Nyctalus leisleri.  Presence de Eptesicus serotinus, Vespertilio murinus, Plecotus auritus.	9,5
Camina A. (129)	56 parcs éolien à La Rioja, Soria and Aragon, Spain. 2012	2000 à 2012	H=? G=?	Recherche de cadavres protocole très variés	147 cadavres  Pipistrellus pipistrellus (59%), P. kuhlii (14%), Hypsugo savii (18%), Barbastella barbastellus, Nyctalus lasiopterus, N. leisleri and Tadarida teniotis (< 5% chacune).	0 à 0,8
Leuzinger et al. (60)	2 régions vallonnées de Suisse. 2008	Juin à Octobre 2008	H= 30,8 à 112 m G= 18 à 67 m	<b>Recherche des cadavres</b> sur 5 WT de taille moyenne à grande  Aire de recherche des cadavres : circulaire 40m de diamètre  Fréquence des recherches: 10 fois par éolienne	<b>2 cadavres</b> : 1 Nyctalus leisleri, 1 Pipistrellus pipistrellus	8,2

Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
Cornut et Vincent (107)	Parc de la Répara et du Pouz, Rhône-Alpes, France. 2010	5 Mai au 20 Octobre 2010	H= 130 m G= 40 m	Recherche de cadavre sur 2 WT/parc  Aire de recherche des cadavres : 100 x 100m  <b>Fréquence des recherches :</b> tous les jours jusqu'au 11 Aout puis tous les deux jours  (71 recherches à La Répara et 48 au Pouzin)  Moment de la recherche: au lever du soleil  Formule pour correction des biais: Winkelmann, Erickson, Jones and Huso	<b>48 cadavres:</b> Pipistrellus pipistrellus and Pipistrellus kuhlii (9), Hypsugo savii (7),  Nyctalus leisleri (5), Pipistrellus nathusii (2), Nyctalus noctula (2), Pipistrellus pygmae (1),  Miniopterus schreibersii (1), Eptesicus serotinus (1)  77% d'adultes	79 à 87 (La Répara)  44 à 76 (Pouzin)
Georgiakakis P. et al. (130)	9 parcs éoliens au Nord Est de la Grèce. 2012	Aout 2009 à Juillet 2010	H= 87,5 m  G= 16,5 m	Recherche des cadavres sur 88 WT  <b>Aire de recherche des cadavres :</b> cercle en voiture autour de l'éolienne, le reste de l'aire prospecté à pied  <b>Fréquence des recherches:</b> 5-6 jours/semaine sauf du 24/12/2009 au 11/03/2010 : 20jours seulement	<b>181 cadavres and 2 chauves-souris blessées:</b> Nyctalus leisleri (n = 56), Pipistrellus pipistrellus/P. pygmaeus (53), P. nathusii (35), Hypsugo savii (23) and N. noctula (10)  Taux de mortalité élevé de Juin à Septembre. La plupart des cadavres était des mâles adultes. Mortalité corrélée positivement avec la hauteur	2,08



Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
			G= 45 m	2011 : du 18/05 au 30/09 : 1x/semaine en Mai, 2x/semaine en Juin, Juillet, Aout et Septembre  2012 : tous les jours sous 2 éoliennes.  Correction des biais : Jones	2011 : bridage à 5,5 m/s et suppression des lumières de sécurité : <b>3 cadavres</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i> (2) <i>Pipistrellus</i> <i>kuhlii</i> (1)  2012 : bridage de 2 éoliennes et différents détecteurs dans les nacelles : <b>4 cadavres</b> : <i>Pipistrellus pipistrellus</i> sous ces éoliennes	
Oikon Ltd (289)	Njivice, Spilt-Dalmatia, County, Croatie. 2014	Mars à Octobre 2013	H= 76,9 m G= 35,9 m	Recherche de cadavre sur 20 WT  <b>Aire de recherche des cadavres</b> : 70m autour de l'éolienne dans l'aire de maximum de visibilité  <b>Fréquence des recherches</b> : 2x/mois pendant 2-3jours consécutifs	<b>148 cadavres</b> : <i>Hypsugo savii</i> (35), <i>Pipistrellus kuhlii</i> (50) <i>Pipistrellus</i> <i>nathusii</i> (3) <i>Tadarida teniotis</i> (1), <i>Vespertilio murinus</i> (7) <i>Pipistrellus</i> sp. (22) <i>Pipistrellus</i> sp./ <i>Hypsugo savii</i> (15) <i>Chiroptera</i> sp. (15)	11,1
Roux <i>et al.</i> (199)	Parc éolien de Bollène (84), France. 2013	Mai 2009 à Juillet 2012	3 WT  H= 80 m G= 35 m	Recherche de cadavre sur 3 WT  Aire de recherche des cadavres : carré de 150m de coté  Fréquence des recherches : quotidienne  Moment de la recherche: premières heures du jour	3 cadavres	1,76 à 2,14

Auteur et n° de citation	Lieu et date de l'étude	Période d'étude	Type d'éolienne	Méthode de suivi	Résultats	Nombre de chauves-souris tuées/éolienne/an
				Formule de correction des biais : Jones et Huso		
Guegnard & Condette (198)	4 parcs en Vendée, Pays de la Loire, France. 2009			Recherche de cadavre sur 18 éoliennes Aire de recherche des cadavres : carré de 1 ha Fréquence des recherches : 1x/semaine Formule de correction des biais : Winkelmann, Jones, Huso	<b>160 cadavres</b> : Pipistrellus nathusii (52), Pipistrellus pipistrellus (49), Pipistrellus sp. (25), Pipistrellus kuhlii (14), Nyctalus noctula (8), Chiroptera sp.(5), Eptesicus serotinus (3), Nyctalus leislerii (2), Pipistrellus kuhlii/nathusius (2)	1,3 à 10,9 suivant le parc

## 9.4 - Annexe 4 : Nombre de cas de mortalité en Europe

Source : T. Dürr, 16/12/2015. <http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>

Espèce	A	BE	CH	CR	CZ	D	E	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	P	PL	S	UK	Total
Pipistrellus pipistrellus	2	9			3	540	211			373	24	1		14		202	3	1	2	1385
Nyctalus noctula	46				3	963	1			12	10					1	16	1		1053
P. nathusii	13			3	2	773				80	34	2	23	7			16	5		958
Chiroptera spec.	1	11		15		57	320	1		285	8	1				91	3	30	8	831
N. leislerii			1		1	137	19			49	58	2				152	5			424
Pipistrellus spec.	8			37	2	63	25			182	2		2			83	2		1	407
P. pipistrellus / pygmaeus	1		1			3	271			23	26					29	1			355
P. kuhlii				54			44			117						26				241
Hypsugo savii	1			39		1	50			32	28	10				35				196
P. pygmaeus	4					73				71	5		1			24	1	1	1	181
Vespertilio murinus	2			7	2	110				1	1		1				7	1		132
E. isabellinus							117									1				118
E. serotinus / isabellinus							98									13				111
Eptesicus serotinus	1				7	54	2			16	1			1		3	3			88
Tadarida teniotis				1			23			2						11				37
E. nilssonii	1					3		2	6				13		1		1	8		35
N. lasiopterus							21			5	1					5				32
Nyctalus spec.							2									16				18
M. daubentonii						7										2				9

Espèce	A	BE	CH	CR	CZ	D	E	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	P	PL	S	UK	Total
<i>Miniopterus schreibersi</i>							2			4						3				9
<i>Plecotus austriacus</i>	1					6														7
<i>P. auritus</i>						7														7
<i>M. blythii</i>							6													6
<i>Myotis myotis</i>						2	2			1										5
<i>M. mystacinus</i>						2					2									4
<i>Myotis spec.</i>						1	3													4
<i>Barbastella barbastellus</i>						1	1			2										4
<i>M. dasycneme</i>						3														3
<i>M. emarginatus</i>							1			2										3
<i>M. bechsteini</i>										1										1
<i>M. brandtii</i>						1														1
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>							1													1
<i>R. mehelyi</i>							1													1
<i>Rhinolophus spec.</i>							1													1
Total	81	20	2	156	20	2807	1222	3	6	1258	200	16	40	22	1	697	58	47	12	6668

A = Autriche, BE = Belgique, CH = Suisse, CR = Croatie, D = Allemagne, E = Espagne, EST = Estonie, FI = Finlande, FR = France, GR = Grèce, IT = Italie, LV = Lettonie, NL = Pays Bas, N = Norvège, P = Portugal, PL = Pologne, S = Suède, UK = Grand Bretagne

## 9.5 - Annexe 5 : base de données techniques sur les éoliennes (échantillon)

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
1	Enercon E48	0,8 MW	48	50	74	26	3	2.413	Oui
2	Enercon E48	0,8 MW	48	60	84	36	3	2.413	Oui
3	Enercon E48	0,8 MW	48	65	89	41	3	2.413	Oui
4	Enercon E48	0,8 MW	48	76	100	52	3	2.413	Oui
5	Enercon E53	0,8 MW	52	50	76	24	2	1.947	Oui
6	Enercon E53	0,8 MW	52	60	86	34	2	1.947	Oui
7	Enercon E53	0,8 MW	52	73	99	47	2	1.947	Oui
8	Enercon E44	0,9 MW	44	45	67	23	3	2.027	Oui
9	Enercon E44	0,9 MW	44	55	77	33	3	2.027	Oui
10	Enercon E70	2,3 MW	71	57	92,5	21,5	2	1.980	Oui
11	Enercon E70	2,3 MW	71	64	99,5	28,5	2	1.980	Oui
12	Enercon E82	3 MW	82	69	110	28	3	2.641	Oui
13	Enercon E82	3 MW	82	78	119	37	3	2.641	Oui
14	Enercon E126	7,58 MW	127	135	198,5	71,5	3	5.278	Oui
15	Vestas V52/850	0,85 MW	52	40	66	14	4	2.478	?
16	Vestas V52/850	0,85 MW	52	44	70	18	4	2.478	?
17	Vestas V80/2000	2 MW	80	60	100	20	4	4.524	?
18	Vestas V80/2000	2 MW	80	67	107	27	4	4.524	?
19	Vestas V90/3000	3 MW	90	65	110	20	3,5	4.559	?

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
20	Vestas V90/3000	3 MW	90	105	150	60	3,5	4.559	?
21	Nordex N90/2500 IECI	2,5 MW	90	65	110	20	3	5.460	?
22	Nordex N90/2500 IECI	2,5 MW	90	80	125	35	3	5.460	?
23	Nordex N100/2500 IECII	2,5 MW	99,8	75	124,9	25,1	3	6.258	?
24	Nordex N100/2500 IECII	2,5 MW	99,8	100	149,9	50,1	3	6.258	?
25	Nordex N117/2400 IECIII	2,4 MW	116,8	91	149,4	32,6	3	6.697	?
26	Nordex N117/2400 IECIII	2,4 MW	116,8	141	199,4	82,6	3	6.697	?
27	Nordex N100/3300	3,3 MW	99,8	75	124,9	25,1	3,5	5.867	?
28	Nordex N100/3300	3,3 MW	99,8	100	149,9	50,1	3,5	5.867	?
29	Nordex N117/3000	3,0 MW	116,8	91	149,4	32,6	3	7.054	?
30	Nordex N117/3000	3,0 MW	116,8	120	178,4	61,6	3	7.054	?
31	Gamesa G52/850	0,85 MW	52	44	70	18	4	2.867	?
32	Gamesa G58/850	0,85 MW	58	44	73	15	3	3.567	?
33	Gamesa G58/850	0,85 MW	58	55	84	26	3	3.215	?
34	Gamesa G80/2000	2 MW	80	60	100	20	4	3.770	?
35	Gamesa G80/2000	2 MW	80	100	140	60	4	3.770	?
36	Gamesa G90/2000	2 MW	90	55	100	10	3	4.771	?

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
37	Gamesa G90/2000	2 MW	90	78	123	33	3	4.771	?
38	Nordex N90/2500 IECI	2,5 MW	90	70	115	25	3	5.460	?
39	Nordex N100/2500 IECII	2,5 MW	99,8	80	129,9	30,1	3	6.258	?
40	Nordex N117/2400 IECIII	2,4 MW	116,8	120	178,4	61,6	3	6.697	?
41	Nordex N100/3300	3,3 MW	99,8	85	134,9	35,1	3,5	5.867	?
42	Nordex N131/3000	3,0 MW	131	99	164,5	33,5	3	7.301	?
43	Nordex N131/3000	3,0 MW	131	114	179,5	48,5	3	7.301	?
44	Vestas V90-1,8	1,8 MW	90	80	125	35	3,5	4.771	Oui
45	Vestas V90-2,0	2 MW	90	80	125	35	2,5	4.771	Oui
46	Vestas V90-1,8	1,8 MW	90	95	140	50	3,5	4.771	Oui
47	Vestas V90-2,0	2 MW	90	95	140	50	2,5	4.771	Oui
48	Vestas V90-1,8	1,8 MW	90	105	150	60	3,5	4.771	Oui
49	Vestas V90-2,0	2 MW	90	105	150	60	2,5	4.771	Oui
50	Vestas V100-1,8	1,8 MW	100	80	130	30	3	6.087	Oui
51	Vestas V100-1,8	1,8 MW	100	95	145	45	3	6.087	Oui
52	Vestas V100-1,8	1,8 MW	100	120	170	70	3	6.087	Oui
53	Gamesa G80/2000	2 MW	80	67	107	27	4	3.770	?
54	Gamesa G80/2000	2 MW	80	78	118	38	4	3.770	?
55	Gamesa G87/2000	2 MW	87	78	121,5	34,5	4	4.459	?

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
56	Gamesa G87/2000	2 MW	87	90	133,5	46,5	4	4.459	?
57	Gamesa G90/2000	2 MW	90	90	135	45	3	4.771	?
58	Gamesa G97/2000	2 MW	97	78	126,5	29,5	3	5.912	?
59	Gamesa G97/2000	2 MW	97	90	138,5	41,5	3	5.912	?
60	Gamesa G97/2000	2 MW	97	100	148,5	51,5	3	5.912	?
61	Gamesa G97/2000	2 MW	97	104	152,5	55,5	3	5.912	?
62	Gamesa G97/2000	2 MW	97	120	168,5	71,5	3	5.912	?
63	Gamesa G114/2000	2 MW	114	80	137	23	0	6.635	?
64	Gamesa G114/2000	2 MW	114	93	150	36	0	6.635	?
65	Gamesa G114/2000	2 MW	114	106	163	49	0	6.635	?
66	Gamesa G114/2000	2 MW	114	125	182	68	0	6.635	?
67	Gamesa G106/2500	2,5 MW	106	72	125	19	0	5.663	?
68	Gamesa G106/2500	2,5 MW	106	80	133	27	0	5.663	?
69	Gamesa G106/2500	2,5 MW	106	93	146	40	0	5.663	?
70	Gamesa G114/2500	2,5 MW	114	80	137	23	0	6.550	?
71	Gamesa G114/2500	2,5 MW	114	93	150	36	0	6.550	?
72	Gamesa G114/2500	2,5 MW	114	125	182	68	0	6.550	?
73	Gamesa G126/2500	2,5 MW	126	84	147	21	0	7.377	?
74	Gamesa G126/2500	2,5 MW	126	102	165	39	0	7.377	?
75	Gamesa G126/2500	2,5 MW	126	129	192	66	0	7.377	?
76	Gamesa G132/3300	3,3 MW	132	84	150	18	0	7.778	?

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
77	Gamesa G132/3300	3,3 MW	132	97	163	31	0	7.778	?
78	Gamesa G132/3300	3,3 MW	132	114	180	48	0	7.778	?
79	Gamesa G132/3300	3,3 MW	132	134	200	68	0	7.778	?
80	Gamesa G52/850	0,85 MW	52	55	81	29	4	2.584	?
81	Gamesa G52/850	0,85 MW	52	65	91	39	4	2.584	?
82	Gamesa G58/850	0,85 MW	58	60	89	31	3	3.215	?
83	Gamesa G58/850	0,85 MW	58	65	94	36	3	3.215	?
84	Gamesa G52/850	0,85 MW	52	71	97	45	4	2.584	?
85	Gamesa G58/850	0,85 MW	58	71	100	42	3	3.215	?
86	Enercon E70	2,3 MW	71	75	110,5	39,5	2	1.980	Oui
87	Enercon E70	2,3 MW	71	85	120,5	49,5	2	1.980	Oui
88	Enercon E70	2,3 MW	71	98	133,5	62,5	2	1.980	Oui
89	Enercon E70	2,3 MW	71	114	149,5	78,5	2	1.980	Oui
90	Enercon E82	2 MW	82	78	119	37	2	2.641	Oui
91	Enercon E82	2 MW	82	84	125	43	2	2.641	Oui
92	Enercon E82	2 MW	82	85	126	44	2	2.641	Oui
93	Enercon E82	2 MW	82	98	139	57	2	2.641	Oui
94	Enercon E82	2 MW	82	108	149	67	2	2.641	Oui
95	Enercon E82	2 MW	82	138	179	97	2	2.641	Oui
96	Enercon E82	2,3 MW	82	78	119	37	2	2.641	Oui
97	Enercon E82	2,3 MW	82	84	125	43	2	2.641	Oui

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
98	Enercon E82	2,3 MW	82	85	126	44	2	2.641	Oui
99	Enercon E82	2,3 MW	82	98	139	57	2	2.641	Oui
100	Enercon E82	2,3 MW	82	108	149	67	2	2.641	Oui
101	Enercon E82	2,3 MW	82	138	179	97	2	2.641	Oui
102	Enercon E82	2,35 MW	82	59	100	18	2	2.641	Oui
103	Enercon E82	2,35 MW	82	69	110	28	2	2.641	Oui
104	Enercon E82	2,35 MW	82	78	119	37	2	2.641	Oui
105	Enercon E82	2,35 MW	82	84	125	43	2	2.641	Oui
106	Enercon E82	3 MW	82	84	125	43	3	2.641	Oui
107	Enercon E92	2,35 MW	92	78	124	32	2	2.770	Oui
108	Enercon E92	2,35 MW	92	84	130	38	2	2.770	Oui
109	Enercon E92	2,35 MW	92	85	131	39	2	2.770	Oui
110	Enercon E92	2,35 MW	92	98	144	52	2	2.770	Oui
111	Enercon E92	2,35 MW	92	104	150	58	2	2.770	Oui
112	Enercon E92	2,35 MW	92	108	154	62	2	2.770	Oui
113	Enercon E92	2,35 MW	92	138	184	92	2	2.770	Oui
114	Enercon E101	3,05 MW	101	99	149,5	48,5	2	2.671	Oui
115	Enercon E101	3,05 MW	101	124	174,5	73,5	2	2.671	Oui
116	Enercon E101	3,05 MW	101	135	185,5	84,5	2	2.671	Oui
117	Enercon E101	3,05 MW	101	149	199,5	98,5	2	2.671	Oui
118	Enercon E101	3,5 MW	101	74	124,5	23,5	2	2.671	Oui

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pôle (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
119	Enercon E115	3 MW	115,7	92	149,85	34,15	2	3.505	Oui
120	Enercon E115	3 MW	115,7	122	179,85	64,15	2	3.505	Oui
121	Enercon E115	3 MW	115,7	135	192,85	77,15	2	3.505	Oui
122	Enercon E115	3 MW	115,7	149	206,85	91,15	2	3.505	Oui
123	Enercon E126	4,2 MW	127	135	198,5	71,5	3	3.167	Oui
124	Vestas V90/3000	3 MW	90	80	125	35	3,5	4.559	?
125	Vestas V80/2000	2 MW	80	80	120	40	4	4.524	?
126	Vestas V80/2000	2 MW	80	100	140	60	4	4.524	?
127	Vestas V52/850	0,85 MW	52	49	75	23	4	2.478	?
128	Vestas V52/850	0,85 MW	52	55	81	29	4	2.478	?
129	Vestas V52/850	0,85 MW	52	60	86	34	4	2.478	?
130	Vestas V52/850	0,85 MW	52	65	91	39	4	2.478	?
131	Vestas V52/850	0,85 MW	52	74	100	48	4	2.478	?
132	Vestas V52/850	0,85 MW	52	86	112	60	4	2.478	?
133	Senvion M82/2050	2,05 MW	82	59	100	18	3,5	3.741	?
134	Senvion M82/2050	2,05 MW	82	69	110	28	3,5	3.741	?
135	Senvion M92/2050	2,05 MW	92	64,75	110,8	18,8	3	4.155	?
136	Senvion M92/2050	2,05 MW	92	68,5	114,5	22,5	3	4.155	?
137	Senvion 3.0M122	3 MW	122	139	200	78	3	5.455	?
138	Senvion 3.4M104	3,4 MW	104	73	125	21	3,5	2.478	?
139	Senvion 3.4M104	3,4 MW	104	80	132	28	3,5	2.478	?

N° du modèle	Marque et modèle	Puissance nominale	Diamètre du rotor (m)	Hauteur du mât (m)	Hauteur en bout de pale (m)	Garde au sol (m)	Vitesse de vent au démarrage (m/s)	Surface (m <sup>2</sup> ) parcourue par une pale en 5 secondes au cut-in-speed	Possibilité de mise en drapeau des pales
140	Senvion 6M126	6,15 MW	126	100	163	37	3,5	8.001	?
141	Senvion 6M126	6,15 MW	126	114	177	51	3,5	8.001	?
142	Senvion 3.0M122	3 MW	122	119	180	58	3	5.455	?
143	Senvion 3.0M122	3 MW	122	89	150	28	3	5.455	?
144	Senvion 6M152	6,15 MW	152	100	176	24	3,5	9.678	?
145	Senvion 3.4M104	3,4 MW	104	100	152	48	3,5	2.478	?
146	Senvion M82/2050	2,05 MW	82	80	121	39	3,5	3.741	?
147	Senvion M92/2050	2,05 MW	92	80	126	34	3	4.155	?
148	Senvion M92/2050	2,05 MW	92	100	146	54	3	4.155	?
149	Senvion MM100	2 MW	100	76,5	126,5	26,5	3	4.581	?
150	Senvion MM100	2 MW	100	80	130	30	3	4.581	?
151	Senvion MM100	2 MW	100	100	150	50	3	4.581	?
152	Senvion 6M152	6,15 MW	152	124	200	48	3,5	9.678	?

## 9.6 - Annexe 6 : Algorithme RENEBAT.

**Etape 1 :** Formatage des données, les paramètres mesurés doivent être exprimés par intervalle de 10mn.

- L'**activité des chauves-souris** correspond au nombre d'enregistrements acoustiques par intervalle de 10mn, indépendamment du nombre de cris et des espèces considérées
- La **vitesse du vent** correspond à la vitesse moyenne par intervalle de 10 mn exprimée en m/s
- Le **rendement** de l'éolienne correspond au rendement moyen par intervalle de 10 mn exprimé en kW

Les nuits sont réparties en 10 intervalles égaux du coucher au lever de soleil. Le coucher de soleil prend la valeur 0 et le lever de soleil la valeur 1. La distribution des intervalles de nuit se fait par des pas de 0,1. Si plus de 2% de l'activité totale est comprise dans l'intervalle de crépuscule (ICrép=15% de la durée de la nuit avant le coucher de soleil), cet intervalle doit être pris en compte dans l'algorithme.

Les **mois** de l'année sont définis par leur numero : de 3 pour le mois de Mars à 11 pour Novembre.

L'**heure de la nuit** se calcule de la façon suivante :

$$\text{Heure de la nuit} = \frac{\text{Heure réelle au début de l'intervalle de 10mn} - \text{Heure réelle du coucher du soleil (mn)}}{\text{Lever du soleil} - \text{coucher du soleil (mn)}}$$

Exemple 1 : pour la nuit du 22/05 au 23/05/2016.

Heure de début de l'intervalle le 22/05	21 : 50
Heure du coucher du soleil le 22/05	21 : 16
Heure du lever du soleil le 23/05	06 : 12

$$\text{Heure de la nuit} = \frac{21 : 50 - 21 : 16}{06 : 12 - 21 : 16} = \frac{34 \text{ min}}{536 \text{ min}} = 0,0634$$

Le **nombre d'intervalles de 10mn par nuit** (nZI) se calcule de la façon suivante :

$$nZI \text{ (sans ICrép)} = \frac{\text{Fin du dernier intervalle ap. lever soleil} - \text{Début 1er intervalle av. coucher soleil (mn)}}{10 \text{ mn}}$$

Exemple 2 : même données que dans l'exemple 1

$$nZI \text{ (sans ICrép)} = \frac{550 \text{ mn}}{10 \text{ mn}} = 55$$

$$nZI \text{ (avec ICrép)} = nZI \text{ (sans ICrép)} + \frac{(\text{lever du soleil} - \text{coucher du soleil}) \times 0,15 \text{ (mn)}}{10 \text{ mn}}$$

Exemple 3 : idem

$$nZI \text{ (avec ICrép)} = 55 + \frac{536 \times 0,15}{10} = 55 + 8,04 = 63,04$$

**Etape 2 :** Estimation de l'activité sur les intervalles de 10 minutes à partir de la vitesse du vent, du mois, de la période de l'année et du niveau d'activité spécifique à l'éolienne.

Les paramètres étant mesurés par intervalles de 10 mn, l'activité à partir de la vitesse du vent, du mois, de la période de l'année et du niveau d'activité spécifique à l'éolienne est d'abord prédite sur des intervalles de 10 mn de la façon suivante :

a) Définition du niveau d'activité spécifique à l'éolienne (« anlagenfaktor »)

Le niveau d'activité spécifique de l'éolienne (NAS pour niveau d'activité spécifique) est défini en fonction de la vitesse du vent, du mois, de l'heure de la nuit et du nombre d'enregistrements obtenus durant l'étude par le calcul suivant :

$$(1) \text{ NAS} = \ln \left( \frac{\frac{\sum \text{nombre d'enregistrements réalisés}}{n}}{\frac{\sum e^{a \cdot \text{vent} + b \cdot \text{vent}^2 + \text{facteur du mois} + \text{facteur de l'heure} + \text{Intercept}}}{n}} \right)$$

Avec  $n$  le nombre d'intervalle de 10 mn testé,  $a$  le coefficient pour la vitesse de vent et  $b$  le coefficient pour la vitesse de vent au carré. Ces coefficients ont été définis lors du projet de recherche et diffère selon l'appareil d'enregistrement acoustique utilisé (cf. Tableau 9 en fin d'annexe)

Plus la valeur du NAS est importante et plus l'activité aux abords de l'éolienne est importante.

Si les résultats de plusieurs années d'étude sont disponibles, il est possible de calculer un niveau d'activité spécifique moyen selon deux méthodes :

- Moyenne des niveaux d'activité spécifique de 2 années : il faut d'abord calculer le NAS pour chaque année. Certains événements exceptionnels (orages relativement froids et pluvieux ou regroupement de chauves-souris près d'une éolienne sur une année) peuvent entraîner une forte divergence des valeurs des NAS pour les deux années (différence > 1). Si ces explications laissent à penser que l'une des deux valeurs correspond mieux à la moyenne d'activité, alors il faut utiliser cette valeur. S'il n'y a aucun indice permettant de choisir une des valeurs alors il faut utiliser la moyenne des deux valeurs.

$$(2) \text{ NAS moyen} = \ln \left( \frac{e^{\text{NAS 1}} + e^{\text{NAS 2}}}{2} \right)$$

- Regroupement des données de plusieurs années en un jeu de données : pour certains intervalles de 10 mn on aura des valeurs de deux ou plusieurs années. Le seuil du nombre de victimes autorisées doit être augmenté en conséquence lors du calcul de l'algorithme (doublé pour deux années). Il est important de bien corriger les heures de panne. L'avantage de regrouper les données est que les valeurs de mesure de vitesse de vent des deux années sont aussi prises en compte. L'inconvénient est que les éventuelles exceptions ne sont pas visibles et peuvent être exclues.

b) L'activité prédite pour chaque intervalle de 10 mn ( $A_{10}$ ) peut ensuite être calculée par la formule :

$$(3) A_{10} = e^{a \times \text{Vitesse du vent} + b \times \text{Vitesse du vent}^2 + \text{Mois} + \text{Période de la nuit} + \text{NAS} + \text{Intercept}}$$

Outre le NAS défini par le calcul (1) et les valeurs de vitesse de vent obtenues par les mesures, les valeurs à utiliser pour chaque élément de ce calcul correspondent à celles définies par Behr *et al.* lors de leur projet de recherche (cf. Tableau 9 en fin d'annexe).

**Etape 3** : Extrapolation de l'activité prédite par intervalle de 10 min sur la nuit entière.

La formule pour estimer le nombre de victimes en fonction de l'activité acoustique se rapporte à des nuits complètes. Il faut donc d'abord extrapoler l'activité prédite pour les intervalles de 10mn sur toute la nuit ( $A$ ) :

$$(4) A = A_{10} \times \frac{nZI}{G}$$

Avec  $nZI$  le nombre d'intervalle de la nuit et  $G$  le facteur de distribution de l'activité sur la nuit dépendant du type d'appareil acoustique utilisé, des mois considérés et de la période de la nuit (cf. Tableau 10 en fin d'annexe).

**Etape 4** : Estimation du nombre de victimes de collision

Enfin, l'estimation du nombre de chauves-souris tuées par nuit ( $T$ ) peut être faite à partir du nombre d'enregistrements par nuit estimé et de la vitesse du vent :

$$(5) T = e^{a_0 + a_1 \times \text{scAct} + a_2 \times \text{scVent} + a_3 \times \text{scVent}^2}$$

Avec  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  les paramètres du modèle estimés à partir des données de Korner-Nievergelt et al 2011.  $\text{scAct}$  et  $\text{scVent}$  correspondent aux facteurs de standardisation de l'activité et du vent respectivement. Pour l'anabat SD1 :

$$(6) \text{ scAct} = \frac{\log(A + 1) - 0,79538}{1,088398}$$

$$(7) \text{ scVent} = \frac{\text{Vitesse du vent} - 5,211521}{1,892224}$$

Finalement, pour l'Anabat SD1, le nombre de chauves-souris tuées par nuit se calcule par l'expression :

$$(8) T = e^{-2,811 + 0,662 \times \text{scAct} - 0,277 \times \text{scVent} - 0,231 \times \text{scVent}^2}$$

**Etape 5 :** Extrapolation du risque de collision pendant la nuit entière sur les intervalles de 10mn.

Le nombre de chauves-souris tuées par intervalle de 10mn ( $T_{10}$ ) se calcule de la façon suivante :

$$(9) T_{10} = \frac{T}{nZI \times G}$$

**Etape 6 :** Correction à apporter suivant le diamètre du rotor.

Les paramètres initiaux de ces modèles ont été estimés avec une étude sur des éoliennes Enercon d'un diamètre de 70m en moyenne. On pourrait supposer que le nombre de victimes de collision est plus important en présence d'éoliennes plus grandes, et inversement, et dans ce cas considérer que le risque de collision est proportionnel à la surface de rotation du rotor. Néanmoins, suite à des observations par caméra infrarouge, les auteurs ont constaté que l'activité des chauves-souris n'est pas répartie de manière égale dans la zone de rotation du rotor, mais diminue avec l'augmentation de la distance à la nacelle. De plus, les pales ne tournent pas à la même vitesse si l'on se trouve près de la nacelle ou en bout de pale. La zone proche de la nacelle a été définie par les auteurs comme 20% du diamètre du rotor et, à cet endroit, la vitesse est au maximum 5 fois inférieure à la vitesse en bout de pale.

Le facteur  $k$  a donc été d'abord défini afin de corriger le nombre de chauves souris tuées par nuit ou par intervalle de 10 min en fonction du diamètre du rotor  $d$  :

$$(10) k = \frac{d^2 \times \pi - (0,2 \times d)^2 \times \pi}{70^2 \times \pi - 14^2 \times \pi} \text{ soit } k = 0,000204 \times d^2$$

Ensuite, le facteur  $k$  a donc été modifié de la façon suivante pour intégrer l'enjeu de la fréquentation préférentielle aux abords de la nacelle:

$$(11) k = 0,000204 \times (0,4348 \times d + 39,468)^2$$

Chaque valeur du nombre de chauves-souris tuée par nuit ( $T$ ) ou par intervalle de 10 mn ( $T_{10}$ ) doit être multipliée par le facteur  $k$ .

**Etape 7 :** Développement de l'algorithme de fonctionnement respectueux des chiroptères.

L'algorithme est calculé pour que les pertes de rendements soient minimales tout en assurant une protection satisfaisante des chiroptères. Pour cela, une valeur seuil de  $Q$  ( $Q_{seuil}$ ) est définie afin que le nombre de chauves-souris mortes corresponde au seuil toléré préalablement défini (2 chauves-souris/éolienne/an par exemple).  $Q$  correspondant au quotient suivant :

$$(12) Q = \frac{\text{Vitesse du vent}^3}{T_{10}}$$

Pour déterminer  $Q_{seuil}$ , il faut d'abord classer le tableau de résultat selon les valeurs de  $Q$  décroissantes.  $Q_{seuil}$  correspond à la valeur  $Q$  de l'intervalle de 10mn à partir duquel le nombre de chauves-souris mortes toléré est atteint.

Lorsque la valeur de  $Q$  est faible pour un intervalle de 10 minutes, la production est faible (car la vitesse de vent est faible) mais le risque de collision est élevé sur cet intervalle (puisque le nombre de victimes de collision prédit sur cet intervalle est élevé). Dans ce cas, le bridage de l'éolienne permet de sauvegarder les chiroptères tout en engendrant de faibles de pertes de production. En faite, le bridage de l'éolienne doit être mis en place sur tous les intervalles de 10min ayant une valeur de  $Q$  inférieure à  $Q_{seuil}$ .

Il est également possible de calculer le coût du bridage si la production de l'éolienne est connue. Pour cela, il faut classer le tableau de résultat selon les valeurs de  $Q$  croissantes puis additionner les valeurs de rendements jusqu'à  $Q_{seuil}$ .

Néanmoins, la mise en place d'un système de bridage basé sur des intervalles de 10 minutes peut être fastidieuse à réaliser. Il est alors possible de sommer le nombre de victimes de collision des intervalles de 10

minutes pour obtenir le nombre de chauves-souris tuées selon le mois et la période de la nuit ( $T'$ ). Pour cela, il est essentiel d'avoir des données pour tous les intervalles de 10 minutes de chaque nuit. Dans le cas contraire, il faut multiplier le nombre de chauves-souris tuées pour la période de la nuit et le mois en question par le facteur de correction  $Z$

$$(13) Z = \frac{\text{Nombre d'intervalle de 10mn qu'il aurait fallu évaluer}}{\text{Nombre d'intervalle de 10mn réellement évalués}}$$

Enfin, la **dernière étape** consiste à calculer la cut-in-speed à mettre en œuvre pour chaque combinaison d'heure de la nuit et de mois possible à partir de laquelle  $Q_{seuil}$  n'est plus dépassée.

$$(14) \text{Cutinspeed} = (Q_{seuil} \times T')^{1/3}$$

**Tableau 9 : Paramètres du modèle pour le calcul de la prévision de l'activité des chauves-souris.**

Behr & Rudolph, 2013.

	Paramètre	Anabat SD1	Batcorder
	Intercept	-4,68073388	-5,02545202
	a	-0,53621608	-0,71349484
	b	-0,00948506	0,00822059
Mois	3	-3,73018264	-2,73546727
	4	-3,73018264	-2,73546727
	5	0	0
	6	-0,56840205	-0,41252795
	7	0,22239053	1,06121241
	8	0,89802724	1,73730991
	9	-0,6986055	-0,31263601
	10	-2,09566584	-1,35923434
	11	-3,86165258	-2,83187856
	Période de la nuit	-0,15-0	0
0-0,1		2,2041148	2,06797641
0,1-0,2		3,09224942	2,7891016
0,2-0,3		2,87092966	2,39731079
0,3-0,4		2,67845904	2,32688306
0,4-0,5		2,71636459	2,16340943
0,5-0,6		2,5221675	1,73251191
0,6-0,7		2,40349565	1,7331581
0,7-0,8		1,73371857	1,20753397
0,8-0,9		1,26312535	1,16304089
0,9-1	-0,03548228	-0,48150431	

**Tableau 10 : Valeur du facteur de distribution de l'activité (G) suivant le mois, la période de la nuit et le détecteur acoustique utilisé.**

Behr & Rudolph, 2013.

Mois	Période de la nuit	Activité relative	
		SD 1	BATCORDER
3	-0,15-0	0,11911782	0,16747887
3	0-0,1	0,98083295	1,14007392
3	0,1-0,2	1,9897065	2,0657284
3	0,2-0,3	1,62232736	1,49436472
3	0,3-0,4	1,1079144	1,38369452
3	0,4-0,5	1,65131459	1,49499438
3	0,5-0,6	1,30443553	0,99023661
3	0,6-0,7	1,33474629	1,06446376

Mois	Période de la nuit	Activité relative	
		SD 1	BATCORDER
3	0,7-0,8	0,52253823	0,59106468
3	0,8-0,9	0,28928748	0,50586878
3	0,9-1	0,07777886	0,10203137
4	-0,15-0	0,11911782	0,16747887
4	0-0,1	0,98083259	1,14007392
4	0,1-0,2	1,9897065	2,0657284
4	0,2-0,3	1,62232736	1,49436472
4	0,3-0,4	1,1079144	1,38369452
4	0,4-0,5	1,65131459	1,49499438
4	0,5-0,6	1,30443553	0,99023661
4	0,6-0,7	1,33474629	1,06446376
4	0,7-0,8	0,52253823	0,59106468
4	0,8-0,9	0,28928748	0,50586878
4	0,9-1	0,07777886	0,10203137
5	-0,15-0	0,11911782	0,16747887
5	0-0,1	0,98083295	1,14007392
5	0,1-0,2	1,9897065	2,0657284
5	0,2-0,3	1,62232736	1,49436472
5	0,3-0,4	1,1079144	1,38369452
5	0,4-0,5	1,65131459	1,49499438
5	0,5-0,6	1,30443553	0,99023661
5	0,6-0,7	1,33474629	1,0644673
5	0,7-0,8	0,52253823	0,59106468
5	0,8-0,9	0,28928748	0,50586878
5	0,9-1	0,07777886	0,10203137
6	-0,15-0	0,08828033	0,14724443
6	0-0,1	0,87430925	1,2608325
6	0,1-0,2	2,24931211	2,47442475
6	0,2-0,3	1,7039196	1,54010743
6	0,3-0,4	1,36295047	1,50203046
6	0,4-0,5	1,45673016	1,31175342
6	0,5-0,6	1,23077725	0,85999816
6	0,6-0,7	1,13494549	0,88631009
6	0,7-0,8	0,54796819	0,52010105
6	0,8-0,9	0,27659371	0,41936083
6	0,9-1	0,07421345	0,07783689
7	-0,15-0	0,12830221	0,19413999
7	0-0,1	0,89583691	1,35030241
7	0,1-0,2	2,13190944	2,56350263
7	0,2-0,3	1,58012373	1,51471744
7	0,3-0,4	1,26391957	1,2950043
7	0,4-0,5	1,4283495	1,17508097
7	0,5-0,6	1,2922652	0,80873492
7	0,6-0,7	1,17994645	0,87496624
7	0,7-0,8	0,61841479	0,56240359
7	0,8-0,9	0,37706604	0,55803108
7	0,9-1	0,10286617	0,10311644
8	-0,15-0	0,12484749	0,15821485
8	0-0,1	1,18138442	1,31469073
8	0,1-0,2	2,57636597	2,64885756
8	0,2-0,3	1,85135107	1,71810816
8	0,3-0,4	1,3050236	1,49955504
8	0,4-0,5	1,31622299	1,24625191
8	0,5-0,6	1,03123945	0,74068711
8	0,6-0,7	0,84142028	0,7453582
8	0,7-0,8	0,43721789	0,43088692

Mois	Période de la nuit	Activité relative	
		SD 1	BATCORDER
8	0,8-0,9	0,26190044	0,41490604
8	0,9-1	0,07302641	0,08248348
9	-0,15-0	0,10812025	0,1546251
9	0-0,1	0,91135371	1,10416234
9	0,1-0,2	2,11800927	2,17525605
9	0,2-0,3	1,56061867	1,57174188
9	0,3-0,4	1,31677138	1,56265513
9	0,4-0,5	1,52760418	1,46648048
9	0,5-0,6	1,26847999	0,92930802
9	0,6-0,7	1,1543559	0,90206123
9	0,7-0,8	0,53504839	0,49467833
9	0,8-0,9	0,38893228	0,53204502
9	0,9-1	0,110706	0,10698642
10	-0,15-0	0,13147452	0,19953194
10	0-0,1	1,10646439	1,42716146
10	0,1-0,2	2,18279366	2,49112718
10	0,2-0,3	1,61398439	1,60411369
10	0,3-0,4	1,19531989	1,32348982
10	0,4-0,5	1,3427605	1,19082098
10	0,5-0,6	1,15413232	0,76218264
10	0,6-0,7	1,14622447	0,83691288
10	0,7-0,8	0,60601112	0,5124595
10	0,8-0,9	0,40357392	0,53886704
10	0,9-1	0,11726083	0,11333288
11	-0,15-0	0,13147452	0,19953194
11	0-0,1	1,10646439	1,42716146
11	0,1-0,2	2,18279366	2,49112718
11	0,2-0,3	1,61398439	1,60411369
11	0,3-0,4	1,19531989	1,32348982
11	0,4-0,5	1,3427605	1,19082098
11	0,5-0,6	1,15413232	0,76218264
11	0,6-0,7	1,14622447	0,83691288
11	0,7-0,8	0,60601112	0,5124595
11	0,8-0,9	0,40357392	0,53886704
11	0,9-1	0,11726083	0,11333288