

**PARCS EOLIENS LOMONT - PAYS DE
MONTBELIARD**
EXPERTISE CHIROPTERES ET SUIVI DE MORTALITE



PRÉSENTATION DU DOSSIER

Étude réalisée pour :



ENERGY POWER RESOURCES EUROPE

10 rue Jean Jaurès (Tour Litwin)
92800 Puteaux
Tel : 0033 (0)1 80 80 50 12
Cell : 0033 (0)6 73 81 35 20
Email : nicolas.vanrietvelde@eprl.co.uk

Étude suivie par : Nicolas Vanrietvelde

Étude réalisée par :



ÉCOSPHÈRE :

24, rue Thomann
67000 STRASBOURG
Tél. : 03.88.45.86.76
E-mail : agence.nord-est@ecosphere.fr

Coordination du dossier	M. THAURONT
Inventaires au sol et détermination	A. D'AGOSTINO-PLAISANCE
Suivi de mortalité au sol	R. D'AGOSTINO assisté d'A. D'AGOSTINO-PLAISANCE pour la partie terrain
Suivi acoustique en nacelle	G. MARCHAIS & M. THAURONT
Cartographie	R. D'AGOSTINO & A. PLAISANCE
Rédaction	M. THAURONT, R. D'AGOSTINO & G. MARCHAIS

PROJET et MISSION :

Deux parcs éoliens ont été construits sur la Côte du Lomont dans le Doubs (25) suite à une autorisation délivrée en 2005. Construits par la société EOLE-Res en 2007, et gérés par Energy Power Resources Europe (EPRE) depuis 2008, ce sont actuellement les deux seuls parcs en activité en Franche-Comté.

La mission répond à deux obligations réglementaires :

- La réalisation d'une « étude chiroptères » au titre des demandes de permis de construire sans que l'on sache les besoins exactes d'une telle étude ;
- La réalisation d'un suivi environnemental au titre de l'article 12, de l'arrêté du 26 août 2011 concernant les ICPE, permettant d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères. Cette obligation permet, entre autres, d'évaluer l'effet des mesures de réduction/compensation/accompagnement engagées. Pour le Lomont, cette obligation doit être réalisée au plus tard pour fin 2017.

SOMMAIRE

1 - Contexte de l'étude	4
1.1 - Les parcs du Lomont	4
1.2 - Objet de la mission	5
1.3 - Les 3 éoliennes suivies	6
2 - Interprétation des inventaires au sol	8
2.1 - Eolienne E04	10
2.2 - Eolienne E10	11
2.3 - Eolienne E14	12
3 - Suivi de mortalité au sol	14
3.1 - Protocole du suivi de mortalité sur le terrain	14
3.1.1 - Recherche des cadavres et surfaces prospectées	14
3.1.2 - Calendrier du suivi	17
3.1.3 - Relevés des cadavres	17
3.2 - Résultats bruts	17
3.3 - Méthode d'estimation de la mortalité	18
3.3.1 - Modèles statistiques utilisés	18
3.3.1.1 - Ajustement de la surface réellement contrôlée	19
3.3.1.2 - Modèle de Jones (2009)	20
3.3.1.3 - Modèle de Huso (2010)	21
3.3.1.4 - Modèle de Korner-Nievergelt (2011)	21
3.3.2 - Tests d'efficacité de l'observateur	22
3.3.3 - Persistance des cadavres	22
3.3.4 - Correctif lié à la période d'étude	26
3.3.5 - Distance au mât	27
3.4 - Résultats de synthèse sur la mortalité estimée	28
4 - Suivi acoustique des chauves-souris en nacelle	31
4.1 - Protocole technique mis en œuvre	31
4.2 - Méthodologie d'analyse des enregistrements ultrasonore	34
4.3 - Limites techniques	35
4.3.1 - Limites liées au matériel utilisé	35
4.3.2 - Limites liées à l'identification des espèces	36
4.4 - Résultats bruts	37
4.5 - Activité selon le vent et la période de la nuit	39
4.5.1 - Influence du vent	39
4.5.2 - Influence de l'heure	45
4.5.3 - Analyse de risque	46
4.6 - Tests sur l'algorithme allemand traduisant l'activité en mortalité	49
5 - Recommandations	53
5.1 - Intervention sur les lumières	53
5.2 - Mise en drapeau pour les vitesses inférieures au cut-in-speed	54

5.3 - Intervention sur les lisières	56
6 - Bibliographie	57
7 - Annexes	60
7.1 - Annexe 1 : activité chiroptérologique enregistrée au sol	60
7.2 - Annexe 2 : enregistrements de chiroptères	61
7.3 - Annexe 3 : mortalité des oiseaux	63

Table des cartes

Carte 1 : Emplacement des 15 éoliennes des 2 parcs du Doubs (25).....	5
Carte 2 : Données d'activité 2014 au pied de l'éolienne E04	11
Carte 3 : Données d'activité 2014 au pied de l'éolienne E10	12
Carte 4 : Données d'activité 2014 au pied de l'éolienne E14	13
Carte 5 : Surface prospectée sous l'éolienne E04 et position des cadavres trouvés.....	15
Carte 6 : Surface prospectée sous l'éolienne E10 et position des cadavres trouvés.....	16
Carte 7 : Surface prospectée sous l'éolienne E14 et position des cadavres trouvés.....	16

Table des figures

Figure 1 : Nombre de contacts de pipistrelles au sol (bleu) et en altitude (rouge).....	13
Figure 2 : Schéma représentatif des transects	14
Figure 3 : Nombre de cadavres trouvés par période de 7 jours.....	18
Figure 4 : Modèle statistique montrant l'évolution de la probabilité de prédation des cadavres au cours du temps sur le site d'étude (selon modèle de Korner)	25
Figure 5 : Mortalité des chiroptères selon la saison en Allemagne	26
Figure 6 : Nombre de cadavres trouvés selon les classes de distance au mât (m)	27
Figure 7 : Distribution moyenne des cadavres en fonction de la surface prospectée	27
Figure 8 - Installation de l'Anabat SD2 à l'avant d'E04	32
Figure 9 - Installation de l'Anabat et batteries à l'arrière gauche de la nacelle d'E10.....	32
Figure 10 - Installation de l'Anabat et batteries à l'arrière droit de la nacelle d'E14.....	32
Figure 11 : Position du micro de l'Anabat SD2 dans l'éolienne E4	33
Figure 12 : Position du micro des Anabat SD1 à l'arrière des nacelles dans les éoliennes..	33
Figure 13 - Exemple de fichiers sous Analook TM ne contenant que des bruits liés à la rotation des pales (vue en temps réel F1)	34
Figure 14 : cris de Pipistrelle commune (bleu) et bruits des pales (orange).....	35
Figure 15 - Comparaison entre E10 & E14 des contacts de Pipistrelloïdes enregistrées du 7 août au 17 septembre 2014	39
Figure 16 - Comparaison entre E10 & E14 des contacts de Nyctaloïdes enregistrées du 7 août au 17 septembre 2014	39
Figure 17 - Chauves-souris et vent	40
Figure 18 - Pipistrelles et vent	41
Figure 19 : Amplitude des vitesses de vent (m/s) nocturne selon les classes de vent moyen par tranches de 10 mn (éolienne E10) du 7 août au 4 novembre 2014.	42
Figure 20 - Chauves-souris et rotations des pales BLEU : Pourcentage de contacts de chauves-souris (toutes espèces) en fonction de la rotation des pales (maxima sur 10 min en tours /min) mesurée à 80 m entre le 7 août et le 4 novembre 2014 pour l'éolienne E10 uniquement ; ROUGE : occurrence des tours /min mesurés en pourcentage	43
Figure 21 - Distribution des contacts de chauves-souris selon les vitesses de vent et les tours par minutes des pales.	44

Figure 22 - Vitesses de vent et rotation des pales sur les tranches de 10 mn avec contacts de Pipistrelle commune, éolienne E10 quelques jours avant la découverte de 3 cadavres au sol le 2 septembre	45
Figure 23 : Distribution des contacts enregistrés sur la nacelle E10 en fonction de l'heure après le coucher du soleil du 7 août au 4 novembre 2014 (n = 718)	46
Figure 24 : Distribution des contacts enregistrés sur E10 en fonction de la vitesse de vent (moyenne sur 10 min en m/s) du 7 août au 4 novembre 2014 (n = 718)	47
Figure 25 - Distribution des contacts enregistrés sur E10 en fonction de la vitesse de vent (moyenne sur 10 min en m/s) et de l'heure après le coucher du soleil du 7 août au 4 novembre 2014 (n = 718)	48
Figure 26 : Spot lumineux au niveau d'une éolienne du parc de Castelnau-Pegayrols - Beucher et <i>al.</i> , 2013	53
Figure 27 : spots lumineux au niveau des éoliennes E10 et E14	54

Table des tableaux

Tableau 1 - Espèces recensées sur la côte du Lomont	8
Tableau 2 - Espèces contactées à l'éolienne E04	10
Tableau 3 - Espèces contactées à l'éolienne E10	12
Tableau 4 - Espèces contactées à l'éolienne E14	13
Tableau 5 - Coefficients	20
Tableau 6 - Persistance des cadavres trouvés sous les éoliennes.....	24
Tableau 7 - Données bibliographiques sur la mortalité après le 15 juillet	26
Tableau 8 - Récapitulatif des différents coefficients et paramètres de mortalité.....	28
Tableau 9 - Résultats des estimations basses (« a » selon Arnett)	29
Tableau 10 - Résultats des estimations hautes (« a » en proportion simple)	29
Tableau 11 - Comparaison des résultats avec d'autres sites	30
Tableau 12 - Etapes d'analyse et résultats	34
Tableau 13 : résultats bruts en termes de contacts par nuit.....	37
Tableau 14 : Résultats cumulés par période et par espèce pour les 3 nacelles	38

1 - CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1 - Les parcs du Lomont

Deux parcs éoliens ont été construits sur la Côte du Lomont dans le Doubs (25) suite à une autorisation délivrée en 2005.

Construits par la société EOLE-Res en 2007, et gérés par Energy Power Resources Europe (EPRE) depuis 2008, les deux parcs sont les suivants (cf. Carte 1) :

- Centrale Eolienne de Production d'Énergie (CEPE) du Pays de Montbéliard pour les éoliennes portant par convention les numéros E01 à E05
- Centrale Eolienne de Production d'Énergie (CEPE) de Lomont pour les éoliennes portant par convention les numéros E06 à E15. On notera qu'il est décomposé en deux sous-ensembles :
 - Les éoliennes E06 à E10 prolongent le parc de Pays de Montbéliard
 - les éoliennes E11 à E15 sont situées sur la même crête à ± 3 km à l'est.

Parc	Communes	Mise en service	Nombre d'éoliennes	Modèle éoliennes	Contexte
Lomont	Valonne Solemont Feule Neuchatel-Urtiere	01/2008	10 (2 sous-ensembles de 5 machines distantes de 3 km)	Vestas V90-2,0 MW	contexte forestier le long d'une crête boisée
Pays de Montbéliard	Vyt-lès-Belvoir	03/2008	5		

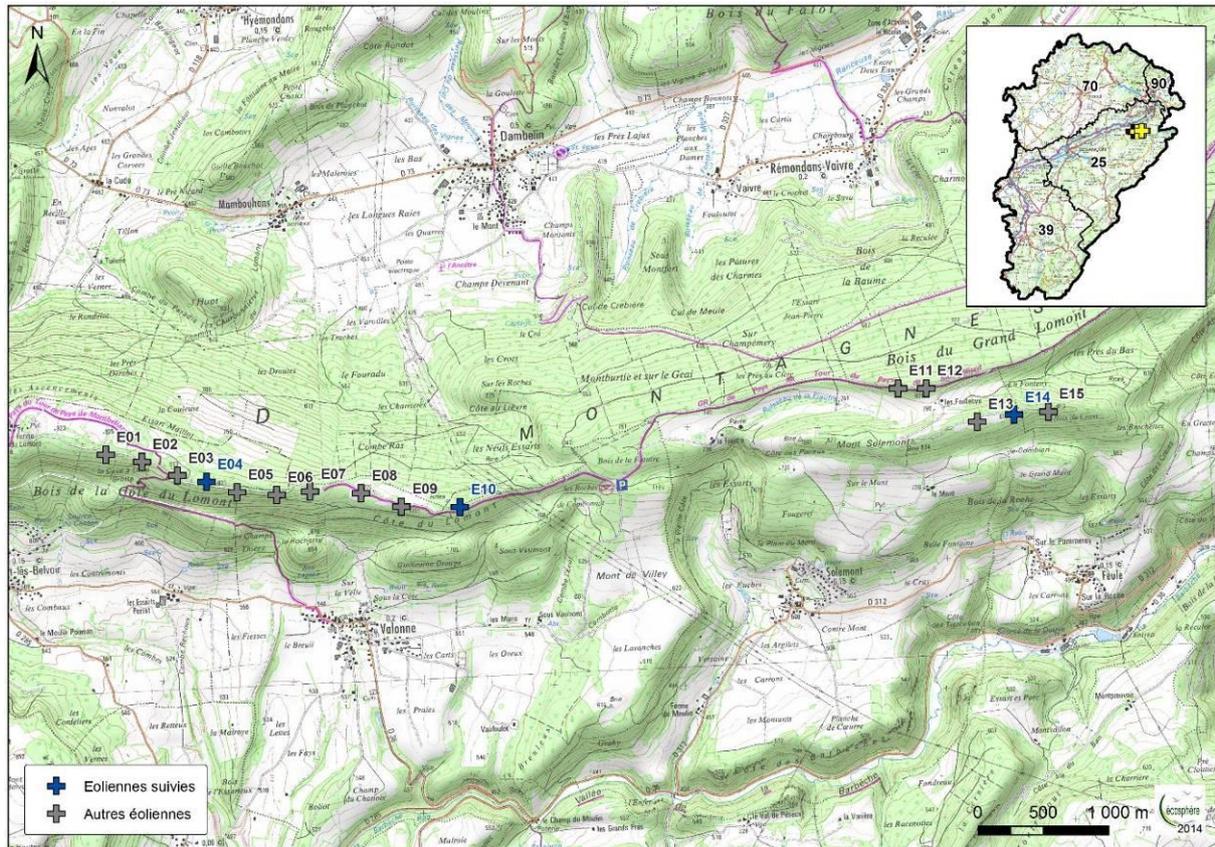


La forêt couvre 80% de la crête du Lomont. Les formations forestières sont principalement composées de Hêtraies, Hêtraies-Sapinières et de quelques peuplements résineux en grande partie issus d'enrésinements en Epicéa.

Photos : D'Agostino et Thauront



Actuellement, ces deux parcs sont les seuls en activité en Franche-Comté.



Carte 1 : Emplacement des 15 éoliennes des 2 parcs du Doubs (25)

1.2 - Objet de la mission

La mission répond à deux obligations réglementaires :

- Les permis de construire des 2 parcs ont demandés la réalisation d'une « étude chiroptères » sans que l'on sache pour autant les raisons ayant poussé à cette demande et les conséquences envisagées. On retiendra néanmoins que l'étude d'impact n'avait réalisée qu'une expertise très limitée à ce sujet (cf. infra) et la prise de conscience des problématiques chiroptères/éoliennes est récente.
- Depuis l'entrée en vigueur du décret n° 2011-984 du 23 août 2011, les parcs éoliens sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). L'exploitant est donc tenu de mettre en œuvre des suivis post-implantation. Ainsi, l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011 stipule que « *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.* ». Cette obligation permet, entre autres, d'évaluer l'effet des mesures de réduction/compensation/accompagnement engagées. Dans le cas présent, cette obligation doit donc être réalisée au plus tard pour fin 2017.

On notera que la mission a porté avant tout sur les chauves-souris, en lien avec l'obligation de l'arrêté préfectoral, mais on trouvera aussi en annexe n°3 les données de mortalité récupérées pour les oiseaux et une analyse succincte de façon à ce que le suivi environnemental soit complet.

Le décret prévoit la mise en place éventuelle d'un protocole national mais à ce jour il n'existe pas. Chaque opérateur est donc libre de proposer son protocole et les DREAL (inspecteurs ICPE et services nature) en estiment la cohérence.

Dans ce cadre, Écosphère est sollicité par EPR afin de réaliser une expertise comprenant :

- Un diagnostic sur les chiroptères présents sur la zone ;
- Une expertise sur l'activité chiroptérologique à hauteur des nacelles ;
- Une analyse de la mortalité au sol.

Les deux premières missions se sont déroulées du 6 août au 4 novembre 2014, et la troisième du 26 août au 31 octobre 2014. Les conséquences de ces durées seront analysées plus avant dans ce rapport.

1.3 - Les 3 éoliennes suivies

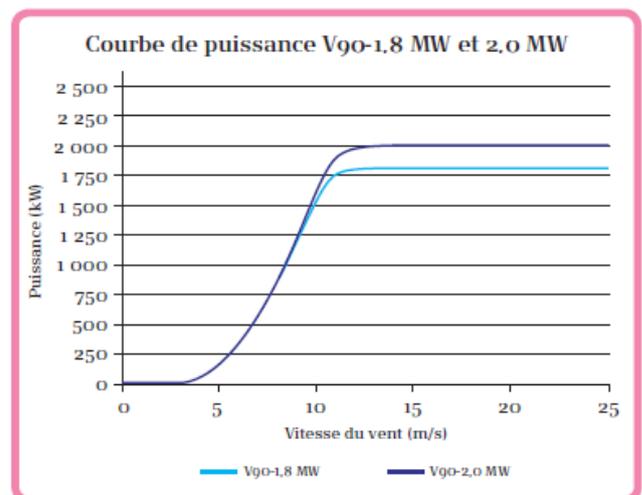
Le caractère forestier du parc rend très difficile le suivi de la mortalité au sol (cf. infra) et c'est pourquoi l'interprétation des données de suivi en nacelle a été privilégiée. En conséquence, les suivis de mortalité au sol ont été réalisés au droit des éoliennes pour lesquelles un suivi en nacelle était aussi réalisé.

Pour le parc de Lomont, les éoliennes E10 et E14 ont été choisies car des cadavres de chauves-souris avaient été trouvés de manière fortuite. Pour le parc du Pays de Montbéliard, l'éolienne E04 a été choisie de manière plus arbitraire (facilités d'accès et trous déjà percés sur la nacelle entre les pales et le moyeu pour installer le micro).

Si l'environnement des trois éoliennes est similaire (forêts dominés par les hêtres avec plus ou moins de résineux selon les secteurs), elles diffèrent néanmoins par le taux d'ouverture des milieux au pied des éoliennes (cf. photos infra). Ainsi, sur les éoliennes E04 et E10 les milieux ouverts correspondent aux travaux de défrichage pour l'installation des machines alors que pour l'éolienne E14 un pâturage était déjà présent. Les chauves-souris utilisent fréquemment comme axes de déplacements ou de chasse les lisières forestières le long des chemins d'exploitation. Ce doit aussi être le cas à proximité des mâts du parc de Lomont, tous situés le long d'un chemin de crête.

On rappellera ci-dessous les caractéristiques de ces trois éoliennes Vestas V90 2 MW (source : brochure Vestas France¹) :

- Hauteur du moyeu : 80 m
- Diamètre du rotor : 90 m
- Garde au sol : 35 m
- Frein à air : mise en drapeau par 3 vérins hydrauliques distincts
- Vitesse de démarrage minimale : 2,5 m/s
- « Cut-in wind speed » conseillé: 4 m/s (en free-wheeling sur le parc de Lomont).



¹ Et le site web : http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v90-2_0_mw

- Vitesse de coupure : 25 m/s
- Surface balayée par les pales: 6 362 m²
- Vitesse de rotation à la vitesse nominale : 14,9 tr/min
- Intervalle de fonctionnement : 9,0-14,9 tr/min



Situation de l'éolienne E04 : R. D'agostino, 26/08/2014



Situation de l'éolienne E10 : R. D'agostino, 26/08/2014



Situation de l'éolienne E14 : R. D'agostino, 26/08/2014

2 - INTERPRETATION DES INVENTAIRES AU SOL

Les recensements au sol de chiroptères sur la côte du parc de Lomont ont eu lieu de la façon suivante : en 2014, Ecosphère a recensé les espèces par écoute active (Petterson™) et passive (détecteurs automatiques SM2BAT™ sur des nuits entières et Anabat SD1™ sur des périodes entières).

Le nombre d'espèce est assez classique pour une étude de ce type.

Inventaire des espèces recensées sur la côte du Lomont (études acoustiques et étude mortalité)				
	Liste Rouge Franche- Comté ²	Ecosphère 2014 au sol	Ecosphère 2014 étude mortalité	Ecosphère 2014 suivi en nacelle
Barbastella barbastellus	NT	x		
Eptesicus serotinus	LC	x		
Miniopterus schreibersii	VU	x		
Myotis bechsteinii	VU	x		
Myotis brandtii	VU	x		
Myotis daubentonii	LC	x		
Myotis emarginatus	VU	x		
Myotis myotis	VU	x		
Myotis mystacinus	LC	x		
Myotis nattereri	VU			
Nyctalus leisleri	LC	x		x
Nyctalus noctula	LC	x		x
Pipistrellus kuhlii	LC	x		x
Pipistrellus nathusii	NT	x		
Pipistrellus pygmaeus	DD	x	x ?	x
Pipistrellus pipistrellus	LC	x	x	x
Rhinolophus hipposideros	VU	x		
Tadarida teniotis	NT			x
<i>Myotis sp.</i>		x		
<i>Groupe Nyctalus/Eptesicus</i>		x		x
<i>Plecotus sp.</i>				
<i>Pipistrellus sp.</i>		x		x

Tableau 1 - Espèces recensées sur la côte du Lomont

Les données de mortalité et de suivi en altitude (hauteur de nacelle) seront présentées dans les chapitres ultérieurs. Seules les données de caractérisation du peuplement par les études menées au sol seront présentées ici.

Les données ont été recueillies en deux temps :

- Les nuits du 6 et 7 août 2014, des relevés opportunistes ont été réalisés pour profiter de la période de présence lors des installations des appareillages en machine :
 - Mise en place d'Anabat™³ au pied des éoliennes E04, E08, E10, E12 et E14 paramétrés sur 2h45 d'enregistrement en début de nuit (ainsi qu'au niveau d'un refuge de chasse des environs) ;

² <http://www.cpepesc.org/IMG/pdf/LRChssFC.pdf>

- Un relevé vidéo au niveau de l'éolienne E10 a été réalisé le 7 Août vers 19:30 et a permis de confirmer de visu la présence de chiroptères au niveau de la nacelle.



- D'autres détecteurs automatiques, SM2BAT⁴, ont été posés au pied de chacune des 3 éoliennes étudiées sur :
 - 2 nuits consécutives pour l'éolienne E04 (2 et 3 septembre 2014)
 - 3 nuits consécutives pour l'éolienne E14 (5 au 7 septembre 2014)
 - 3 nuits consécutives pour l'éolienne E10 (9 au 11 septembre 2014)

Les annexes 1 et 2 présentent les résultats principaux dont le taux de fréquentation en minute/heure durant l'heure la plus fréquentée.

L'enregistrement continu des chauves-souris en des **points d'écoute fixes** permet en effet une mesure de l'activité **instantanée** qui peut servir à interpréter les résultats en interprétant au mieux les facteurs d'explication. Par contre, un faible taux n'est pas significatif car il peut très bien devenir fort dans une autre circonstance de date ou de météorologie par exemple.

Echelle de temps de présence sur une heure

Le principe repose sur la notion de « contact » auquel on affecte une durée par défaut. On peut ainsi définir le temps de présence moyen de chauves-souris sur une heure donnée dans un site donné. Pour cette échelle de temps de présence par heure, il est nécessaire de partir du postulat qu'un contact est égal à la présence de chauves-souris sur une période de 5 secondes entière ou partielle. Les résultats sont rapportés à l'heure et chaque heure peut être ainsi analysée. L'échelle a été bâtie de façon empirique à partir de nombreux jeux de relevés en France.

Taux de fréquentation	Temps de présence sur le point
Quasi permanent	40 min/h et +
Très fort	20 à 40 min/h
Fort	10 à 20 min/h
Assez fort	5 à 10 min/h
Moyen	1 à 5 min/h
Faible à très faible	< 1 min/h

Seuls les résultats au pied des éoliennes étudiées sont présentés sur les 3 cartes ci-dessous, mais les annexes 1 et 2 donnent une vision de l'ensemble des résultats. On en tirera les points suivants :

³ Description de l'Anabat : <http://www.titley-scientific.com/eu/index.php/sd2-with-stainless-microphone?SID=d9ca29ff186a052a650ff80e24b9dbfd>

⁴ Description du SM2BAT : <http://www.wildlifeacoustics.com/products/song-meter-sm2-bat-plus>

- Après échange avec Sébastien Roué⁵, la composition spécifique générale est assez classique pour ce type de secteur en Franche-Comté au vu des méthodologies employées. Si la diversité d'espèce forestière est bonne, les quantités d'individus détectées ne sont pas très fortes. Il n'y a ainsi que 3 contacts de Barbastelle par exemple. Cela peut s'expliquer avec la composition des peuplements forestiers : la hêtraie, principale formation des alentours, serait en général moins riche en espèces proies que la chênaie.
- Les murins posent des difficultés d'identification supérieures aux autres espèces et seuls ceux présents au droit des 3 éoliennes étudiées ont été déterminées (cf. annexe 2).
- Le faible nombre de contacts authentifiés pour la Noctule commune (n=2) est à relier à sa distribution régionale. Elle fréquenterait avant tout les abords des grandes agglomérations de la vallée du Doubs. Ce point est intéressant au sens où il s'agit d'une espèce fortement impactée en Europe par la mortalité liée aux éoliennes.
- D'une façon générale, l'activité était plus forte lors des inventaires opportunistes de début août que lors des relevés par SM2BAT™ de septembre au droit des éoliennes étudiées.
- Le relevé au droit de l'éolienne E12 a montré une activité quasi permanente le 7 août avec les plus grands nombres d'individus tant pour les murins que pour la Pipistrelle commune ou pour le Minioptère de Schreibers. Sur le même pas de temps, l'activité était faible au droit de l'éolienne E08.
- Les relevés SM2BAT™ au sol permettent une comparaison avec les relevés en nacelle aux mêmes dates (cf. infra)

Pour les éoliennes étudiées, les résultats principaux sont présentés plus avant ci-dessous. Les appareils utilisés sont différents au sol (SM2BAT™) et en altitude (Anabat SD1™). Cela explique en grande partie les possibilités d'identification à l'espèce ou au groupe d'espèce, la technologie des Anabats étant différente (division de fréquence) mais suffisante pour les besoins de l'étude. Les comparaisons se font donc selon les cas sur les espèces ou les groupes d'espèces.

2.1 - Eolienne E04

Pour cette éolienne, les travaux en nacelle ont rencontré des problèmes techniques et seule la nuit du 7 août permet une comparaison sur les 2h45 de début de nuit. Les deux autres relevés au sol de début septembre présentaient en outre une activité faible à moyenne.

Eolienne E04	07/08/14	
	Sol	Nacelle
Espèce		
Pipistrelle commune	X	X
Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	X	
Minioptère de Schreibers	X	
Noctule de Leisler	X	
Noctule sp.		X
Groupe Nyctalus/Eptesicus	X	
Murin sp.	X	
Molosse de Cestoni		X

Tableau 2 - Espèces contactées à l'éolienne E04

⁵ Directeur de l'agence sud-ouest d'Ecosphère aujourd'hui, il a été pendant longtemps chiroptérologue professionnel en Franche-Comté, région sur laquelle il a réalisé de nombreuses publications

On notera par ailleurs, comme on pouvait s'y attendre, qu'il y a eu 403 contacts au sol, avec un taux d'activité instantané fort (cf. carte 2), contre 11 contacts en altitude avant minuit. Cela signifie que les espèces qui peuvent voler en altitude, comme les pipistrelles (n=386 au sol), fréquentent néanmoins préférentiellement les premières dizaines de mètres par rapport au niveau du sol. Les murins sont en outre réputés pour être très peu présents en altitude.

La donnée de Molosse de Cestoni est intéressante à plusieurs égards :

- L'espèce est plutôt connue sur le département du Jura où elle gîte très localement en falaise. Plus au nord, elle est en limite d'aire avec des données rares et éparées (S. Roué comm. pers.). Douze séquences ont été affectées à cette espèce⁶ avec néanmoins un faible nombre de cris.
- Selon Barataud (2012), l'intensité d'émission de cette espèce est très forte avec des distances de détection pouvant aller jusqu'à 150 m. Elle est par ailleurs connue comme pouvant voler en altitude. Cela explique l'absence de détection au sol. De plus, la détection en altitude ne signifie pas par défaut une proximité avec la nacelle contrairement à d'autres espèces comme les pipistrelles.



Carte 2 : Données d'activité 2014 au pied de l'éolienne E04

2.2 - Eolienne E10

Pour cette éolienne, les comparaisons peuvent être réalisées sur trois nuits complètes du mois de septembre (9-10-11), aucun problème technique n'ayant été rencontré. Par contre la fréquentation instantanée sur ces nuits était relativement faible (cf. carte 3). En complément, l'analyse a donc aussi porté sur la nuit du 7 août du coucher de soleil à minuit ou la meilleure fréquentation instantanée était forte.

⁶ Et non à des cris sociaux de Noctule de Leisler qui ont pourtant été déterminés par ailleurs dans cette étude. Neuf de ces douze séquences étaient postérieures à minuit, heure limite de la comparaison sol/altitude.



Carte 3 : Données d'activité 2014 au pied de l'éolienne E10

Eolienne E10	09/09/14		10/09/14		11/09/14	
Espèce	Sol	Nacelle	Sol	Nacelle	Sol	Nacelle
Pipistrelle commune	X	X	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl et ou de Nathusius	X	X	X		X	
Minioptère de Schreibers			X			
Sérotine commune			X			
Noctule de Leisler		X				
Groupe Nyctalus/Eptesicus	X	X				
Murin sp.	X		X			

Tableau 3 - Espèces contactées à l'éolienne E10

Sur l'ensemble des périodes d'étude, on notera qu'il y a eu 357 contacts au sol contre 37 contacts en altitude avant minuit (et ce pour des raisons similaires à l'éolienne E04). La faible activité sur ces périodes limite les interprétations. Les contacts au sol ont eu lieu tout au long de la nuit sans que l'on puisse constater un écart flagrant avec la répartition nocturne de l'activité en altitude (contrairement à l'éolienne E14).

2.3 - Eolienne E14

Pour cette éolienne, les comparaisons peuvent être réalisées sur trois nuits complètes du mois de septembre (5-6-7), aucun problème technique n'ayant été rencontré. La meilleure fréquentation instantanée sur ces nuits était forte (cf. carte 4). En complément, l'analyse a aussi porté sur la nuit du 7 août du coucher de soleil à minuit où la meilleure fréquentation instantanée était très faible.



Carte 4 : Données d'activité 2014 au pied de l'éolienne E14

Eolienne E14	7/08/2014		5/09/14		6/09/14		7/09/14	
Espèce	Sol	Nacelle	Sol	Nacelle	Sol	Nacelle	Sol	Nacelle
Pipistrelle commune			X		X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl et ou de Nathusius			X		X	X	X	X
Minioptère de Schreibers			X		X		X	
Barbastelle d'Europe					X			
Petit Rhinolophe			X					
Sérotine commune			X		X			
Noctule commune			X			X		
Noctule de Leisler	X	X	X	X		X		X
Groupe Nyctalus/Eptesicus		X			X		X	X
Murin sp.			X		X		X	

Tableau 4 - Espèces contactées à l'éolienne E14

Sur l'ensemble des périodes d'étude, on notera qu'il y a eu 1.276 contacts au sol contre 132 contacts en altitude avant minuit (et ce pour des raisons similaires à l'éolienne E04). La différence est flagrante la nuit du 5/9 avec 648 contacts au sol répartis sur toute la nuit et un seul en altitude en fin de nuit (une Noctule de Leisler).

Les nuits du 6 et du 7 septembre les contacts au sol ont surtout eu lieu en début de nuit. S'il n'y a rien de probant la nuit du 6, la nuit du 7 est par contre très intéressante (cf. ci-contre) puisque les données de chiroptères, dans les deux cas essentiellement des pipistrelles communes, ne sont pas réparties du tout de la même façon au sol et en altitude comme si les pipistrelles avaient chassé plus haut en fin de nuit.

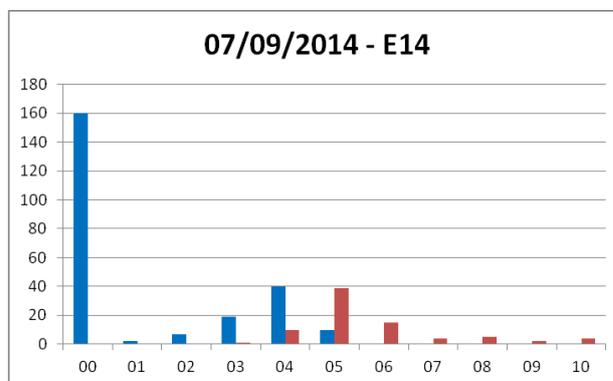


Figure 1 : Nombre de contacts de pipistrelles au sol (bleu) et en altitude (rouge) au niveau des pales de l'éolienne n° 14 (nuit du 7 au 8 septembre) en fonction de l'heure après le coucher du soleil

3 - SUIVI DE MORTALITE AU SOL

3.1 - Protocole du suivi de mortalité sur le terrain

Le protocole d'étude directe de la mortalité implique la recherche de cadavres au sol. Mis à part la période totale d'étude (26 août à fin octobre 2014), le protocole tient compte des informations des publications scientifiques et des recommandations des milieux associatifs, d'Eurobats et de certaines DREAL.

La période d'étude correspond au transit automnal (dispersion/migration), réputé pour être la principale période de mortalité.

La mortalité générée par les éoliennes est liée aux collisions avec les pales (avec contusion, fractures etc.) et/ou, au moins pour le cas des chauves-souris, un effet barotraumatique générant des hémorragies internes (Baerwald et *al.*, 2008).

3.1.1 - Recherche des cadavres et surfaces prospectées

Lors des collisions, les victimes sont projetées au sol à des distances d'éloignement aux mâts qui sont variables. Selon certains suivis, des cadavres ont été retrouvés jusqu'à 100 mètres des mâts. Néanmoins, ces distances ne concernent qu'une très faible proportion d'individus et lors du barotraumatisme il n'y a pas de véritable projection.

Cadavre de Pipistrelle indéterminée sur le Parc du Lomont (02/09/2014) - A. D'agostino-Plaisance (Ecosphère)



Conformément aux recommandations formulées par EUROBATS (Rodrigues et *al.*, 2008), la prospection du terrain doit donc s'effectuer dans un rayon minimum de 50 mètres autour des mâts des machines. Habituellement, l'observateur réalise des transects le long d'un carré de 100 m de côté dont le centre est occupé par le mât de l'éolienne. Chaque transect est espacé de 5 m ce qui permet à l'observateur de rechercher la présence de cadavre sur une largeur de 2,5 mètres de part et d'autre de sa ligne de déplacement. En effet, Arnett et *al.*, (2005) démontrent que l'efficacité chute fortement au-delà d'une distance de 3 m. De la sorte, il réalise 11 transects pour s'éloigner au maximum de 50 mètres des mâts.

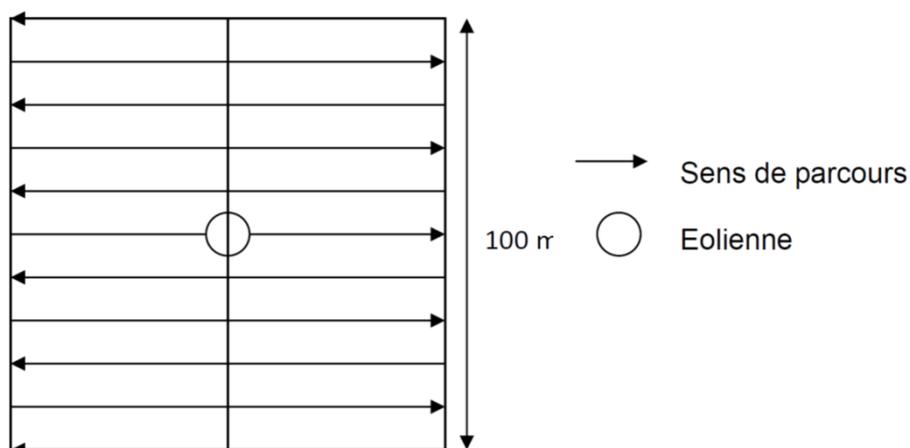


Figure 2 : Schéma représentatif des transects

Si le suivi direct de la mortalité se révèle pertinent pour évaluer les effets d'un parc, il peut s'avérer extrêmement difficile en milieu forestier voire impossible dans certains cas (Cornut & Vincent, 2010) car les cadavres ne peuvent être découverts en milieux forestiers⁷. Seule la plateforme autour des mâts des éoliennes est prospectable ainsi que les chemins d'accès ou les éventuelles clairières. Dans cette étude, la surface prospectée autour de chaque mât s'est donc limitée aux aires de grutages et aux chemins d'accès (cf. tableau et cartes ci-dessous).

Parc	Eolienne suivie	Surface prospectée	%
Pays de Montbéliard	E4	0,18	23
Lomont ouest	E10	0,20	26
Lomont est	E14	0,32	41

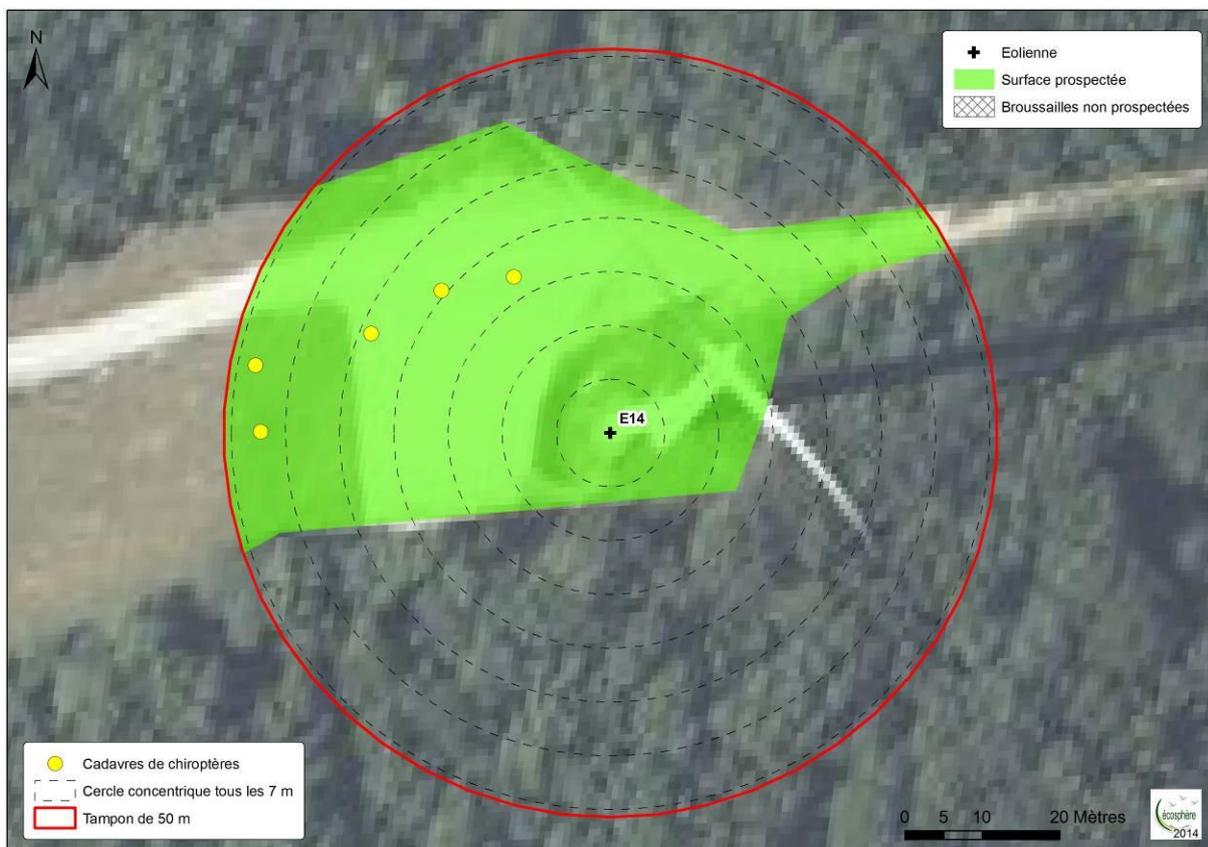


Carte 5 : Surface prospectée sous l'éolienne E04 et position des cadavres trouvés

⁷ Dans certains pays des chiens dressés spécialement ont été testés mais pas en milieu forestiers



Carte 6 : Surface prospectée sous l'éolienne E10 et position des cadavres trouvés



Carte 7 : Surface prospectée sous l'éolienne E14 et position des cadavres trouvés

3.1.2 - Calendrier du suivi

Le suivi de la mortalité a été entrepris deux fois par semaine du 26 août au 31 octobre inclus. Les passages ont eu lieu les mardis et vendredis qu'elles que soient les conditions météorologiques. L'écart moyen entre deux passages était donc de 3,5 jours.

Au cours des 20 passages, deux observateurs se sont relayés après un premier passage commun pour caler les éléments de méthode. Les conditions météorologiques (direction et force du vent, nébulosité, pluie, température etc.) ont été relevées à chaque passage.

3.1.3 - Relevés des cadavres

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

- Localisation du cadavre par rapport à l'éolienne : coordonnées GPS, direction et distance au mât, substrat ;
- Etat du cadavre : degré de dégradation, type de blessure apparente, temps estimé de la mort, analyse des causes de mortalité, etc. ;
- Selon les besoins des mesures complémentaires ont été relevées : sexe, biométrie (longueur de l'avant-bras, du 3ème et/ou du 5ème doigt, etc.).

Les cadavres ont été photographiés mais n'ont pas pu être prélevés pour deux raisons :

- En France, les arrêtés du 23 avril 2007 et du 29 octobre 2009, fixant la liste des mammifères et des oiseaux protégés, stipulent que tous les chiroptères et une très grande majorité des oiseaux sont protégés sur le territoire national. Sont notamment interdits sur tout le territoire métropolitain et en tout temps la capture, l'enlèvement, la détention ou encore le transport de spécimens prélevés qu'ils soient morts ou vivants.
- Le fait de laisser les cadavres sur place permettait de réaliser des tests de persistance en lien avec les enlèvements par les carnivores, charognards ou détritivores.

3.2 - Résultats bruts

Le tableau ci-dessous présente les espèces et les effectifs recensés :

Parc	Eolienne suivie	Espèces et effectifs trouvés
Pays de Montbéliard	E4	1 Pipistrelle pygmée (probable) et 2 pipistrelles communes
Lomont ouest	E10	4 pipistrelles communes
Lomont est	E14	5 pipistrelles communes
total		1 Pipistrelle pygmée (probable) et 11 pipistrelles communes

Le caractère probable de la Pipistrelle pygmée provient de la difficulté à la différencier de la Pipistrelle commune dont elle n'a été séparée en tant qu'espèce que récemment (dans les années 90). Néanmoins, le faisceau de critères utilisés tend à montrer qu'il s'agit bien de cette espèce. Les caractéristiques acoustiques montrent également qu'elle est ponctuellement présente sur le site.

D'une façon générale, le sex-ratio des cadavres était équilibré (50-50) et les cadavres ont été découverts à 83 % dans un état frais, ce qui laisse supposer qu'ils dataient de la veille seulement.

La plupart des cadavres ont été trouvés au cours du mois de septembre (cf. figure ci-après)

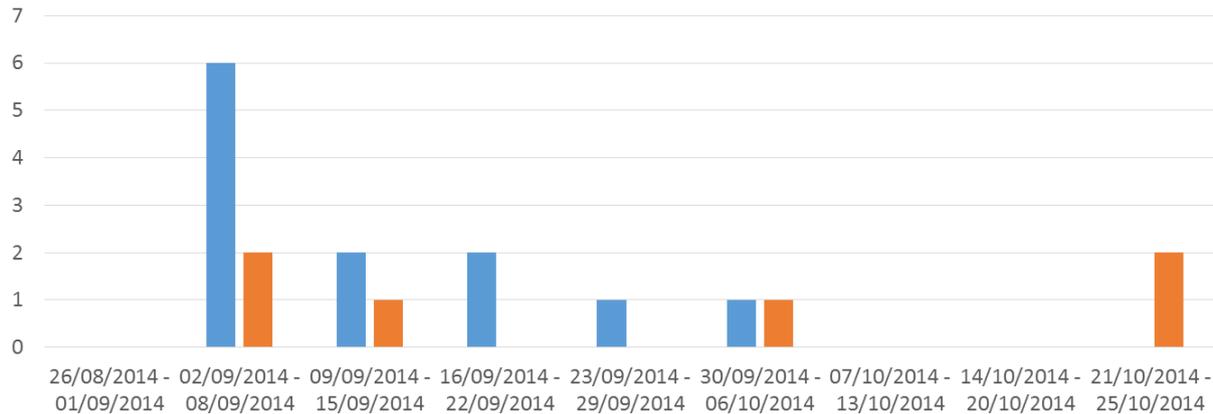


Figure 3 : Nombre de cadavres trouvés par période de 7 jours
bleu : chiroptères / orange : oiseaux

3.3 - Méthode d'estimation de la mortalité

Des différences importantes peuvent exister entre la mortalité brute découverte lors du suivi et la mortalité réelle et ce pour 4 raisons :

- La surface prospectée ne correspond pas toujours à la surface où les cadavres sont présents particulièrement en milieu forestier comme ici
- La performance de l'observateur pour la découverte des cadavres peut varier selon les personnes mais aussi dans le temps (pousse de la végétation présence des feuilles mortes, etc.)
- Les cadavres disparaissent plus ou moins vite en particulier selon l'abondance des charognards, les disparitions pouvant avoir lieu dans la nuit même ou sur un nombre de jours plus ou moins long (persistance des cadavres)
- Le développement plus ou moins fins des modèles statistiques utilisés pour tenir compte des paramètres précédents.

3.3.1 - Modèles statistiques utilisés

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. Cette probabilité est fonction du taux de persistance des carcasses (p), de l'efficacité du chercheur (d) et de la surface réellement contrôlée (a).

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, Korner-Nievergelt et *al.*, 2011).

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, Korner-Nievergelt et *al.*, 2011) comparativement aux différentes méthodes les plus modernes présentées ci-dessous (Jones, Huso et Korner).

En fait, l'utilisation d'une relation exponentielle (Jones, Huso) ou d'une relation statistique complexe (Korner) rendent l'analyse plus fine avec en particulier un poids plus important donné à la probabilité de disparition des cadavres. La formule de Korner-

Nievergelt *et al.*, (2011) est en moyenne la méthode la plus fiable notamment lorsque l'efficacité du chercheur et le taux d'enlèvement des cadavres par les prédateurs sont constants⁸. Lorsque ces paramètres varient, les biais sont proches entre les différentes approches. Il n'existe à ce jour pas de modèle universel (Bernardino *et al.*, 2013). Par contre, quelque-soit la méthode utilisée, les estimations sont sous-estimées pour des temps de persistances courts et des intervalles de recherches supérieur à 7 jours (Korner-Nievergelt *et al.*, 2011).

Les chapitres suivants justifient les modes de calculs et les paramètres utilisés, mais il faut toujours tenir compte des marges d'erreur qui sont plus sensibles sur le parc du Lomont que sur d'autres études en lien avec le caractère forestier et la durée partielle du suivi (Bernardino *et al.*, 2013).

3.3.1.1 - Ajustement de la surface réellement contrôlée

L'une des principales difficultés consiste à corriger les données en fonction de la surface réellement prospectée par rapport à la surface théorique du protocole. Ces différences sont liées en général à la topographie et/ou 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. 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, sachant que sur le parc du Lomont la distance au mât (cf. chapitre correspondant) semble plus grande que dans d'autres études. Pourtant, plus l'on s'éloigne du mât, plus la surface non prospectée est importante.

En général, on ajuste les estimations de mortalité totale par une simple relation de proportionnalité surfacique selon la formule suivante :

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

Cette formule ne tient pas compte de la distribution des carcasses sur le terrain⁹ en considérant qu'elles sont réparties de façon homogène sur le terrain. Huso *et al.* (2010) ont estimé que cela conduit probablement à une surestimation de la mortalité (Huso *et al.* 2010).

Une autre formule développée par Arnett *et al.* (2005)¹⁰ 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)

⁸ Ou supposé constants comme dans notre cas

⁹ Cette formule repose sur le fait que la distribution des cadavres est homogène dans l'espace

¹⁰ Aussi utilisée en France par Cornut et Vincent (2010) par exemple

Sur le parc du Lomont, la distribution des cadavres observés n'est pas forcément représentative de la réalité en raison d'un faible nombre de cadavres et de la faible proportion de surface prospectée (20-40 %).

De plus, la majorité des cadavres (93 %) ont été retrouvés à plus de 30 mètres dans les cercles concentriques les moins prospectés, alors qu'habituellement la plupart des cadavres sont trouvés près du mât dans les 20 premiers mètres. Cela engendre a priori une sous-estimation de la mortalité mais cette formule permet de donner un seuil minimum.

Afin d'obtenir une fourchette, cette étude utilisera les deux formules :

- Simple proportionnalité pour le seuil haut des estimations
- Formule d'Arnett pour le seuil bas des estimations

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Cercle concentrique prospecté	E04		E10		E14	
	proportion de surface prospectée	Nbr.de cadavres découverts	proportion de surface prospectée	Nbr.de cadavres découverts	proportion de surface prospectée	Nbr. de cadavres découverts
< 7	0,92	0	1,00	0	1,00	0
< 14	0,45	1	0,59	0	0,84	0
< 21	0,37	0	0,53	0	0,64	0
< 28	0,27	1	0,30	1	0,50	1
< 35	0,23	1	0,21	0	0,41	2
< 42	0,16	0	0,18	2	0,31	0
< 49	0,13	0	0,14	1	0,22	2
Surface prospectée	1769 m ²	3	2021 m ²	4	3108 m ²	5
Proportion simple	1,77		1,73		1,59	
Formule Arnett	3,40		5,48		3,17	
Coefficient moyen retenu	1,70 en proportion simple et 4,02 selon Arnett et <i>al.</i> (2005)					

Tableau 5 - Coefficients

3.3.1.2 - Modèle de Jones (2009)

La méthode proposée par Jones et al. (2009), retenue pour cette étude, pour estimer la mortalité repose sur plusieurs 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 (T_m = durée moyenne de persistance en jours) :

$$p = e^{-0.5 \times l / T_m}$$

- la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle.

La formule de calcul est la suivante :

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

Avec :

C : nombre de cadavres trouvés

a : coefficient de correction surfacique (cf. ci-dessus)

d : taux de détection par l'observateur

T_m = durée moyenne de persistance en jours

I : Intervalle moyen entre deux visites (3,5 jours pour cette étude)

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 ». Il est en effet logique que plus l'intervalle est long, plus le taux de persistance s'approche de 0. Une carcasse découverte au bout d'un intervalle très long est certainement morte dans l'intervalle effectif qui correspond à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1%. L'intervalle effectif, Î est donc égal à : $-\log(0,01) \times T_m$. Dans le calcul, I prend la valeur minimale entre I et Î.

3.3.1.3 - Modèle de Huso (2010)

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

3.3.1.4 - Modèle de Korner-Nievergelt (2011)

Le nouveau protocole proposé par Korner-Nievergelt *et al.* (2011) est basé sur une formule 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 et la durée de la période de contrôle.

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

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 heures¹¹

¹¹ calculé d'après (<http://www.wildlifefatalityestimator.com/>), basé sur Korner *et al.* 2011

Le nombre de victimes de collision peut donc être calculé à partir de la probabilité de découverte (b), le coefficient de correction surfacique (a) et le nombre de cadavres collectés (C) grâce à la formule de Niermann et *al.* (2011) : $N=C/(b*a)$.

Cette formule 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, même si la formule permet de les faire varier. Elle a aussi été utilisée pour les données de Lomont.

3.3.2 - Tests d'efficacité de l'observateur

Toutes les méthodes, dont celle de Jones utilisée ici, utilisent le 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 (Niermann et al., 2011) et surtout du couvert végétal (Rodrigues et al., 2008).

Pour évaluer le taux d'efficacité, il convient habituellement de réaliser des tests de détectabilité. Ils sont effectués 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 (Rodrigues et al., 2008). 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.

Toutefois, dans le cadre de cette étude en contexte forestier, aucun test n'a été effectué et il a été considéré :

- Que l'efficacité de l'observateur ne variait pas dans le temps ;
- Que l'efficacité de l'observateur était quasi optimale (cf. infra, taux de 0,9) et que la différence d'efficacité entre les observateurs n'était pas significative.

L'efficacité optimale est égale à 0,99¹² mais on ne peut pas la considérer comme atteinte par défaut. Si le taux choisit doit être modulé, il reste élevé avec toutes les chances qu'il soit a minima supérieur à 0,80 pour les raisons suivantes :

- Seuls les aires de grutages et les chemins d'accès ont été prospectés avec une végétation inexistante ou rase;
- Dans la zone de prospection, la hauteur de végétation est faible (cf. photos du début de rapport) et l'évolution de la végétation au cours de la période d'étude (26 août à fin octobre) a été très limitée ;
- Les surfaces prospectées par éolienne sont faibles à moyennes (20 à 40%) ce qui limite la baisse d'attention ;
- Dans des conditions similaires (éoliennes situées sur un col montagneux, contexte forestier, surfaces contrôlées faibles), ce taux oscillait de 0,8 à 1 (moyenne 0,93) sur le parc de la Répara-Auriples (Cornut et Vincent, 2010).

Ainsi, après analyse, il a donc été considéré un taux de détection (d) équivalent à 0,90.

3.3.3 - Persistance des cadavres

Comme vu précédemment, le taux de persistance des cadavres est une donnée fondamentale. La durée de persistance des carcasses en jours dépend à la fois de la pression de prédation locale et de la capacité de dégradation in situ des animaux morts. Une partie des chauves-souris 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.

¹² La formule ne pouvant pas marcher pour d=1

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, en Allemagne, Niermann et al. (2011) ont annoncé que le taux de persistance variait de 1,3 à 24,5 jours pour une valeur moyenne de 4,2 jours. Sur deux parcs éoliens forestiers de France, celui-ci variait en moyenne de 1,3 à 2,5 jours (Cornut et Vincent, 2010) & de 2,59 à 2,70 (Beucher et al., 2013). En fonction des périodes, ce taux peut atteindre une valeur nulle ou très petite c'est-à-dire que les cadavres disparaissent très rapidement.

Le taux d'enlèvement équivaut à la proportion de dépouilles qui demeurent durant l'intervalle compris entre deux recherches (Cornut et Vincent, 2010). Des tests de disparition de cadavres peuvent ainsi être effectués sur le terrain et d'après les recommandations d'Eurobats (Rodrigues et al., 2008), 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. Idéalement, chaque test dure 10 jours consécutifs¹³.

Dans le cadre de cette étude, il n'y a pas ou peu d'évolution de la végétation au cours de la période d'étude (25 août à fin octobre inclus). Le caractère forestier laissait aussi présager un nombre relativement important de carnivores ce qu'a confirmé la pose d'un appareil photographique automatique (Reconyx HC500)¹⁴ disposé pendant une durée de 2 à 4 semaines par éolienne.



Eolienne suivie	Période de suivi par piège photographique Reconyx
E04	26 août au 9 septembre (15 j)
E10	13 au 26 septembre (12 j)
E14	3 au 31 octobre (28 j)

Appareil photographique Reconyx au niveau l'éolienne E14

Cette opération a permis de confirmer la présence quasi-quotidienne d'un panel de carnivores au pied des éoliennes : Chat forestier, Hermine, Fouine/Martre des pins, Putois d'Europe et Renard roux¹⁵. Il faut surtout noter l'omniprésence du Renard roux qui prospecte régulièrement les plateformes des éoliennes. Il est possible que certains individus se soient « spécialisés » dans la recherche de cadavres au pied des éoliennes.

¹³ Dans l'idéal, des cadavres de chauves-souris ou de petits passereaux préalablement décongelés devraient être utilisés. Pour des raisons juridiques (dérogation), de praticité et d'approvisionnement, ils sont couramment remplacés par des poussins d'un jour ou des rongeurs.

¹⁴ Cette technique a aussi été employée par Niermann et al., (2011)

¹⁵ Le Sanglier, le Blaireau d'Eurasie et la Belette sont également présents (Ater, 2007) dans les environs



Renard roux prospectant la plateforme de l'éolienne E10

Afin d'estimer le taux de persistance, il a été privilégié une analyse à partir des cadavres trouvés à chaque passage. Afin de disposer d'un plus grand nombre de données, les cadavres d'oiseaux trouvés ont aussi été considérés dans les calculs. Ainsi, un contrôle de 18 cadavres laissés sur place à chaque passage a permis d'estimer le taux selon les modalités exposées ci-dessous.

Il a été décidé de considérer des valeurs de T_m et de p communes aux trois éoliennes car :

- Le nombre de cadavres trouvés par éolienne est insuffisant pour constituer un jeu de données utilisable pour déterminer des coefficients propres à chaque éolienne ;
- Le contexte environnemental des 3 éoliennes est très homogène et ne présente pas de différences significatives (type d'habitat, carnivores présents, etc.) ;
- En Europe, il a été démontré que les taux de persistances sont constants dans le temps (Behr et *al.*, 2009 in Korner-Nievergelt et *al.* 2011) ;
- Tous les cadavres trouvés appartiennent au genre *Pipistrellus*, ce qui réduit les biais liés à la taille des animaux tués.

Date de découverte des cadavres	Nombre de cadavres découverts	Contrôle N + 3,44 j	Contrôle N + 7 j	T_m^{16}	P^{17} (n + 3,44j)
02/09/14	8	3	0	1,125	0,375
09/09/14	1	1	1	7	1
12/09/14	2	0	0	0	0
16/09/14	2	0	0	0	0
26/09/14	1	0	0	0	0
30/09/14	1	0	0	0	0
03/10/14	1	0	0	0	0
21/10/14	1	1	0	3	1
24/10/14	1	0	0	0	0
28/10/14	1	0	0	0	0
Total	18	5	1	1,15	0,28

Tableau 6 - Persistance des cadavres trouvés sous les éoliennes

Il faut rappeler que dans cette étude la date réelle de la mort des individus n'est pas connue, ce qui a pour objet de minimiser la valeur de T_m . Une chauve-souris tuée au cours

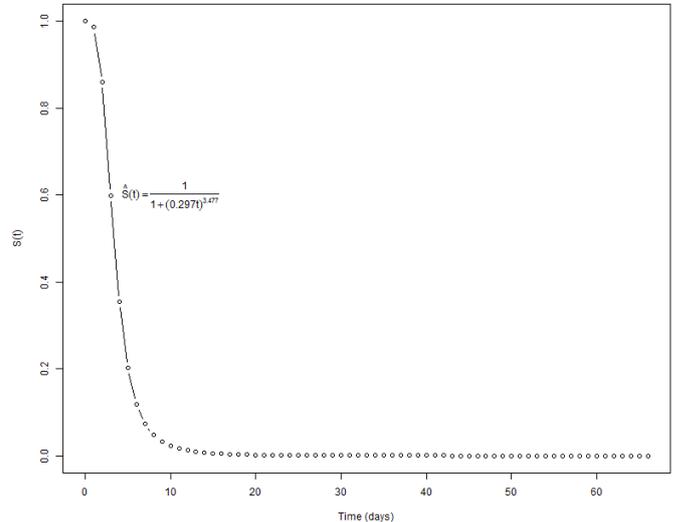
¹⁶ Durée moyenne de persistance (en jours), non calculé pour à n+3,56j car données trop faibles

¹⁷ Taux de persistance durant l'intervalle

de la nuit N, découverte au jour J et non retrouvée à n+3,5 jours, peut avoir disparu à la nuit n+1, n+2 ou n+3. C'est pourquoi, sur la base de l'état de fraîcheur des cadavres trouvés sur le parc¹⁸, des observations photographiques et des analyses bibliographiques il a été considéré une journée (nuitée) de plus pour les intervalles de contrôle pour n+3,5. Cette journée n'a pas été rajoutée à l'intervalle n+7 car le cadavre de roitelet du 9/9 n'a jamais disparu. La valeur de Tm qui en résulte est 1,43. Le taux de disparition des chauves-souris est de 72 % à n+3,5 jours et de 94 % à n+7 jours.

Cela indique un taux de prédation élevé, ce qui n'est pas étonnant vu les caractéristiques paysagères du parc. Même en considérant, un intervalle de contrôle maximum (à n+3 nuits), ce taux ne dépasserait pas une valeur de 2,30 et resterait élevé. Ce taux retenu est tout à fait comparable à ceux obtenus sur le parc de La Répara dans un contexte forestier similaire avec 1,3 à 2,3 jours (Cornut et Vincent, 2010).

Figure 4 : Modèle statistique montrant l'évolution de la probabilité de prédation des cadavres au cours du temps sur le site d'étude (selon modèle de Korner)



Santos et al. (2011) 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.

Un autre test a été réalisé afin de confirmer la prédation des cadavres de chauves-souris par de potentiels carnivores. Un cadavre, découvert le 26/09 au niveau de l'éolienne E10, a été laissé directement devant l'appareil photographique. Celui-ci a été récupéré par un Renard roux 3 nuits après, la nuit du 28 au 29 septembre 2014 (cf. photo ci-dessous).



Renard roux récupérant un cadavre de pipistrelle sur la plateforme de l'éolienne E10

¹⁸ L'état de fraîcheur de 83 % des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris laisse supposer qu'ils dataient de la veille seulement.

3.3.4 - Correctif lié à la période d'étude

Pour ajuster la mortalité du nombre de chiroptères par éolienne par an, il est nécessaire d'extrapoler les résultats trouvés pour la période de suivi (66 jours) à la période principale d'activité des chauves-souris soit une durée de 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 et le graphique ci-dessous montre ainsi l'importance de la période située entre le 15 juillet et le 31 octobre. La mortalité annuelle proposée dans le chapitre de synthèse ci-dessous a ainsi tenue compte d'une augmentation de 20 % par rapport aux résultats trouvés.

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 ^{er} aout
Dulac, 2010	91 % après le 1 ^{er} juillet
Rydell et al., 2010	90 % entre fin juillet et début octobre

Tableau 7 - Données bibliographiques sur la mortalité après le 15 juillet

Néanmoins, un suivi sur mât de mesure réalisé par Ecosphère entre avril et octobre 2011 dans un milieu bocager à proximité d'Argenton-sur-Creuse (36) montrait à l'inverse que près de 56 % des contacts de chauves-souris ont été enregistrés d'avril à juin (surtout en mai). Mais la corrélation de l'activité enregistrée en altitude et de la mortalité effective n'est probablement pas la même selon la période de l'année (les jeunes inexpérimentés sortent à partir de juillet seulement).

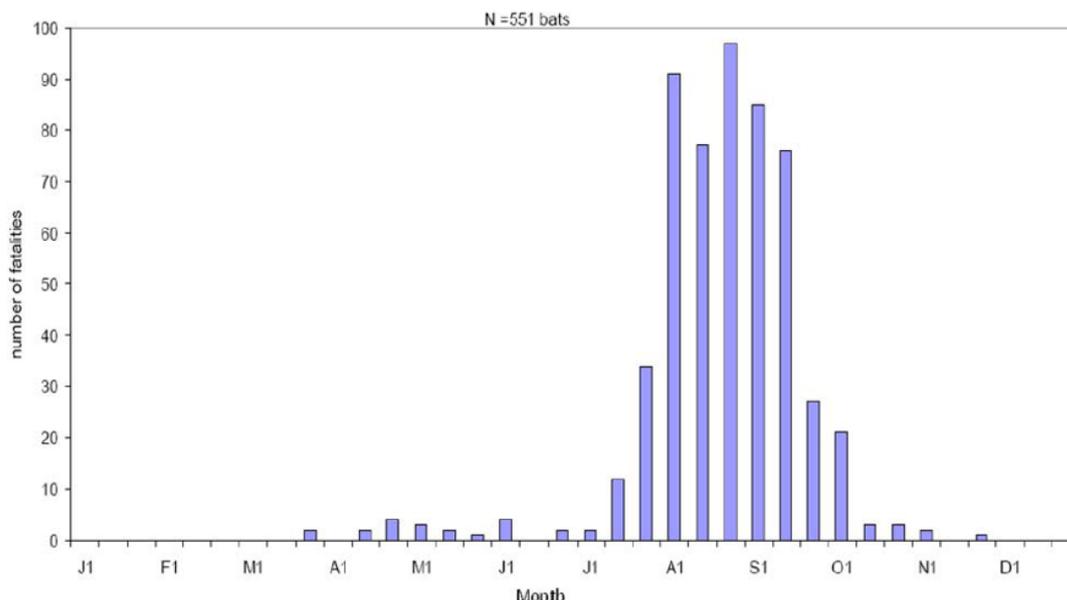


Figure 5 : Mortalité des chiroptères selon la saison en Allemagne (Dürr, 2007 in Dubourg-Sauvage et al., 2009)

3.3.5 - Distance au mât

La distance moyenne au mât des cadavres est de 31,9 m avec 92 % des spécimens trouvés au-delà de 21 m (cf. graphique ci-dessous)¹⁹. Un seul cadavre a été trouvé à une distance inférieure à 20 m alors qu'habituellement 70 à 80 % des cadavres sont retrouvés dans les 20 premiers mètres par rapport au mât des éoliennes (Beucher et al. 2013, Cornut & Vincent 2011, Ecothème 2012, & Lagrange 2011, etc.).

Aucune explication directe ne peut être fournie mais la figure 7 montre éventuellement un effet « lisière » : le nombre de carcasses serait plus important lorsque les lisières (représentées à travers la zone prospectée) seraient proches des extrémités de pales. Le nombre de données n'est cependant pas suffisamment important pour pouvoir tirer des conclusions.

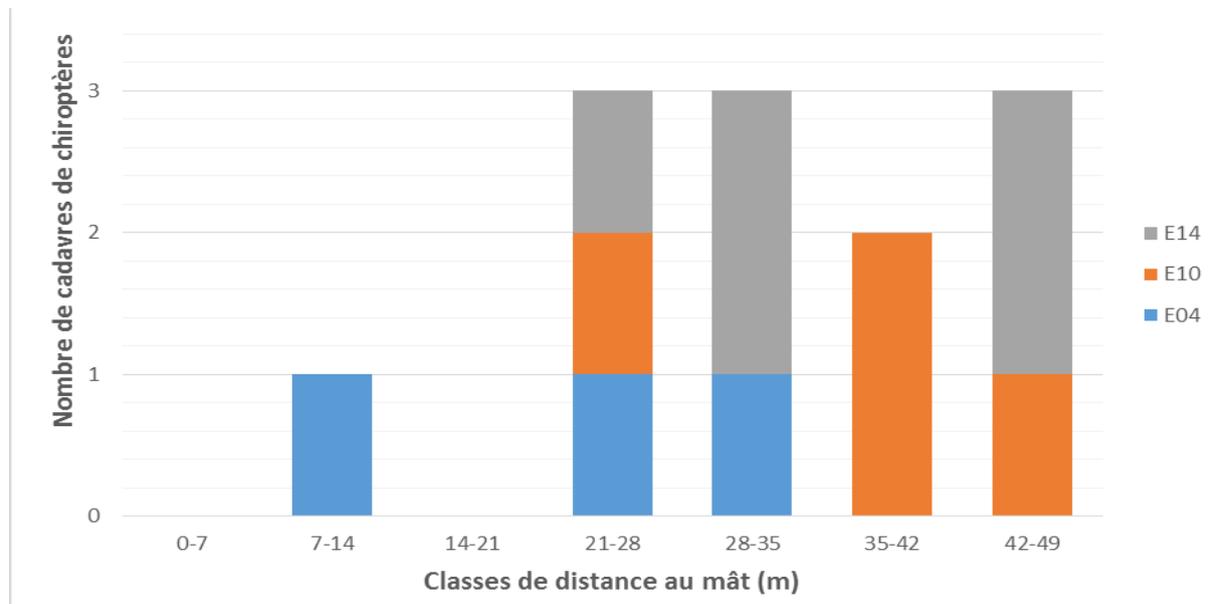


Figure 6 : Nombre de cadavres trouvés selon les classes de distance au mât (m)

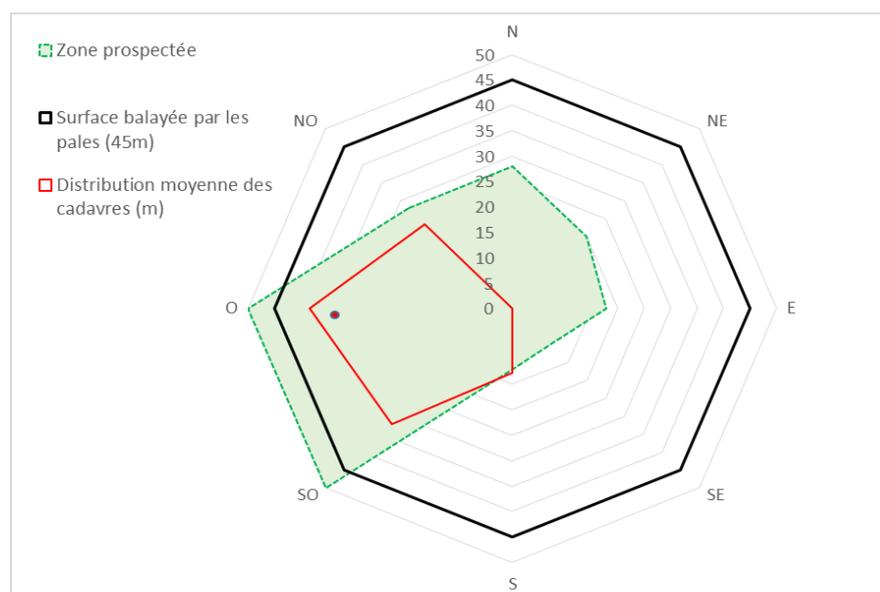


Figure 7 : Distribution moyenne des cadavres en fonction de la surface prospectée (en rouge : position moyenne des cadavres)

¹⁹ Cette distance moyenne pourrait être corrigée à 35,9 m en utilisant les formules d'Arnett et al., (2005)

3.4 - Résultats de synthèse sur la mortalité estimée

Sur la base des différents éléments méthodologiques présentés ci-dessus, la mortalité par éolienne par an a été estimée à partir des paramètres suivants:

Paramètres	Explications	Formule	Valeurs
C	nombre de cadavres brut découverts sous les 3 éoliennes	-	12,00
d	taux de détection	pas de test effectué	ajustée à 0,9
p brut	taux de persistance durant l'intervalle (3,5 jours)	= nbr. de cadavres contrôlés / nbr. de cadavres au départ	0,28
p selon Jones		= $\exp[-0,5 * (l/tm)]$	0,37
P selon Korner	Proportion de chauves-souris tuées non disparues en 24h	calculé d'après (http://www.wildlifefatalityestimator.com/)	0,53
tm	durée moyenne de persistance (en jours)	= [(nbr. de cadavres à j+3,5) + (nbr. de cadavres à j+7)] / nbr. de cadavres au départ	ajusté à 1,43
l	intervalle moyen entre 2 visites	-	3,50
î	intervalle effectif	= $-\log(0,01) \times tm$	2,86
ê	coefficient correcteur de l'intervalle	= $\text{MIN}(l : \hat{l}) / l$	0,82
A	coefficient de correction surfacique selon Arnett		4,02
a	coefficient de correction surfacique selon une relation simple	-	1,70
n	nombre de recherches	-	20
	Ajustement des périodes		20 %

Tableau 8 - Récapitulatif des différents coefficients et paramètres de mortalité

Il est réalisé dans les figures ci-dessous une estimation basse (proportion corrigée selon Arnett pour le correctif surfacique) et une estimation haute (proportion simple pour le correctif surfacique).

La mortalité moyenne par éolienne par an est ainsi comprise entre 7 et 16 chauves-souris. Les extrêmes vont de 5 (éolienne E10) à 22 (éolienne E14). L'écart important entre les estimations est lié aux faibles surfaces prospectables et au temps de persistance très court des cadavres (Bernardino et al., 2013 ; Korner-Nievergelt et al., 2013).

TOTAL pour les 3 éoliennes	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour 3 éoliennes pour la période de suivi (66 jours)	11,01	11,48	11,21
Mortalité par éolienne pour la période de suivi (66 jours)	3,67	3,83	3,74
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	5,67	5,92	5,78
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	6,80	7,10	6,97
E04	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour E04 pour la période de suivi (66 jours)	3,25	3,37	3,31
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	5,03	5,22	5,12
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	6,03	6,26	6,15
E10	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour E10 pour la période de suivi (66 jours)	2,70	2,79	2,75
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	4,17	4,32	4,24
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	5,00	5,18	5,09
E14	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour E14 pour la période de suivi (66 jours)	5,82	6,03	5,93
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	9,00	9,32	9,16
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	10,80	11,18	10,99

Tableau 9 - Résultats des estimations basses (« a » selon Arnett)

TOTAL pour les 3 éoliennes	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour 3 éoliennes pour la période de suivi (66 jours)	26,13	27,10	26,62
Mortalité par éolienne pour la période de suivi (66 jours)	8,71	9,03	8,87
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	13,46	13,96	13,71
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	16,15	16,75	16,45
E04	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour E04 pour la période de suivi (66 jours)	6,27	6,51	6,39
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	9,69	10,05	9,87
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	11,63	12,06	11,85
E10	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour E10 pour la période de suivi (66 jours)	8,54	8,84	8,69
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	13,19	13,66	13,43
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	15,83	16,40	16,11
E14	Jones	Korner	Moyenne
Mortalité pour E14 pour la période de suivi (66 jours)	11,64	12,06	11,85
Mortalité par éolienne pour la période 15/07-31/10 (102 jours)	17,99	18,63	18,31
Mortalité estimée par éolienne par an (avril-octobre) : +20 %	21,59	22,36	21,97

Tableau 10 - Résultats des estimations hautes (« a » en proportion simple)

L'éolienne E14 semble de l'ordre de deux fois plus impactante que les éoliennes E04 et E10. L'explication peut tenir à deux phénomènes :

- L'environnement de l'éolienne avec la prairie pâturée et la plus grande distance cumulée de lisière ;
- Eventuellement une meilleure estimation du coefficient de correction surfacique du fait de la plus grande surface prospectée (près 40 % du total).

Pour juger comment les résultats se situent par rapport aux autres parcs où des études équivalentes ont été menées, le Tableau 11 présentent les quelques rares données disponibles.

Référence	Année d'étude	Contexte de l'habitat	Jones	Korner
Exen, 2013 <i>Parc de Castelnau-Pégayrols</i>	2009	Crête aveyronnaise à plus de 1.000 mètres d'altitude avec forêt, prairies et cultures. En 2009, une problématique de lumière a créé une surmortalité	26,64	-
	2010		1,31	-
	2011		0,9	-
Cornut et Vincent, 2010 <i>Parc du Pouzin</i>	2010	Plaine alluviale du Rhône à proximité de zones boisées	86,94	-
Cornut et Vincent, 2010 <i>Parc de la Répara</i>	2010	Col forestier en bordure des Préalpes	75,99	-
Roux et al., 2013	2013	Plaine alluviale du Rhône à proximité de zones industrielles	5,65	-
Guegnard et Condette, 2013 <i>Parc de Bouin</i>	2004-2006-2009	Zone littorale de l'Ouest de la France	10,9	-
Guegnard et Condette, 2013 <i>Parc du Bennet</i>	2008-2009	Plaine cultivée de l'Ouest de la France	1,4	-
Guegnard et Condette, 2013 <i>Parc Le Bernard</i>	2008-2011		1,8	-
Niermann et al. 2011	2007-2008	Moyenne sur 30 mats situés sur 9 parcs allemands	-	9,5
Rydell et al., 2010 <i>Fourchette moyenne pour les parcs du nord-ouest de l'Europe</i>	-	plaines de cultures loin des côtes	0 à 3	
		paysages agricoles plus riches	2 à 5	
		Côtes littorales, collines boisées et crêtes	5 à 20	

Tableau 11 - Comparaison des résultats avec d'autres sites

Il ressort de la comparaison les éléments suivants :

- Les parcs Lomont-Pays de Montbéliard ne présentent pas de « surmortalité » contrairement aux parcs étudiés en Rhône-Alpes ou à la première année de suivi du parc de Pégayrols où des phénomènes d'attraction particuliers avaient été mis en évidence (en lien avec des lumières à déclenchement automatique, cf. chapitre sur les recommandations) :
- Les parcs Lomont-Pays de Montbéliard se situent dans la moyenne des parcs allemands ou des données généralement présentées en Europe dans une configuration de ce type ;
- Les Lomont-Pays de Montbéliard ont une mortalité nettement supérieure aux parcs les moins impactés qui se situent entre 1 et 2 cadavres de chauves-souris par éolienne par an ;
- La mortalité n'a porté quasiment que sur la Pipistrelle commune, une espèce peu menacée à ce jour et pour laquelle on peut envisager qu'il s'agisse avant tout de populations locales (sensu lato) et non d'un phénomène lié à la migration. En effet, il semble à la lumière des résultats sur la forêt du Romersberg (57) qu'il puisse y avoir un afflux de pipistrelles dans les zones forestières à partir d'août (S. Roué comm. pers.) sans que l'on sache véritablement s'il s'agit de celles des villages environnants ou d'autres provenant de zones plus lointaines.

Avant de formuler des recommandations, il paraît néanmoins souhaitable de comparer ces résultats avec l'activité enregistrée à hauteur de nacelle.

4 - SUIVI ACOUSTIQUE DES CHAUVES-SOURIS EN NACELLE

4.1 - Protocole technique mis en œuvre

Un suivi acoustique des chiroptères en hauteur a été réalisé du 7 août au 4 novembre 2014 sur les 3 éoliennes E04, E10 et E14 à l'aide de systèmes d'enregistrement automatique des ultrasons (Anabat SD1 et 2 de Titley Scientific™) installés dans chaque nacelle après utilisation ou percement d'un trou de 100 mm de diamètre.

Les Anabats ont correctement été alimentés par une batterie au plomb 12V qui était rechargée avec un chargeur automatique CTEK XS branché sur la prise courant AC à l'intérieur de la nacelle des éoliennes.

La transmission satellite via le modem GML™ de Titley Scientific et la récupération des données via l'application web « getmylog.com » du constructeur s'est avérée non fonctionnelle. Les dizaines de milliers de fichiers parasites liés aux émissions d'ultrasons par les pales constituent la principale cause de la saturation de la télétransmission via le réseau GPRS.

Cette technique, bien adaptée aux mâts de mesures, a donc du être abandonnée au profit du stockage des données sur d'autres supports:

- d'abord sur une carte Compact Flash 4 Go au mois d'août ;
- puis par enregistrement sur un ordinateur portable réglé en basse consommation d'énergie et relié à un onduleur maintenant sa charge en cas de panne d'alimentation pendant une douzaine d'heures au moins.

La première méthode, plus simple apparemment, posait néanmoins la question de la capacité de stockage maximale de 4 Go supportée par les Anabats SD1. La grande quantité des bruits parasites faisait risquer une saturation non analysable sans un contrôle en nacelle (lequel fait intervenir à chaque fois deux techniciens du constructeur plus l'expert d'Ecosphère).

La deuxième méthode a donné pleine satisfaction pour l'éolienne E10 et des résultats corrects pour l'éolienne E14 (arrêt au 17/9, raison inconnue). Par contre, des pannes matérielles sur l'éolienne E04 n'ont pas permis d'obtenir suffisamment de résultats pour l'analyse. Les modalités et résultats sont donc les suivants pour les différentes éoliennes :

➤ **Eolienne E04 :**

Un Anabat SD2 a été posé à l'avant de la nacelle entre les pales et le mât. Les données ont été récupérées pour les nuits allant 7/8 août au 17/18 août 2014 et partiellement la nuit du 9 septembre (11 nuits au total sont exploitables) ;

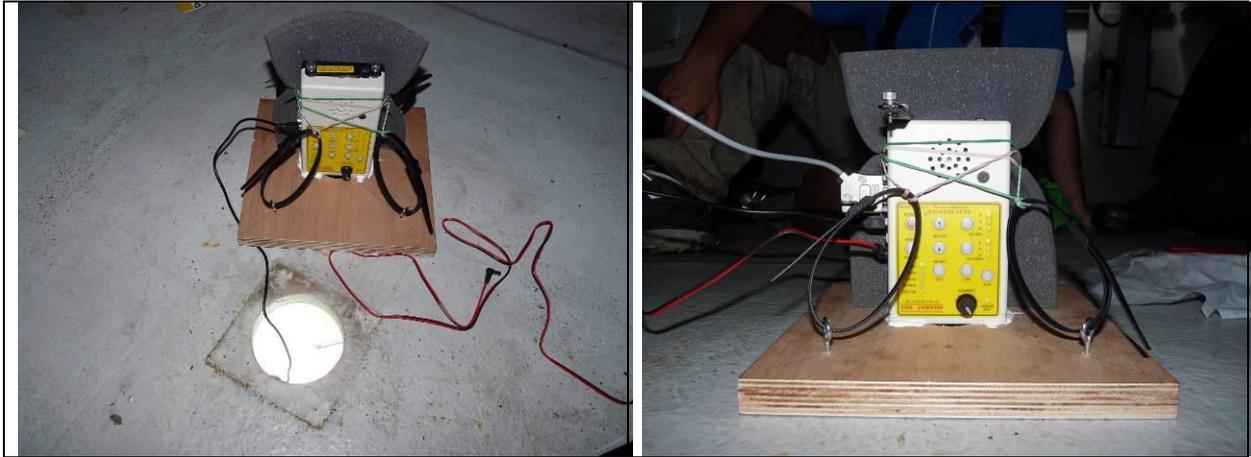


Figure 8 - Installation de l'Anabat SD2 à l'avant d'E04

➤ **Eolienne E10 :**

Un Anabat SD1 a été posé à l'arrière gauche²⁰ de la nacelle. Les données ont été récupérées pour les nuits allant du 7/8 août au 3/4 novembre 2014 (103 nuits) ;



Figure 9 - Installation de l'Anabat et batteries à l'arrière gauche de la nacelle d'E10

➤ **Eolienne E14 :**

Un Anabat SD1 a été posé à l'arrière droit de la nacelle. Les données ont été récupérées pour les nuits allant du 7/8 août au 16/17 septembre 2014 (41 nuits).

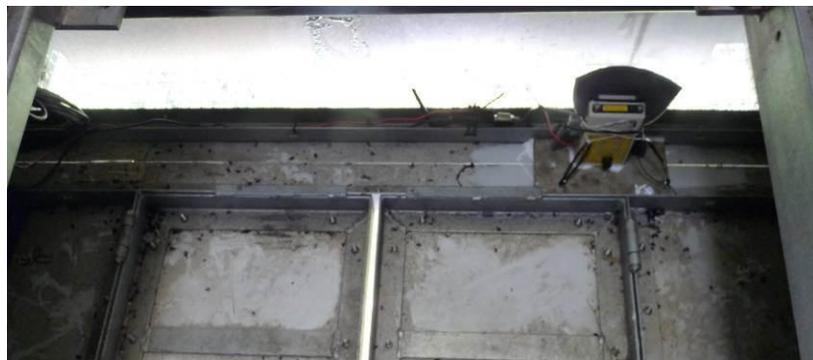


Figure 10 - Installation de l'Anabat et batteries à l'arrière droit de la nacelle d'E14

²⁰ Gauche en étant à l'intérieur de la nacelle faisant face à la trappe arrière, commentaire équivalent pour E14

Idéalement l'usage de cartes Compact flash relevées en nacelle tous les deux mois pourrait s'avérer suffisante mais serait plus coûteuse en intervention sur site.

Le niveau d'analyse sera donc différent selon les éoliennes : elles seront plus qualitatives pour les éoliennes E04 et E14, même si les données de chiroptères pourront être reliées comme les autres aux paramètres météorologiques ou temporels. Pour l'éolienne E10, une analyse beaucoup plus poussée a été réalisée.



Figure 11 : Position du micro de l'Anabat SD2 dans l'éolienne E4 (entre les pales et le mât)

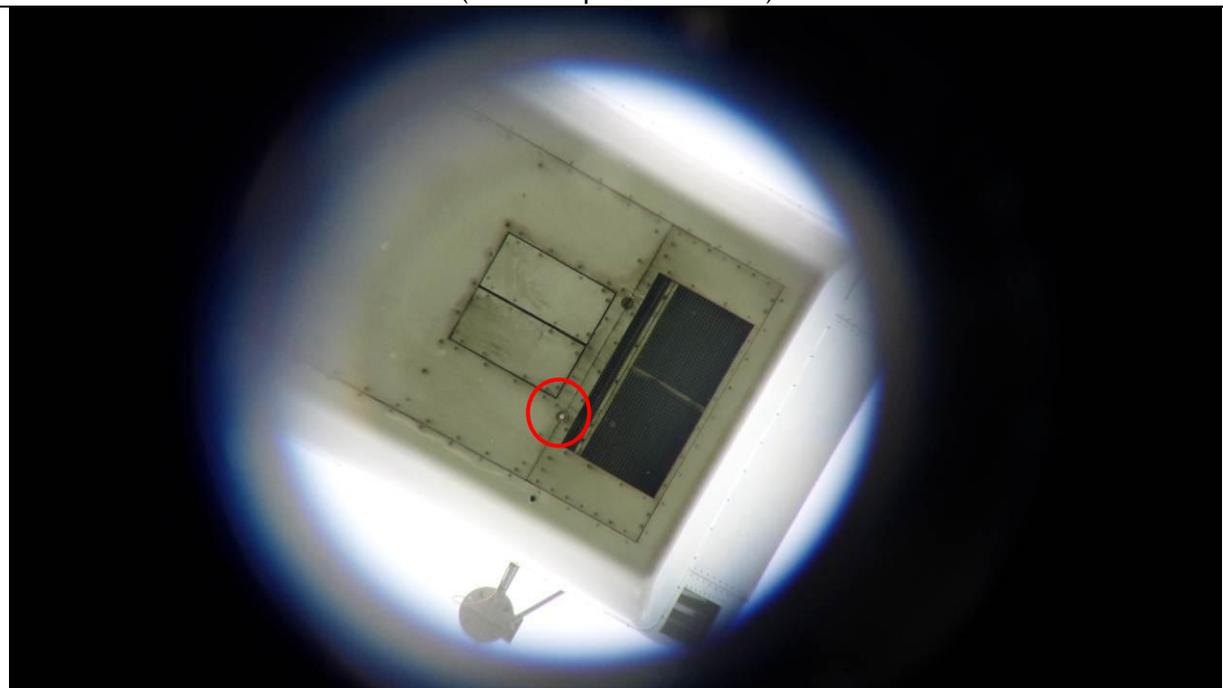


Figure 12 : Position du micro des Anabat SD1 à l'arrière des nacelles dans les éoliennes E10 (rond clair entre la trappe et la grille) et E14 (trou opposé, rond sombre)

4.2 - Méthodologie d'analyse des enregistrements ultrasonore

Tous les sons enregistrés par les micros des Anabats ont été sauvegardés et les trois jeux de fichiers ainsi obtenus comptaient 28.134 fichiers pour E04, 281.081 fichiers pour E10, et 24.348 fichiers pour E14. La totalité des contacts de chauves-souris au sein de ces fichiers devait être isolée pour une identification et une analyse quantitative. Tous les fichiers ont donc été analysés grâce à des filtres anti-bruits qui visent à sélectionner les enregistrements contenant des signaux de chauves-souris tout en évitant les bruits, notamment ceux liés à la rotation des pales compris en 1 et 15 kHz.

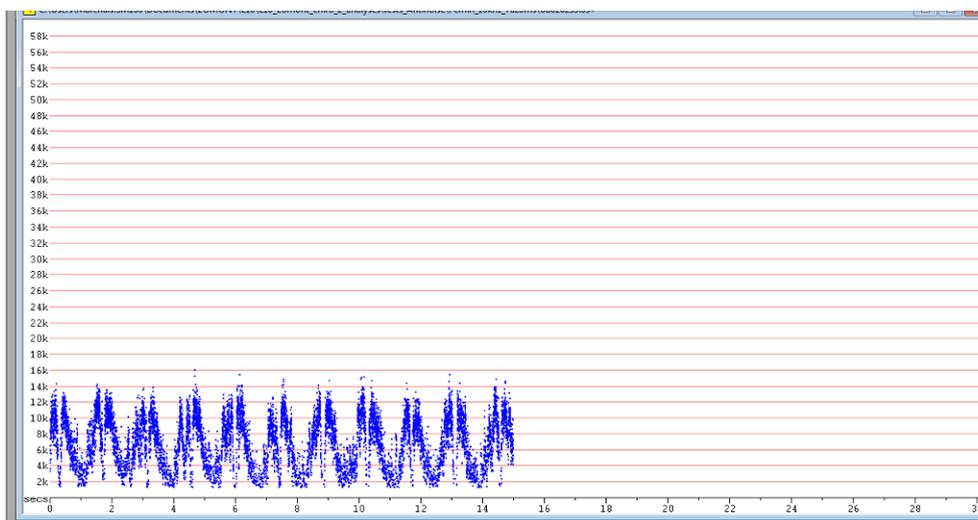


Figure 13 - Exemple de fichiers sous Analook™ ne contenant que des bruits liés à la rotation des pales (vue en temps réel F1)

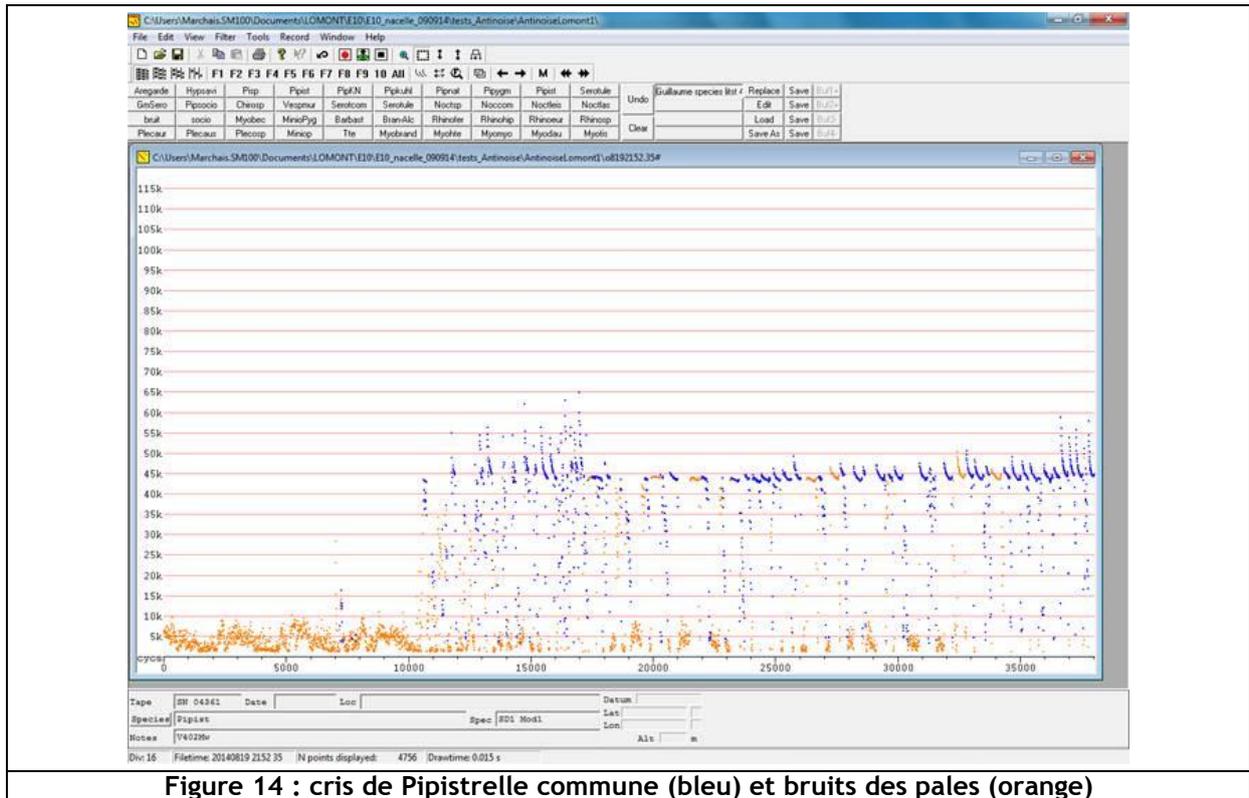
Un premier filtre simple a d'abord été envisagé pour sélectionner tous les signaux ayant des fréquences supérieures à 15 kHz. Néanmoins, étant donné que des enregistrements de la première nuit de suivi (7-8 août) sur l'éolienne E04 correspondaient à des signaux de Molosse de Cestoni émis entre 10 et 14 kHz avec des durées comprises entre 7 ms et 15 ms, d'autres filtres ont dû être élaborés à partir de la fréquence dite caractéristique d'Analook et de la durée. Selon les filtres, les valeurs ont été prises plus ou moins larges en lien avec la qualité des enregistrements. Pour E10, en lien avec l'importance du nombre de fichiers, seuls ceux enregistrés la nuit ont été extraits pour l'analyse.

	E04	E10	E14
Fichiers bruts	28 134	281 081	24 348
Etape 1 : Fichiers restant après premier filtre	890	179 564	17 992
Etape 2 :	Analyse individuelle des 890 fichiers	Suppression des fichiers enregistrés en journée	Fichiers restant après deuxième filtre: 243
Etape 3 :	Vérification avec d'autres filtres	Fichiers restant après deuxième filtre: 9.125	Analyse individuelle des 243 fichiers
Etape 4 :		Analyse individuelle des 9.125 fichiers	Vérification avec d'autres filtres
Etape 5 :		Vérification avec d'autres filtres	

Tableau 12 - Etapes d'analyse et résultats

Enfin, une dernière vérification sans filtre des fichiers bruts a été également effectuée sur des échantillons de plusieurs milliers de fichiers pris aléatoirement.

Il faut signaler, comme le montre la Figure 14, que le bruit des pales n'empêche a priori pas le recueil des signaux de chiroptères.



4.3 - Limites techniques

4.3.1 - Limites liées au matériel utilisé

De manière générale, les résultats obtenus par le suivi d'activité chiroptérologique ne représentent qu'un échantillon pour un volume d'espace aérien donné d'une activité réelle quelle qu'elle soit. Dans le cadre de ce suivi, le micro était placé à 80 m de hauteur et orienté dans une direction pointant vers le sol et variant avec la position de la nacelle de chaque éolienne. Cela signifie que les cris venant d'autres directions n'ont pas forcément été enregistrés. De plus, le constructeur du détecteur (Titley Scientific™) précise que le micro a un volume de détection qui dépend de plusieurs variables, mais dont les plus importantes sont les suivantes :

- la **sensibilité du micro** en général réglée autour de $33 \pm 5 \%$ (gain sur 4) ;
- la **puissance et la fréquence des cris selon les espèces** : les grandes espèces de haut vol (Noctules) émettent des ultrasons à basse fréquence (15-25 kHz) qui parcourent d'assez grandes distances en milieu ouvert, tandis que les petites espèces (Pipistrelles) émettent des ultrasons de moyenne fréquence (35-55 kHz) qui parcourent de plus courtes distances en milieu ouvert. Les distances maximales de détection des espèces ne sont qu'approximatives car les mesures dépendent de nombreux paramètres environnementaux et ne peuvent être chiffrées avec précision à la dizaine de mètres près. Nous avons ainsi considéré les fourchettes de valeurs suivantes²¹ pour ces espèces :

²¹ Ces valeurs ne concernent pas le cas à part des cris dit « sociaux ». Sources bibliographiques : CPEPESC Lorraine, 2009 ; Arthur & Lemaire, 2009 ; Barataud, 1996 et Schober & Grimmerberger, 1998.

- Noctule commune (*Nyctalus noctula*) et Molosse de Cestoni (*Tadarida teniotis*): 100-150 m,
 - Noctule de Leisler (*Nyctalus leislerii*) : 80-100 m,
 - Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) : 40-50 m,
 - Pipistrelles (*Pipistrellus sp.*) : 25-35 m,
- les **conditions météorologiques** ont également une influence, mais dans une moindre mesure.

Le volume de détection représente le volume d'espace aérien échantillonné par le détecteur Anabat SD1 ou 2™. Un logiciel fourni par Titley scientific™, Anavolume™, permet de calculer un volume théorique de détection selon la distance maximale de détection qui varie avec les espèces. Ainsi, la distance maximale de détection est de l'ordre de 20 m pour le genre des pipistrelles (pipistrelloïdes) et de 70 m pour le genre des noctules (nyctaloïdes). Le volume théorique des noctules est nettement plus important que celui des pipistrelles (de l'ordre de 100.000 m³ contre 1.000 m³). Il est à comparer avec le volume de la zone de rotation des pales (l'aire du disque formé par les pales multiplié par une épaisseur d'1 m (50 cm de part et d'autre de la pale), avec R = 45 m, soit 6.361,74 m³).

Si les résultats pour les noctules sont cohérents, les résultats pour les pipistrelles sont donc à considérer comme un minimum d'activité ayant eu lieu dans un volume correspondant à environ 1/6^e du volume à risque estimé d'une seule éolienne. Ces calculs ne visent ainsi qu'à donner un ordre de grandeur.

4.3.2 - Limites liées à l'identification des espèces

Une autre limite concerne les possibilités d'identification catégorique de la Pipistrelle de Nathusius qui est une espèce migratrice, tout comme les noctules. Les signaux analysables sur le logiciel Analook 4™ sont très proches de la Pipistrelle de Kuhl pour les cris émis à des fréquences comprises entre 35 et 40 kHz, et de la Pipistrelle commune pour les cris émis à des fréquences comprises entre 41 et 42 kHz. À notre connaissance, on peut seulement affirmer que tout signal de type « quasi fréquence constante²² » compris entre 38,5 et 41 kHz est plus probablement émis par une Pipistrelle de Nathusius. C'est ce critère qui a été retenu pour son identification catégorique à partir des enregistrements obtenus sans présence de cris sociaux, qui pour leur part sont bien différents (< 20 kHz). Les signaux QFC compris entre 41 et 42 kHz étaient attribués à la Pipistrelle de Nathusius s'ils étaient alternés avec des séquences de signaux en fréquence modulée aplanie qui sont caractéristiques de séquences de chasse. Autrement, une confusion restait possible avec des signaux appartenant à la Pipistrelle commune.

Par précaution, les signaux qui pouvaient être affectés soit à la pipistrelle de Kuhl soit à la Pipistrelle de Nathusius ont été globalisés et dénommés PipKN.

La Sérotine commune et les Noctules commune et de Leisler produisent aussi des émissions sonores très similaires entre 20 et 30 kHz et par conséquent difficiles à discriminer. Le terme « Sérotule », contraction de Sérotine et Noctule, est ainsi couramment employé pour désigner des signaux leur correspondant. La Noctule commune a pu être identifiée catégoriquement uniquement quand un signal en quasi fréquence constante (QFC) avec une fréquence maximale d'énergie (ou fréquence caractéristique selon Analook 4™) inférieure à 20,5 kHz a été enregistré, tandis que la Noctule de Leisler pour des cris en QFC entre 21 et 27 kHz. Les cris de QFC entre 20 et 22 ont été identifiés seulement qu'en « Noctsp » (noctule indéterminée).

²² Quasi fréquence constante (QFC) : qualifie un cri de chauve-souris dont la différence entre la fréquence du début et de la fin du cri est inférieure à 5 kHz.

4.4 - Résultats bruts

Le Tableau 13 présente les résultats globaux en termes de contacts par nuit. La question des parasites apparaît clairement.

	E04	E10	E14	total
Nbr. de nuits d'enregistrements	11	103	41	154
Nbr. de fichiers recueillis	28.134	281.081	24.348	333.563
Nbr. de fichiers avec chiroptères	17	718	324	1.059
Nbr. moyen de contact par nuit	1,5	7	7,9	6,9
Nbr. moyen de parasite par nuit	2.556	2.722	586	

Tableau 13 : résultats bruts en termes de contacts par nuit

Cette question des bruits parasites a été étudiée plus spécifiquement pour la période de suivi durant laquelle les 3 systèmes étaient opérationnels simultanément (du 7 au 18 août) :

- l'Anabat d'E04, placé à l'avant de la nacelle, a produit le plus grand nombre de fichier avec bruits avec en moyenne 2.317 fichiers /jour,
- la différence de bruits entre E10 (1.124 fichiers /jour) et E14 (514 fichiers /jour) est moins importante mais tout de même significative. La raison principale doit être liée à la rotation des pales de chaque éolienne qui diffère selon le régime local des vents. Le gain (ou niveau de sensibilité) du micro d'E14, qui était réglé sur 4 et celui du micro d'E10 sur 4-5, peut aussi partiellement expliquer cette différence.

Le nombre de chauves-souris moyen contacté par nuit est une donnée difficile à manier au vu de l'hétérogénéité des nuits et du faible nombre de nuit pour E04. Plus la durée est longue, plus ce chiffre a du sens avec un chiffre moyen de 6,9 séquences de cris enregistrés par nuit sur le Lomont pour le total des 3 éoliennes. Sur une étude similaire à Castelnau-Pégayrols dans l'Aveyron, le chiffre moyen variait de 21 à 52 selon les éoliennes et les années, soit des chiffres nettement plus élevés. Par contre les chiffres du Lomont sont tout à fait comparables à ceux relevés sur une étude menée en août-septembre 2012 sur 5 sites aux Pays-bas (Limpens et al. 2013). Enfin, en Allemagne, 11 parcs ont été étudiés dans divers environnement en 2007 et 2008 à l'aide d'Anabat en nacelle. Les taux variaient en moyenne de 3,8 en 2007 à 2,61 en 2008, soit un peu plus de deux fois moins que sur le Lomont (Behr et al. 2011).

L'ensemble des contacts de chauves-souris enregistrés pour les trois éoliennes sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Pip.pip.	Pip. KN	Pip pyg	Serotule	N.sp	N. leisler	N. commune	Molos .	sp	Total général
août	217	2	1	8	26	12	0	12	2	280
E04 (7 au 18)					3			<u>12</u>		15
E10 (7 au 31)	104			3	22	4			2	135
E14 (7 au 31)	113	2	1	5	1	8				130
septembre	397	48		19	33	32	5	0	8	542
E04 (9)	2									2

	Pip.pip.	Pip. KN	Pip pyg	Serotule	N.sp	N. leisler	N. commune	Molos .	sp	Total général
E10 (1 au 30)	<u>228</u>	<u>39</u>		<u>16</u>	29	26			8	346
E14 (1 au 17)	167	9		3	4	6	<u>5</u>			194
octobre	64	15		3	107	29	0	0	19	237
E10 (1 au 31)	64	15		3	<u>107</u>	<u>29</u>			<u>19</u>	237
Total général	678	65	1	30	166	73	5	12	29	1.059

Tableau 14 : Résultats cumulés par période et par espèce pour les 3 nacelles

Les maxima de chaque groupe d'espèce sont soulignés. Légende : Pip.= Pipistrellus KN = Kuhl ou de Nathusius, Pip. Pyg = Pipistrelle pygmée, N = Nyctalus, Sérotule = groupe Nyctalus + Eptesicus, sp. = indéterminé

Les points suivants peuvent être soulignés :

- Le groupe des pipistrelles représente 70 % des données alors que les nyctaloïdes représentent 25,8 % des données.
- S'il reste difficile d'identifier à l'espèce tous les nyctaloïdes, il est apparu très probable que la Noctule de Leisler domine fortement. Si l'on en croit Dürr (2014), cette espèce véritablement sensible aux collisions est néanmoins deux fois moins trouvée que la Noctule commune parmi les carcasses en Europe.
- Les contacts de pipistrelloïdes proviennent surtout de la dernière décennie d'août et de la première de septembre, ce qui est assez cohérent avec les périodes de découvertes des carcasses sur le Lomont (cf. supra).
- Les contacts de nyctaloïdes proviennent majoritairement du mois d'octobre.
- On rappellera que seules des carcasses de pipistrelles ont été découvertes sur le Lomont jusqu'à présent, ce qui n'est pas incohérent avec les résultats précédents (y inclus pour la Pipistrelle pygmée).
- Sur l'éolienne E10, des pics de plusieurs dizaines de contacts par heure ont été atteints les 24/08, 06 & 07/09, et 12 & 18/10. Ils étaient principalement produits par la Pipistrelle commune.
- Sur l'éolienne E10, les contacts se sont étalés jusqu'à la 10^{ème} heure après le coucher du soleil à plusieurs reprises (notamment en septembre), même si la plupart étaient compris entre le coucher du soleil et 6 heures après.
- Sur la période où les suivis d'E10 et d'E14 étaient opérationnels, les activités sont relativement similaires pour les Pipistrelloïdes, avec tout de même quasiment une centaine de contacts de plus pour E10 ;

Les résultats précédents peuvent être comparés aux rares données de la littérature avec lesquelles ils semblent cohérents. Ainsi une étude menée en 2013-2014 (Hurst et al, 2015) 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, donc à distance raisonnable du présent site d'étude. 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, contre 16,6% à 50 m et 11,6% à 100 m ;
- L'activité d'altitude débute en juin et présente des pics en fin d'été ;

- Alors que le groupe *Myotis/Plecotus* est quasi inexistant en altitude, les pipistrelloïdes et les nyctaloïdes y sont régulières ;
- Si le pourcentage de *Pipistrellus nathusius* (n=516) est plus fort en altitude, le nombre d'occurrence de *Pipistrellus pipistrellus* (n=36.005) est plus important avec environ 20 % des contacts à 50 m et environ 10% à 100 m ;
- L'activité à 100 m a lieu pour des vents moyens plus fort que l'activité à 50 m, souvent entre 5 et 10 m/s.

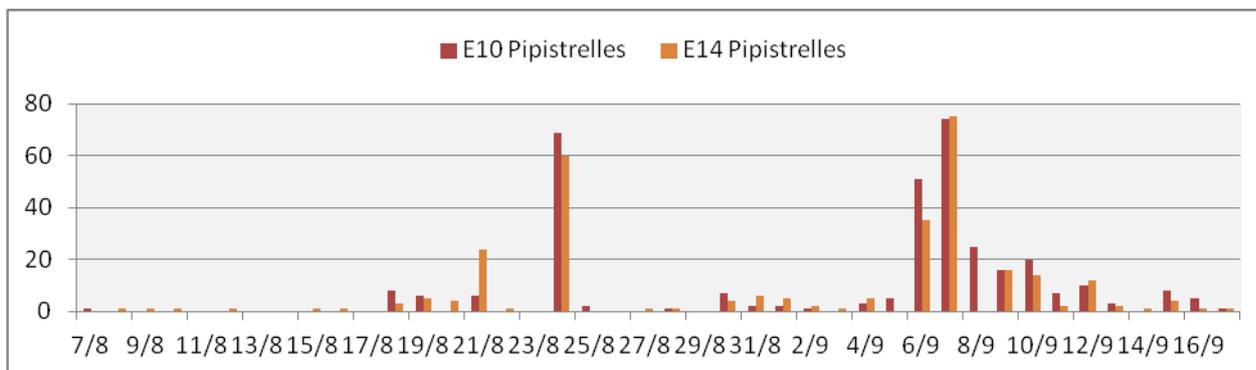


Figure 15 - Comparaison entre E10 & E14 des contacts de Pipistrelloïdes enregistrées du 7 août au 17 septembre 2014

- Sur la même période, la situation est beaucoup plus hétérogène pour les Nyctaloïdes (41 contacts de plus pour E10).

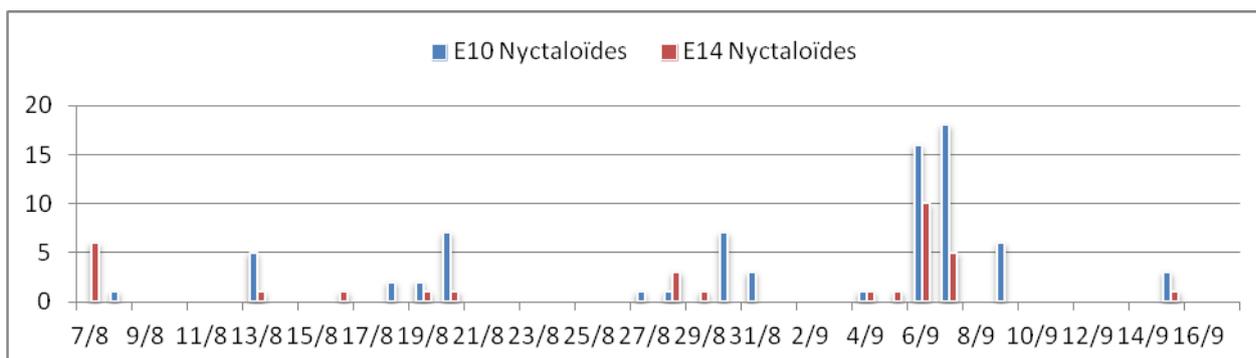


Figure 16 - Comparaison entre E10 & E14 des contacts de Nyctaloïdes enregistrées du 7 août au 17 septembre 2014

4.5 - Activité selon le vent et la période de la nuit

Traditionnellement les paramètres analysés sont la vitesse de vent, l'heure de la nuit, la période et la température. Parfois, d'autres données accessoires sont analysées comme la pression atmosphérique, voire la pluie ou les phases lunaires.

Dans le cas présent, la période et la température ne seront pas analysés. En effet, l'étude ayant porté de début août à fin octobre, les échelles de températures sont réduites et la période est homogène sur le plan chiroptérologique. On notera simplement que sur l'éolienne E10, les chauves-souris ont été enregistrées pour des températures comprises entre 10 et 21°C, avec deux pics autour de 14-15°C et 20-21°C (environ 200 contacts chacun).

4.5.1 - Influence du vent

La période de référence de l'étude comprend l'intervalle entre la nuit du 7/8 août et celle du 3/4 novembre 2014. Les données diurnes ont par contre été exclues c'est-à-dire les

tranches de 10 min comprises entre le lever et le coucher du soleil (sur la base des données recueillies à Besançon <http://ptaff.ca/soleil/>)

Les chauves-souris ont été enregistrées pour des vitesses de vent²³ allant jusqu'à 10,4 m/s (pour une Pipistrelle commune). Néanmoins, comme le montre la Figure 17 :

- 59,3 % des contacts ont eu lieu par des vents moyens inférieurs à 3 m/s, ce pourcentage monte à 67,4% pour les pipistrelloïdes (cf. Figure 18)
- 78,2 % par des vents moyens inférieurs à 4 m/s et
- 94,3 % des contacts par des vents moyens inférieurs à 6 m/s.
- Le pic de fréquentation est compris entre 1 et 3 m/s mais il y a bien eu quelques rares contacts pour vitesses moyennes de 7 à 13 m/s.

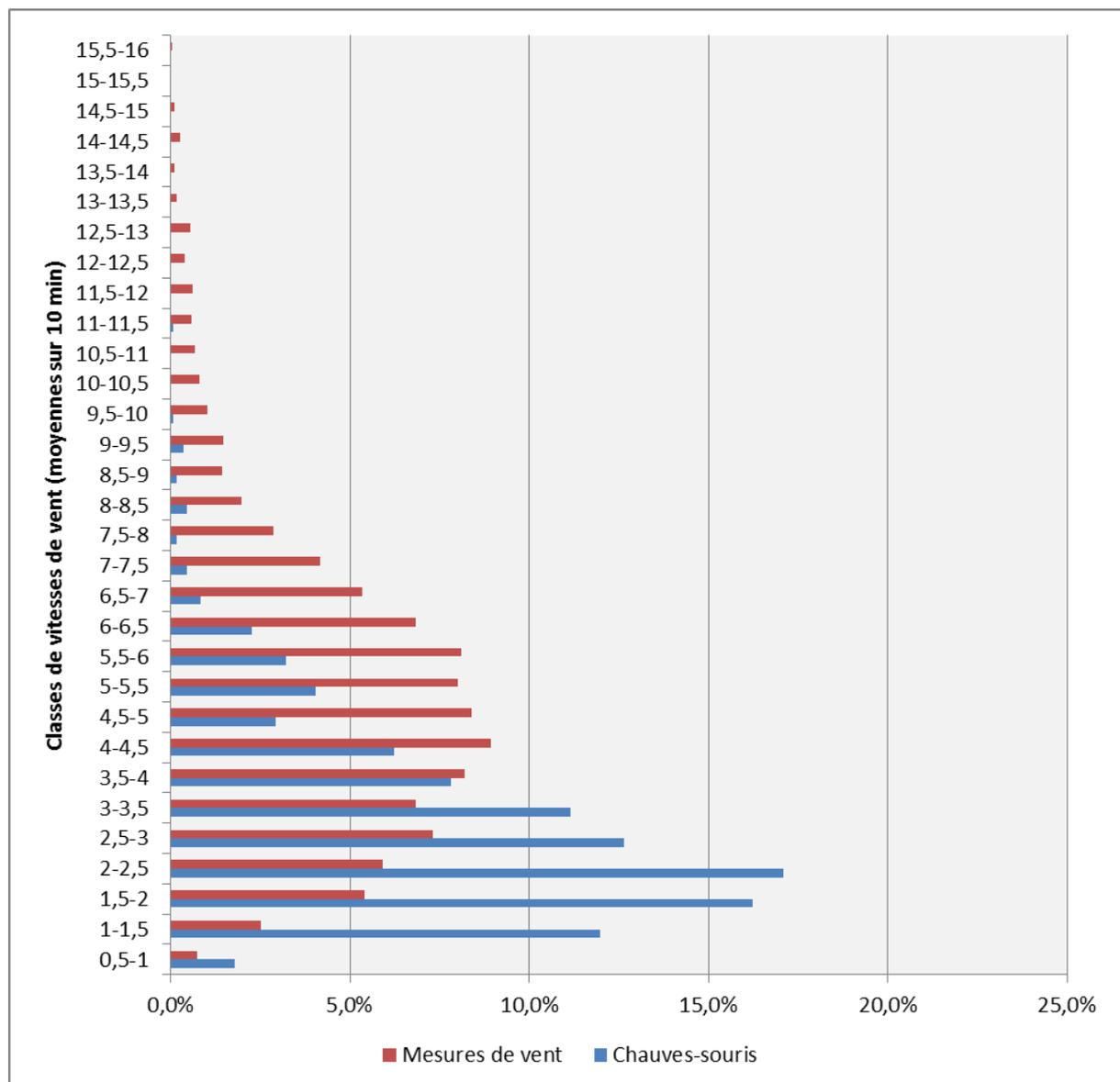


Figure 17 - Chauves-souris et vent

BLEU : Pourcentage de contacts de chauves-souris en fonction de la vitesse du vent (moyenne sur 10 min en m/s) mesurée à 80 m entre le 7 août et le 4 novembre 2014 pour les trois éoliennes (n = 1059) ; ROUGE : occurrence des vitesses de vent mesurées (en pourcentage)

²³ moyennes sur 10 min

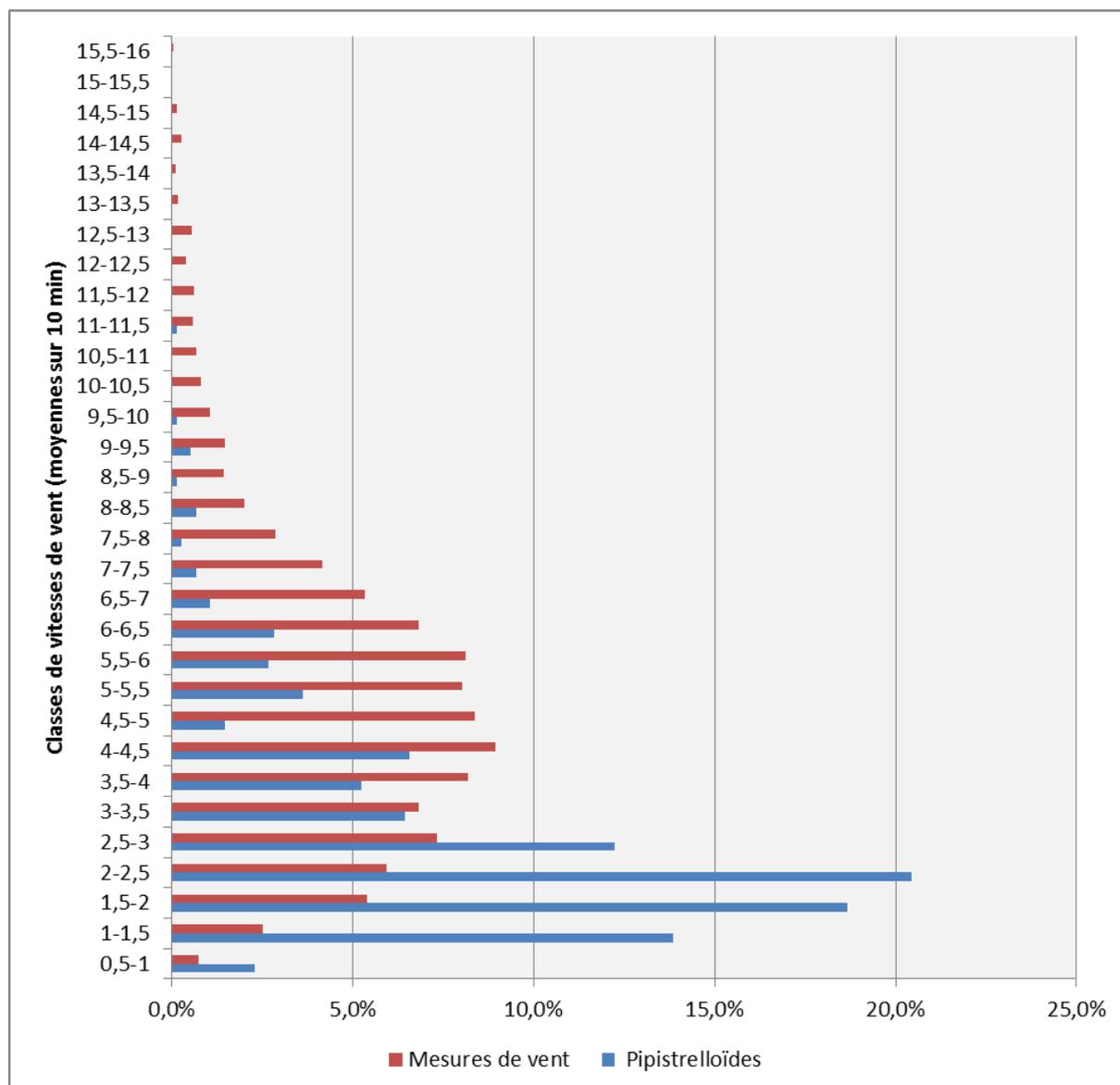


Figure 18 - Pipistrelles et vent

BLEU : Pourcentage de contacts de Pipistrelloïdes en fonction de la vitesse du vent (moyenne sur 10 mn en m/s) mesurée à 80 m entre le 7 août et le 4 novembre 2014 pour les trois éoliennes (n = 1059) ; **ROUGE** : occurrence des vitesses de vent mesurées (en pourcentage)

Pour l'interprétation, il faut néanmoins tenir compte de la variation des vitesses de vent au sein des tranches de 10 mn sur lesquels les résultats sont calculés (cf. Figure 19). Il apparaît ainsi que l'amplitude²⁴ des vents augmente avec la vitesse moyenne des vents. Ce facteur est d'autant plus important que selon Cryan *et al.* (2014) les « rafales », lors des périodes de vent favorables à la présence de chiroptères, seraient un facteur de risque important. Ce point est d'autant plus important que si l'on connaît bien la relation entre la présence des chiroptères et la vitesse moyenne de vent, on ne connaît par contre pas la vitesse de vent précise au moment des événements fatals. Hors, cette notion de « rafales » existe visiblement aussi par vent moyen faible (entre 1 et 4 m/s). C'est probablement la

²⁴ Amplitude : différence entre le maximum et le minimum mesurés sur une période de 10 min

raison pour laquelle la mise en drapeau des pales aux vitesses inférieures au « cut-in-speed » (cf. infra) peut déjà avoir des résultats significatifs en matière de réduction des risques.

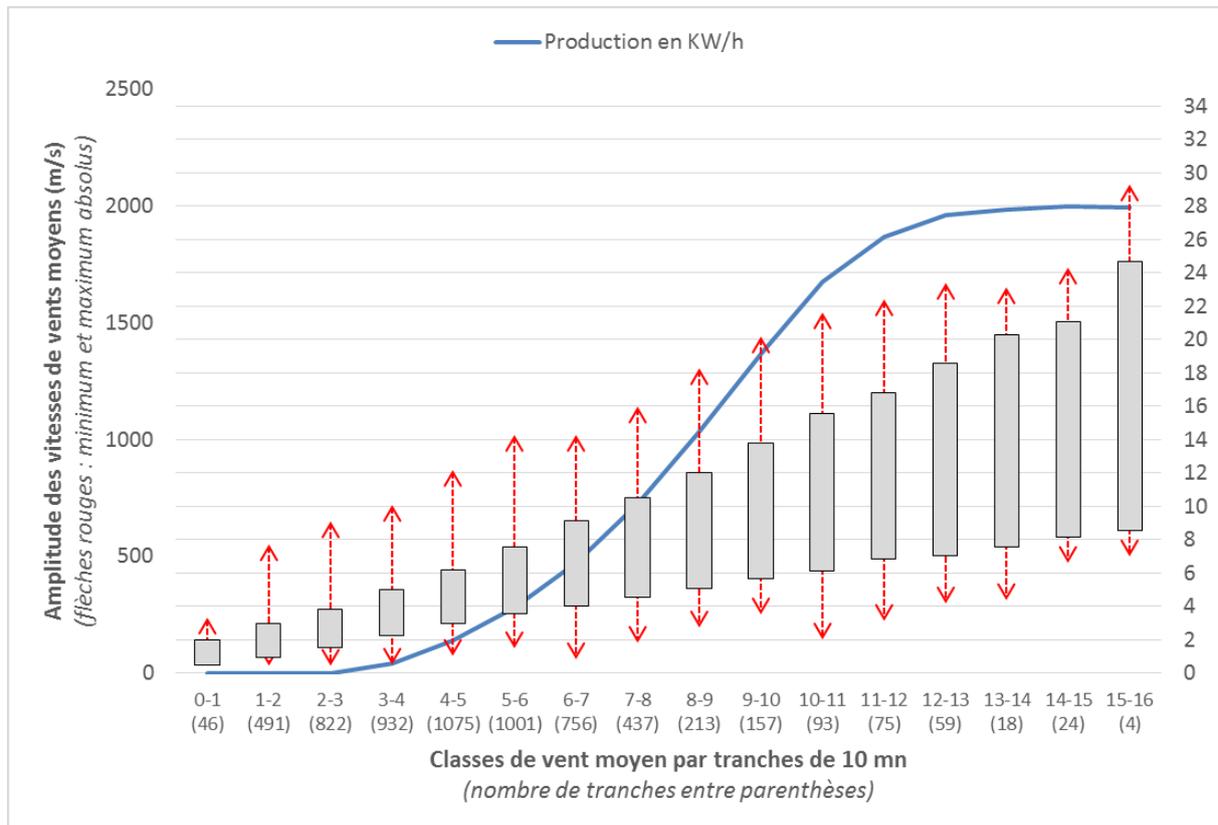


Figure 19 : Amplitude des vitesses de vent (m/s) nocturne selon les classes de vent moyen par tranches de 10 mn (éolienne E10) du 7 août au 4 novembre 2014.

Une autre variable, le nombre maximal de tours par minute des pales enregistré sur les périodes de 10 min (Rotation par min max.), permet aussi de représenter cette notion d'effet rafale (cf. Figure 20).

Pour le cas de l'éolienne E10, la majorité des chauves-souris volaient à 0-1 tours/min (45 %) alors que les éoliennes restaient assez peu souvent à cette vitesse de rotation (moins de 15 % du temps). Il n'y avait quasiment pas de cas où l'éolienne tournait à des vitesses de rotation comprises entre 3 et 8 tours/min du fait des caractéristiques techniques de fonctionnement²⁵. Les 15 % d'activité enregistrée lorsque les pales tournent à 8-9 tours/min est particulièrement intéressant et préoccupant, et ce d'autant qu'il y a 3 pales (soit environ un passage toutes les 2 s). Cette configuration s'est répétée de nombreuses fois à différentes dates au cours de la période de suivi.

²⁵ L'analyse des données fournies par l'opérateur sur l'angle d'attaque des pales et le nombre de rotations par minute permet d'expliquer ce phénomène : une fois qu'elle atteint les 3 tours /min avec un angle de 25°, l'éolienne accélère en pivotant ses pales vers 0° pour atteindre les 8 tours/min et plus. De fait, l'éolienne reste très peu souvent à des vitesses de rotations comprises entre 3 et 8 RPM.

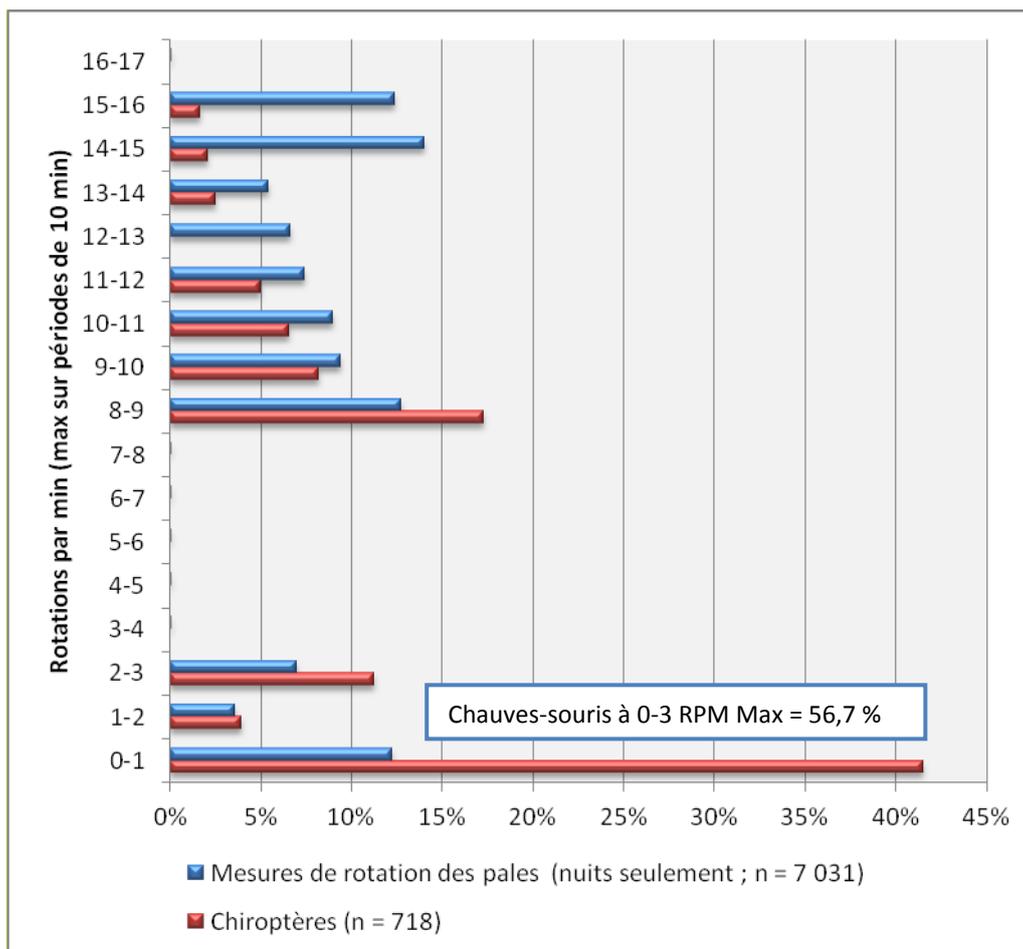


Figure 20 - Chauves-souris et rotations des pales

BLEU : Pourcentage de contacts de chauves-souris (toutes espèces) en fonction de la rotation des pales (maxima sur 10 min en tours /min) mesurée à 80 m entre le 7 août et le 4 novembre 2014 pour l'éolienne E10 uniquement ;
ROUGE : occurrence des tours /min mesurés en pourcentage

De même, la distribution des contacts de chauves-souris en fonction de la vitesse de vent et du nombre de tours / min des pales (cf. Figures 20 et 21) montrent l'absence de chauves-souris pour des vitesses de 3 à 8 rotation par minute (RPM)

Si l'on considère que le risque apparaît à 8-9 RPM²⁶, cela concerne 407 contacts de chauves-souris sur 718, soit 56,7% des données. Près de la moitié de ces données se situent dans une classe de vents moyens faibles donc en période à fort risque.

Répartition des contacts pour les rotations par minute > 3 RPM			
contacts pour RPM > 3	entre 2-4 m/s de vent moyen et 8,8-17 RPM max	entre 4-6 m/s de vent moyen et 8,8-17 RPM max	Autres circonstances
311	148	137	26
100 %	47,59%	44,05%	8,36%

²⁶ 8,8 pour être précis

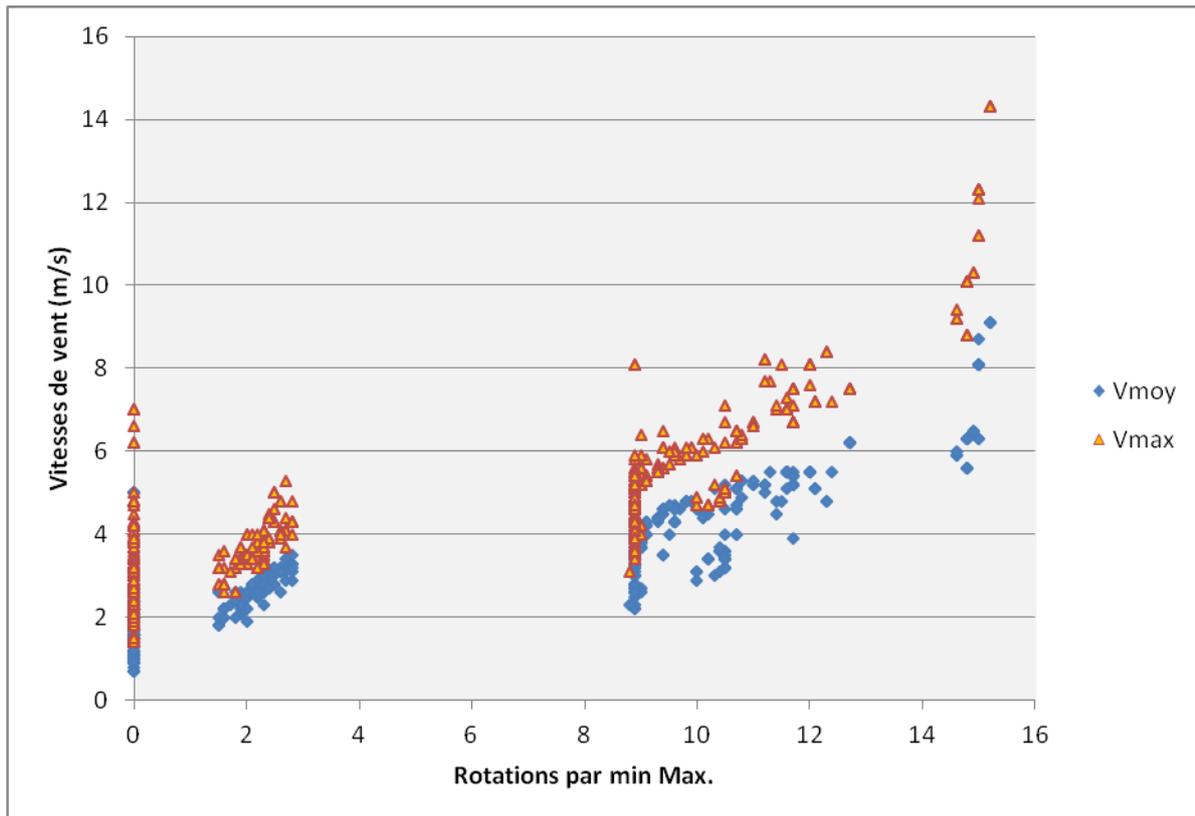


Figure 21 - Distribution des contacts de chauves-souris selon les vitesses de vent et les tours par minutes des pales.

Distribution des contacts de toutes les espèces en fonction de la vitesse de vent (moyennes et maxima sur 10 min en m/s) et la rotation des pales (maxima sur 10 min en tours /min) mesurée à 80 m entre le 7 août et le 4 novembre 2014 pour E10

Toujours pour l'éolienne E10, trois cadavres de Pipistrelle commune ont été retrouvés le 2 septembre. Le graphique ci-dessous (figure 22) présente les mesures de vitesses de vent et de rotation des pales enregistrées quelques jours avant la découverte de ces cadavres auprès de l'éolienne²⁷. Celles-ci ont nettement augmentées à partir du 31 août avant d'atteindre un pic le 2 septembre à 2h30 (RPM max = 15 tours/min ; Vmoy = 8,7 et Vmax = 12,1 m/s).

Sans pouvoir connaître exactement la date et l'heure des collisions, il est donc possible d'envisager qu'elles aient eu lieu lors de ces moments avec des vitesses de vents inférieures à 6 m/s pendant lesquels les vitesses de rotation des pales étaient supérieures à 9 tours/min.

²⁷ Passage du 29 août : 0 cadavre, passage du 2 septembre : 3 cadavres

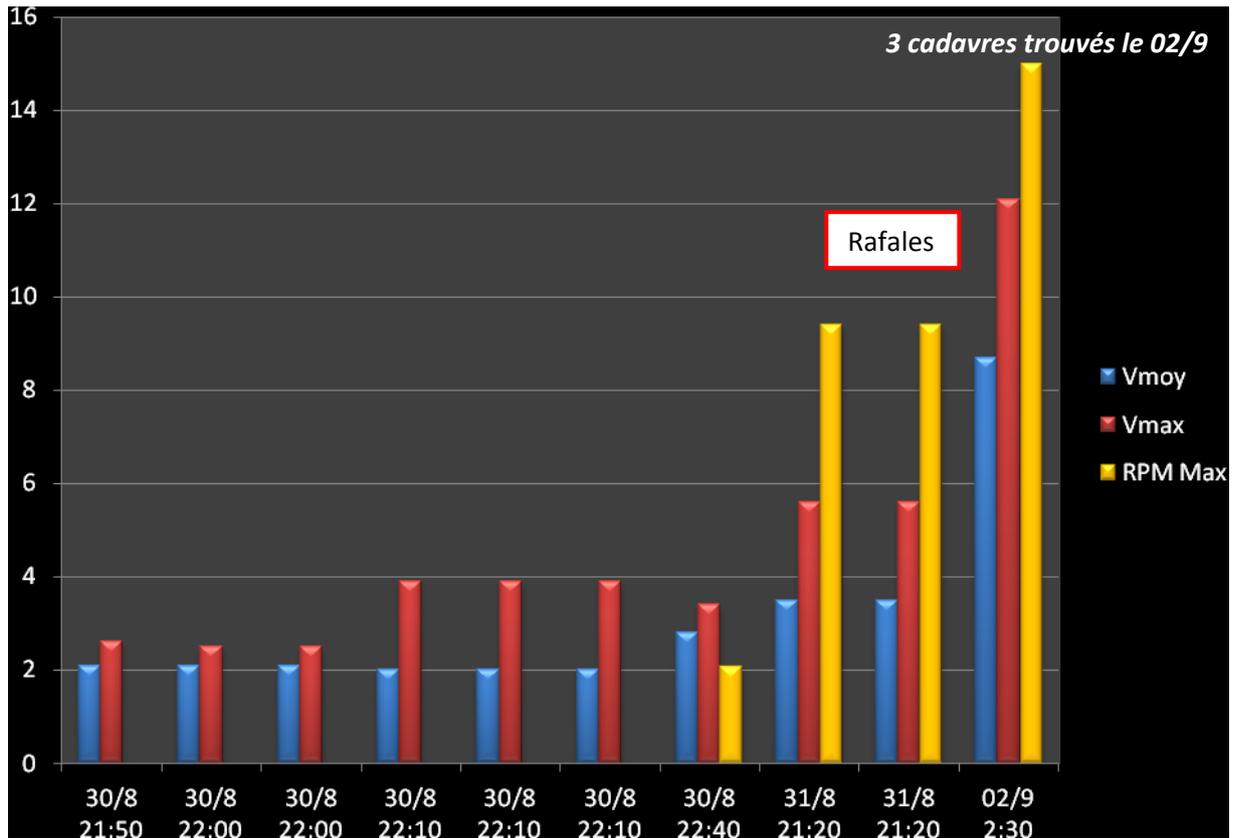


Figure 22 - Vitesses de vent et rotation des pales sur les tranches de 10 mn avec contacts de Pipistrelle commune, éolienne E10 quelques jours avant la découverte de 3 cadavres au sol le 2 septembre

4.5.2 - Influence de l'heure

Classiquement les 3-4 premières heures après le coucher du soleil correspondent à la période d'intensité maximale d'activité des chauves-souris. L'analyse réalisée pour l'éolienne E10 (cf. Figure 23), pour laquelle le plus grand nombre de données existent, montre que les situations générales et particulières peuvent différer. En effet, pour l'année 2014, il faut attendre la 6^e heure après le coucher du soleil pour atteindre 72 % des contacts, ceux-ci atteignant 89% à la 8^e heure.

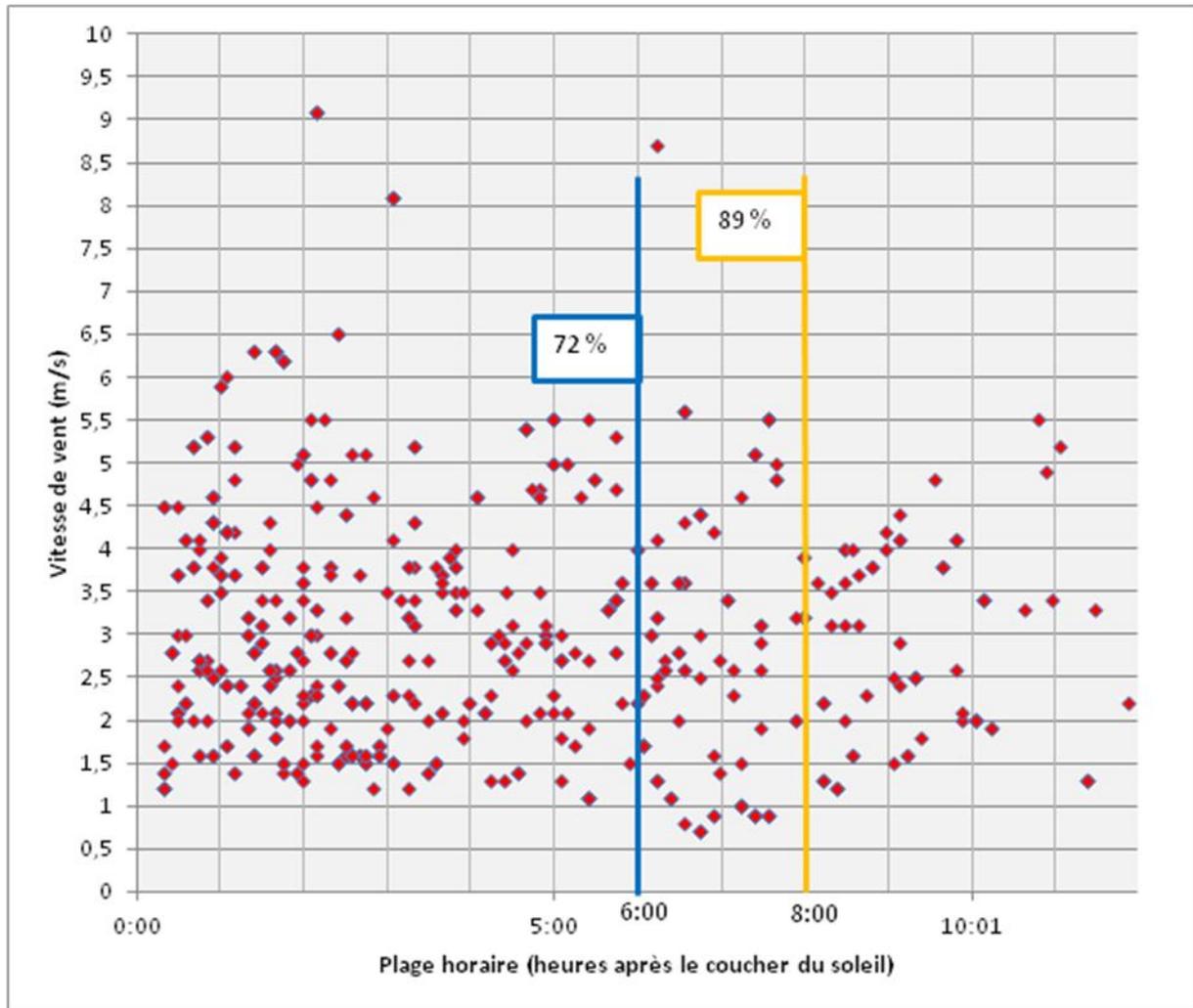


Figure 23 : Distribution des contacts enregistrés sur la nacelle E10 en fonction de l'heure après le coucher du soleil du 7 août au 4 novembre 2014 (n = 718)

Ces informations sont probablement à mettre en relation avec les capacités de chasse des chauves-souris sur ce site cette année. Des émergences particulière d'insectes, voir des déplacements d'insectes en altitude (Rydell et al., 2010), peuvent expliquer les données. La reproductibilité interannuelle est par contre loin d'être évidente.

4.5.3 - Analyse de risque

Une analyse de risque en fonction de la vitesse de vent moyenne ou en combinant vitesse de vent moyenne et plage horaire est présentée dans les figures ci-dessous. Elle a été réalisée pour l'éolienne E10 qui correspond à celle pour laquelle nous disposons du plus grand nombre de données. Les chiffres présentés répondent aux choix suivants :

- Tous les chiffres sont analysés sur des tranches de 10 mn avec des moyennes pour la vitesse du vent ou le nombre de tours des pâles par exemple.
- Dès les vitesses moyennes de vent de 1,3 m/s, une rotation des pâles apparait parfois du fait de ce que nous avons appelé l'effet « rafale ». Dans les faits, même si l'éolienne est censée ne tourner qu'à partir de 2,5 m/s²⁸, dès la vitesse moyenne de vent 2 m/s il existe régulièrement une rotation des pâles en lien avec les effets

²⁸ d'après les brochures de Vestas

rafales au sein des 10 mn sur lesquelles sont réalisées les moyennes. La vitesse moyenne de 2 m/s a donc été prise comme seuil bas de l'analyse de risque.

- Il n'y a pas de cut-in speed réglé sur Lomont mais la vitesse à laquelle les turbines semblent généralement se mettre en fonctionnement sur Lomont est de 3 m/s.
- Un 3^e seuil a été pris à 4 m/s puisqu'il s'agit du cut-in-speed classiquement utilisé sur les machines en question
- Un dernier seuil a été pris à 6 m/s, ce chiffre moyen étant classiquement avancé dans les divers protocoles de bridage

Enfin les analyses ont été réalisées pour l'ensemble des contacts de chiroptères et non pas les pipistrelloïdes seules. Les résultats sont présentés en Figure 24.

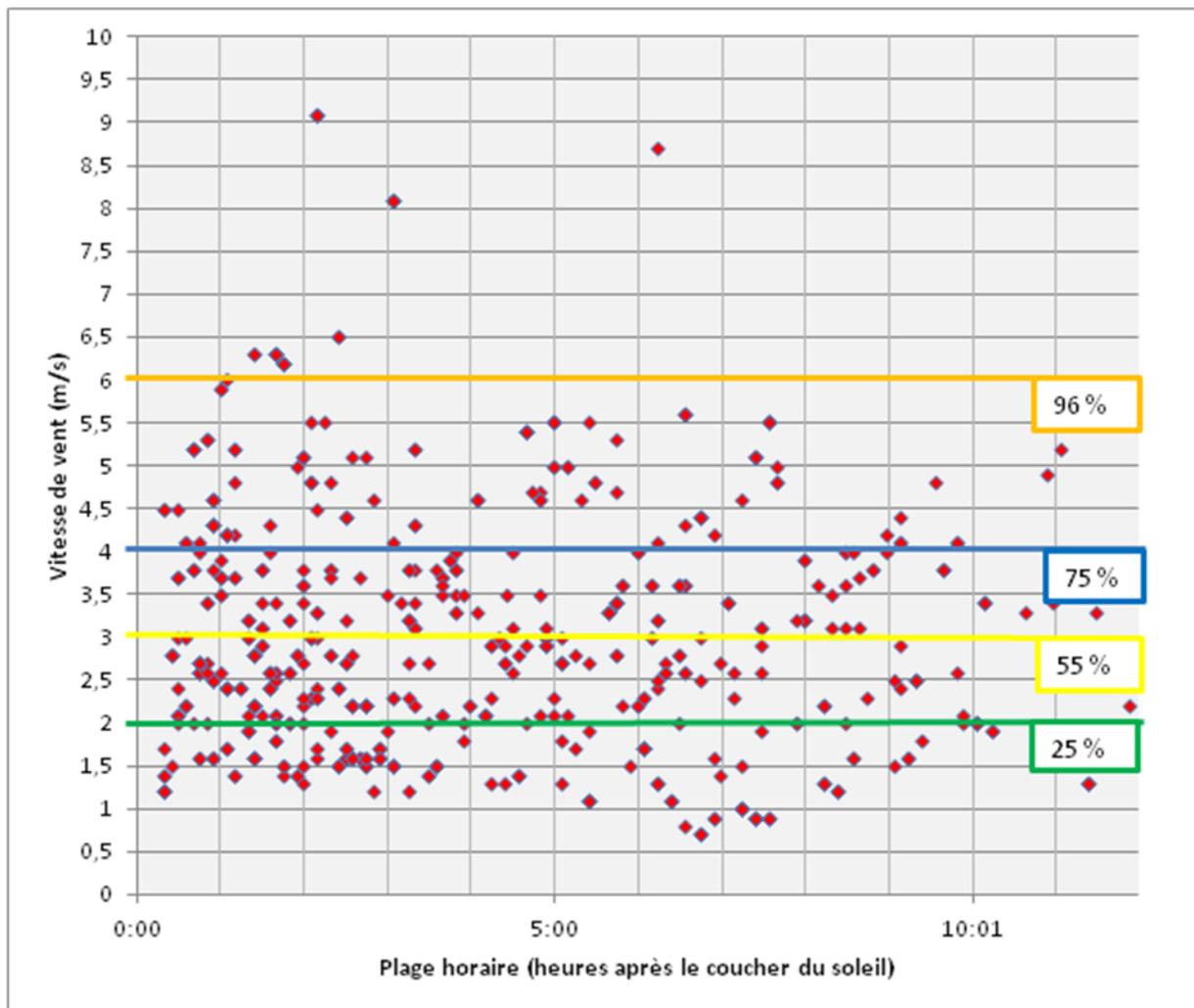


Figure 24 : Distribution des contacts enregistrés sur E10 en fonction de la vitesse de vent (moyenne sur 10 mn en m/s) du 7 août au 4 novembre 2014 (n = 718)

On peut donc considérer, à quelques effets « rafales » près, que 24,5% des chiroptères contactés au niveau de la nacelle E10 ne sont pas concernés par le risque éolien. En cas de mise en drapeau forcé des pales via le logiciel SCADA de gestion de l'éolienne :

- A 3 m/s, donc sans perte de production, 55,1 % des chiroptères contactés au niveau de la nacelle E10 ne seraient pas concernées par le risque éolien

- A 4 m/s, avec une perte de production sur la période considérée très faible, 75,3% des chiroptères contactés au niveau de la nacelle E10 ne seraient pas concernées par le risque éolien soit 3 fois plus que dans la situation actuelle. Le taux de mortalité baisserait donc considérablement.
- A 6 m/s, avec une perte de production plus notable, la quasi-totalité des chiroptères contactés au niveau de la nacelle E10 (96 %) ne seraient pas concernées par le risque éolien si l'on considère que l'année 2014 est représentative

Rappelons qu'il faut croiser ces vitesses avec l'effet « rafale » qui, si l'on en croit Cryan et al. (2014) joue un rôle important dans le risque. Ainsi la mortalité peut être corrélée à la vitesse des vents mais l'utilisation d'intervalles de 10 mn occulte l'effet rafale et ses risques particuliers. Ainsi les classes de vent moyen basses pourraient aussi être dangereuses.

Cette analyse de risque peut aussi être croisée avec le paramètre heure de la nuit afin de tenir compte de la faible proportion de chiroptères en fin de nuit.

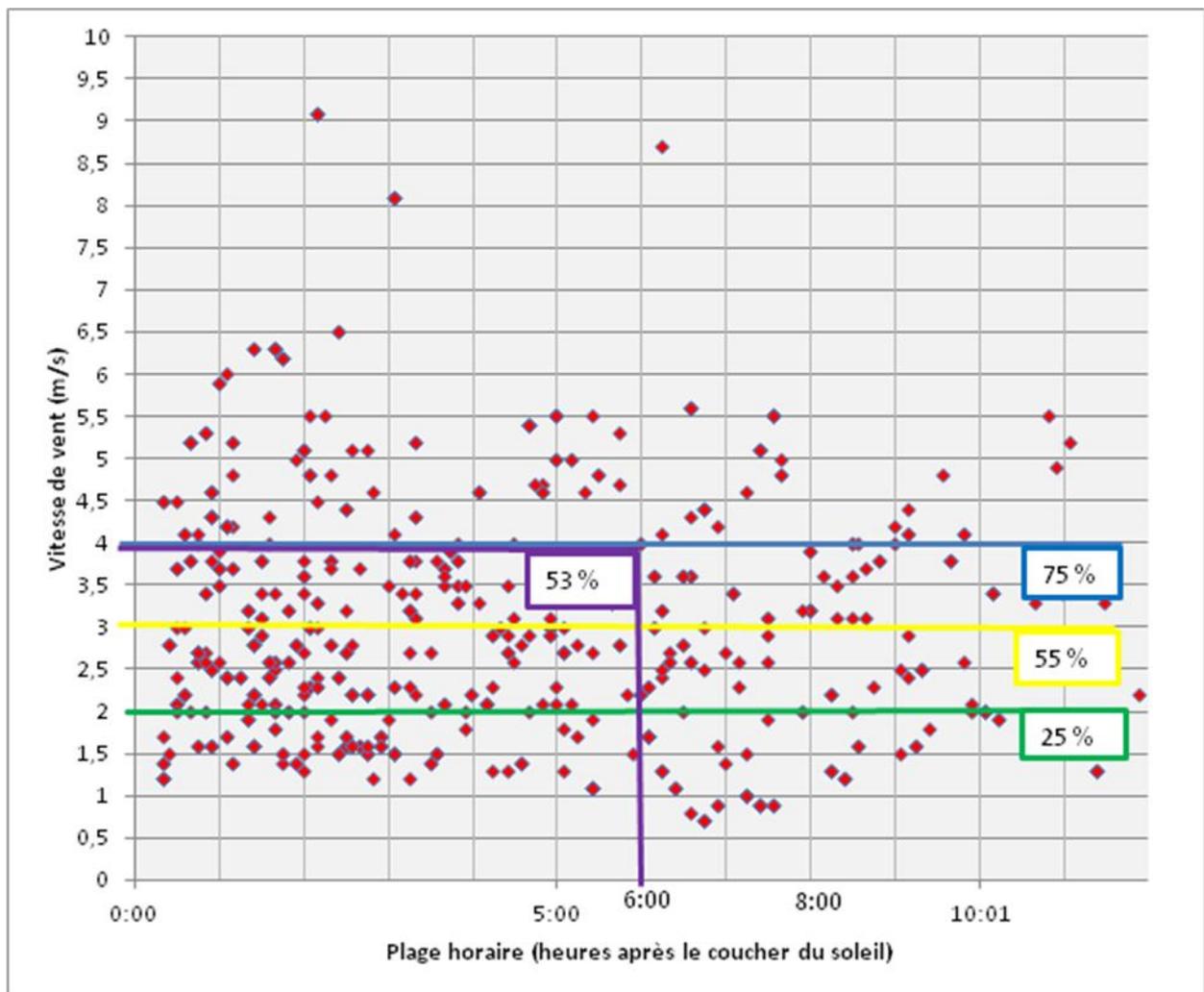


Figure 25 - Distribution des contacts enregistrés sur E10 en fonction de la vitesse de vent (moyenne sur 10 min en m/s) et de l'heure après le coucher du soleil du 7 août au 4 novembre 2014 (n = 718)

Enfin, bien que la plupart des chiroptères soit en général contactés sur la période d'automne au niveau de la zone de rotation des pales, il faudrait tenir compte des possibles pics de printemps pour être tout à fait complet.

4.6 - Tests sur l'algorithme allemand traduisant l'activité en mortalité

Deux importants programmes de recherches ont été menés en Allemagne par les universités de Hanovre et d'Erlangen en association avec des chercheurs statisticiens suisses (Oikostat) et un industriel (Enercon). Ces programmes dénommés RENEBAT I (2007-2009) et RENEBAT II (2011-2013) s'intègrent dans les projets de recherche financés par les ministères fédéraux allemands (environnement et construction, énergie).

Ces projets visaient à mettre en relation l'activité des chauves-souris au niveau des nacelles et la mortalité au sol à partir de la mesure de l'activité acoustique, de la recherche de cadavres et de modèles statistiques.

Un algorithme d'exploitation a par ailleurs permis, en fonction d'une valeur de risque acceptée (à définir par l'opérateur ou l'administration), de définir des mesures de bridage lors des périodes de haut risque et faible bénéfice. La plupart des résultats ont été exposés dans un livre (Brinkmann et al. 2011), diverses publications (Korner-Nievergelt et al. 2011 & 2013) ou encore des rapports (Behr & Rudolph 2013).

Le premier projet a permis de définir l'ensemble des paramètres et méthodes. L'étude acoustique initiale (RENEBAT I, 2007-2008) a ainsi porté sur 72 mâts d'éoliennes répartis dans 36 parcs éoliens de six régions géographiques allemandes. En complément la mortalité a été suivie sur 30 éoliennes dans 15 parcs éoliens en 2007 et 2008. Toutes les turbines analysées étaient des ENERCON avec **des diamètres de 66 et de 72 m.**

Le deuxième projet a permis de tester en 2012 l'algorithme de bridage en fonction de valeurs cibles. Ce projet RENEBAT II a ainsi porté en 2012 sur 16 éoliennes dans 8 parcs allemands.

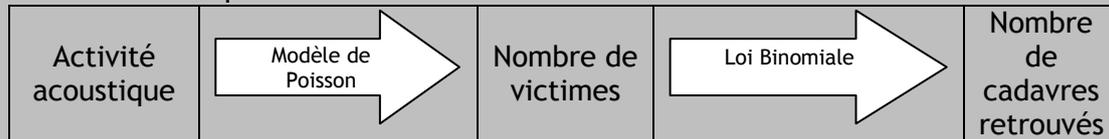
Un troisième projet plus collaboratif est en cours (RENEBAT III) pour obtenir une normalisation de plus grande échelle et une parfaite transférabilité des résultats. Ainsi la variabilité interannuelle ou inter-saisonnière, le diamètre des rotors ou encore le cut-in-speed (vitesse de vent à laquelle on démarre la production d'électricité) vont être étudiés de façon plus large. En effet, les résultats d'Enercon de 66-72 m de diamètre ne sont pas forcément totalement transposables à des Vestas V90 de 90 mètres de diamètre comme à Lomont. La fourniture des résultats de Lomont aux chercheurs allemands constituerait ainsi une plus-value.

Dans le cadre du projet RENEBAT III, un logiciel basé sur Access et dénommé ProBat est en cours de développement. La première version ne marche que pour les données issues de Batcorder mais dès la mi-2015 des versions permettront de traiter les données issues d'Anabat ou de l'appareil USG d'Avisoft. Il n'a donc pas été possible d'utiliser ce logiciel pour la présente étude.

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... sous réserve qu'elle soit autorisée par le protocole national prévu à l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011 (ICPE/éoliennes).

Fondements de la méthode développée dans RENEBAT I Korner-Nievergelt *et al.*, 2013

Dans le modèle mixte, le processus biologique (choues-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 chauves-souris tuées est estimé à partir de l'activité acoustique et traduit par un modèle de Poisson. Deuxièmement, le nombre de chauves-souris tuées que l'on retrouve est estimé par une loi binomiale.



Dans le premier sous-modèle, le processus de collision des chauves-souris est mis en relation avec les variables : vitesse du vent et activité acoustique. Il a été admis que le nombre de chauves-souris tuées pour la nuit i suit une distribution de Poisson avec un taux de mortalité escompté λ_i . Le nombre de chauves-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 λ_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 α constituent les paramètres du modèle (α_0 étant lié à la mortalité, α_1 à l'activité, α_2 , α_3 à la vitesse du vent) qui interviennent sur le nombre des chauves-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 chauves-souris tuées par jour N_{it} . Le nombre de chauves-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

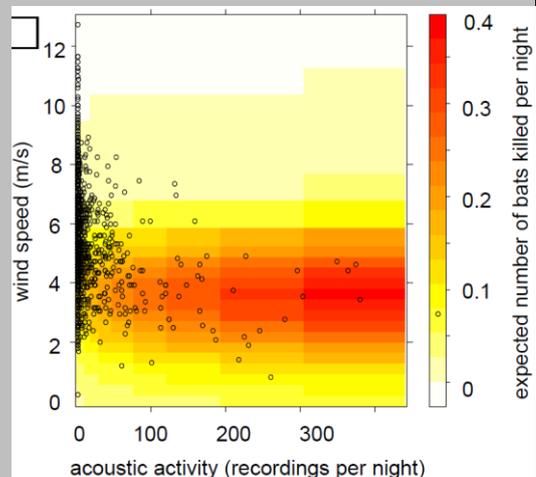
La validation a été faite avec les données collectées pour toutes les espèces de chauves-souris par un appareil Anabat SD1 en 2007 et 2008. Le modèle d'équation était le suivant :

$$\lambda_i = \exp(-2,811 + 0,662 * zA_{it} - 0,277 * zW_{it} - 0,231 * zW_{it}^2)$$

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 chauves-souris diminuent fortement.

Figure ci-contre : modèle de prévision du nombre de chauves-souris tuées en fonction de la vitesse du vent et de l'activité acoustique sur un autre échantillon de 16 turbines en 2012 (Behr *et al.* 2013)



Une validation de terrain a été réalisée plus récemment (RENEBAT II) et présentée à un colloque de l'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables (OFAEnR, Berlin, Behr et al. 2013). Ainsi en 2012 l'efficacité des algorithmes a été testée avec succès sur 16 éoliennes où il avait été décidé de faire baisser la mortalité à un plancher de 2 chauves-souris/éolienne/an.

Le modèle permet donc raisonnablement de calculer le nombre de victimes même sans recherche de cadavres. Cette méthode est plus simple à mettre en œuvre puisqu'elle évite les biais liés à la détermination des facteurs de correction pris en compte lors de la recherche de victimes au sol. Lorsque le modèle a été paramétré pour un type d'éolienne, il peut être extrapolé à celles ayant un diamètre de rotor similaire, **ce critère technique étant particulièrement déterminant** (ce qui pose problème pour l'application à Lomont). Ce modèle permet une analyse détaillée des relations existant entre le nombre de chauves-souris mortes, le vent et l'activité acoustique que ne permettent pas les données collectées lors de la recherche de cadavres. Il faut donc souhaiter que ce type d'approche soit autorisé dans le cadre du protocole national article 12 sur le suivi de la mortalité au titre des ICPE.

Deux étapes sont suivies :

- Etape 1 : Extrapolation de l'activité par tranche de 10 minutes sur toute la nuit

$$A = A_{10} (nZI/G)$$

- Etape 2 : Prévion du nombre de chauves-souris tuées par nuit à partir de l'activité extrapolée sur toute une nuit (dérivé de la formule de Körner-Nievergelt et al. 2011)

$$T = \exp[\alpha_0 + \alpha_1((\log(A+1)-sc11)/sc12) + \alpha_2((W_{10}-sc21)/sc22) + \alpha_3((W_{10}-sc21)/sc22)^2]$$

Paramètres	Explications	Formule
A	Activité par nuit (nombre d'enregistrements prédits)	= $A_{10} (nZI/G)$
A_{10}	Activité par tranche de 10 mn (nombre d'enregistrements prédits)	
nZI	nombre de tranches de 10 mn par nuit (spécifique pour une date)	
G	facteur de pondération de la distribution de l'activité sur la nuit (spécifique, dépend du type d'appareil acoustique utilisé, des mois considérés et de la période de la nuit)	Pas de pondération réalisée, facteur pris à 1
T	Prévion du nombre de chauves-souris mortes par nuit	= $\exp [\alpha_0 + \alpha_1((\log(A+1)-sc11)/sc12) + \alpha_2((W_{10}-sc21)/sc22) + \alpha_3((W_{10}-sc21)/sc22)^2]$
T_{10}	Prévion du nombre de chauves-souris mortes par tranche de 10 mn	= $T (G/nZI)$
W_{10}	Moyenne de la vitesse du vent par tranche de 10 mn	
$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	Paramètres des modèles (interception, activité, vitesse du vent et effet au carré de la vitesse du vent)	Déterminés d'après les modèles de Körner-Nievergelt et al. (voir tableau ci-dessus) mais non calculables pour Lomont sans un programme de recherche adapté.
sc11, sc12	facteurs de standardisation de	Définis pour l'Anabat SD1 à partir des

Paramètres	Explications	Formule
	l'activité (transformée en z)	résultats de recherche en Allemagne
sc21, sc22	facteurs de standardisation de la vitesse du vent (transformée en z)	

Paramètres et facteurs de standardisation utilisés (Anabat SD1)	
paramètres des modèles	
α_0	-2,811
α_1	0.663
α_2	-0.277
α_3	-0.231
Facteurs de standardisation de l'activité (Anabat SD1)	
Sc11	0,7953778
Sc12	1,088398
Facteurs de standardisation de la vitesse de vent	
Sc21	5.211521
Sc22	1,892224

Les valeurs ci-dessus sont issues des programmes de recherche allemands (Brinkmann et al. 2011, Korner-Nievergelt et al. 2013 et Behr & Rudolph 2013) en prenant celles adaptées à l'Anabat SD1. Étudiées à partir de différents sites allemands d'Allemagne du nord et du centre, elles ont été réutilisées telles que en Bavière en 2012 sans poser de problèmes. Leur utilisation en Franche-Comté ne paraît pas poser de problème majeur.

Le calcul sur Lomont amènerait une estimation à 3,71 cadavres par éolienne par an contre 7 à 16 estimés à partir des recherches au sol. Cette différence s'explique par 3 biais :

- Le diamètre des éoliennes qui est ici de 90 mètres contre 66 à 72 sur les études allemandes ainsi que la vitesse de cut-in-speed qui peut être légèrement différente (données non connues pour l'Allemagne)
- L'absence de pondération de la distribution de l'activité sur la nuit (facteur G) mais sa variation ne joue pas beaucoup sur les résultats
- Un biais probable important provient de la composition des groupes de chauves-souris détectées. En effet les études allemandes ont été réalisées avec un échantillon comprenant 75,8% de Nyctaloïdes et 22,6% de Pipistrelloïdes alors que sur le site de Lomont il y avait 38% de Nyctaloïdes et 62% de Pipistrelloïdes.

Les données ne sont pas suffisamment fiables mais elles restent cohérentes en ordre de grandeur. Il serait très fortement souhaitable d'offrir le jeu de données de Lomont aux chercheurs allemands pour affiner leurs travaux. Ce serait d'autant plus intéressant que ces chercheurs n'intègre pas l'effet rafale abordé dans la présente étude.

Enfin on notera que dans sa dernière édition de 2014, Eurobats²⁹ conseille l'utilisation de ces algorithmes pour les projets éoliens.

²⁹ Un accord international sous l'égide de la Convention de Bonn et du PNUE auquel la France adhère

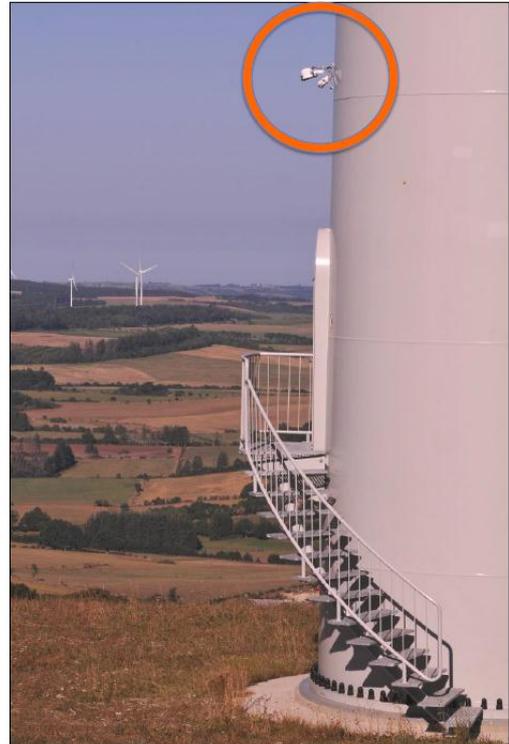
5 - RECOMMANDATIONS

5.1 - Intervention sur les lumières

En 2009, sur le parc de Castelnaud-Pegayrols (Aveyron) l'observation du comportement des chauves-souris autour des éoliennes à l'aide de lunettes vision nocturne avait permis de démontrer que les chiroptères étaient capables de déclencher les spots lumineux³⁰ disposées à l'entrée des éoliennes (Beucher et al., 2013). Ces lumières portaient loin et se déclenchaient pendant une durée de 10 min. Attirant alors de nombreux insectes, ils attiraient à leur tour des chauves-souris et plus particulièrement les espèces photophiles³¹, en particulier les pipistrelles mais aussi la Noctule de Leisler ou le Minoptère. Les chauves-souris se rapprochaient donc des éoliennes dans le champ de rotation des pales.

Ces observations expliquent qu'une majorité des cadavres étaient des pipistrelles (env. 90%) alors qu'elles ne représentaient pas la majorité de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle (43,3% contre 55,4% pour le groupe noctules/sérotines). Si cette situation peut ressembler à celle de Lomont, la différence provient de la dispersion des cadavres trouvés qui était faible à Castelnaud.

Figure 26 : Spot lumineux au niveau d'une éolienne du parc de Castelnaud-Pegayrols - Beucher et al., 2013



En 2010-2011, l'arrêt des lumières cumulée à une régulation des éoliennes en fonction de la vitesse des vents a permis de réduire de 98% la mortalité. Même si la lumière a constitué sans aucun doute un facteur de surmortalité, la part de responsabilité de ce facteur vis-à-vis d'autres est difficilement quantifiable³².

Sur le parc du Lomont, les éoliennes suivies sont également équipées de spot lumineux à l'entrée des éoliennes à une hauteur similaire à celle du parc de Castelnaud-Pegayrols (cf. photos ci-dessous). D'après les techniciens de Vestas travaillant sur le site, il n'est pas certain que tous ces spots soient encore fonctionnels et leurs paramètres de déclenchement ne sont pas connus. Ils peuvent éventuellement varier d'une éolienne à l'autre.

Néanmoins une intervention sur les lumières permettrait la mise en œuvre d'une mesure de réduction des impacts de collision à moindre frais. Il faudrait ainsi équiper les éoliennes d'un interrupteur (si ce n'est pas déjà le cas) et modifier les paramètres de déclenchement automatique par exemple en éliminant la fonction entre avril et octobre (période où les interventions humaines se font majoritairement à la lumière du jour).

³⁰ Lumière à détection de mouvement

³¹ Espèces chassant traditionnellement autour des lumières des villes et villages

³² Modalité de fonctionnement des lumières inconnu avant la mise en place des mesures



Figure 27 : spots lumineux au niveau des éoliennes E10 et E14

5.2 - Mise en drapeau pour les vitesses inférieures au cut-in-speed

Pour bien interpréter les points abordés ci-dessous, on rappellera les paramètres suivants :

- Dans la mesure du possible, l'effet « rafale » a été pris en compte dans la démarche ce qui est rarement le cas dans les études menées jusqu'à présent. Ce besoin s'inspire des résultats de Cryan et al. (2014)
- Le risque chiroptères éolien est jugé comme proportionnel à la quantité de contacts obtenus sur l'année d'étude. Néanmoins il existe des coefficients correcteurs non déterminables tenant à l'« effet » rafale, aux occurrences de proies, aux comportements de chasse différenciés des chiroptères, aux directions des vents, etc.
- La productivité n'est pas directement proportionnelle à la vitesse du vent tant que la vitesse nominale n'est pas atteinte (13 m/s pour le modèle Vestas V90 2 MW)

En production, les pales des éoliennes sont inclinées perpendiculairement au vent ce qui permet la rotation des pales. Lorsque la vitesse du vent est inférieure au cut-in-speed, les pales peuvent tourner librement à des régimes complets ou partiels selon la vitesse du vent (« free-wheeling ») ou bien être mises en drapeau (blade feathering, angle de la pale parallèle au vent) par intervention programmée³³ des vérins hydrauliques de la Vestas V90. En mode free-wheeling, les éoliennes ne produisent pas d'électricité mais la vitesse de rotation peut se révéler létale pour les chauves-souris (surtout si l'on prend en compte l'effet « rafale »).

Eurobats (2014) considère aujourd'hui que la réduction de la mortalité passe par deux mesures : intervenir sur la cut-in-speed et mettre les pales en drapeau aux vitesses de vent les plus basses.

³³ SCADA, variation de calage de pale

Dès 2008-2009 aux Etats-Unis des premières expériences ont été menées aux Etats-Unis sur l'effet de la modification du cut-in-speed sur les chauves-souris (Arnett et al. 2010). Un protocole scientifique a été élaboré avec des éoliennes³⁴ 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. Il n'y a pas eu de différence significative sur les deux années entre ces deux modes de bridage. Par contre la mortalité estimée sur les éoliennes sans bridage a été 5,4 fois plus forte en 2008 et 3,6 fois plus forte en 2009 sur les éoliennes sans bridage. 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).

Arnett et al. (2013), repris par Eurobats (2014), ont synthétisé l'information issue de 10 opérations de réduction des risques en Amérique du Nord et ont conclu que l'augmentation de 1,5 à 3 m/s de la cut-in speed ou la mise en drapeau des pales aux vitesses basses ont donné les résultats suivants :

- La plupart des études ont démontré au moins une réduction de 50 % des accidents lorsque la cut-in-speed était augmentée de 1,5 m/s par rapport aux prescriptions des constructeurs.
- Au moins une étude a montré une réduction de 72 % de la mortalité après une mise en drapeau des pales aux vitesses inférieures au cut-in-speed préconisé par le constructeur.

Ce dernier cas provient des expériences américaines de 2011 qui ont testé l'efficacité de la mise en drapeau des pales (Mount Storm West Virginia in Arnett et al. 2013). Elles ont ainsi été menées sur des éoliennes d'un diamètre du rotor de 80 m et dont les pales tournaient parfois en roue libre jusqu'à 9 tours/min pour des vitesses de vent inférieures à 4m/s. Ce type de situation a aussi été constaté sur le Lomont. La mise en drapeau a permis de réduire cette vitesse à une fréquence de rotation inférieure à 1 tour/min. Deux parties de la nuit ont été étudiées. Cette diminution de la vitesse de rotation durant la première partie de la nuit a réduit la mortalité des chauves-souris de 72%³⁵. Pour la deuxième moitié de la nuit, la baisse de mortalité était d'environ 50 %.

Une autre expérience, rapportée par les mêmes auteurs, a montré l'efficacité de la mise en drapeau sous des seuils de vitesses de démarrage différents (Fowler Ridge, Indiana³⁶). 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.

Sur la base de ces expériences et à partir des analyses menées au Lomont cette année (plus de 50 % des contacts en nacelle de chiroptères ont eu lieu à une vitesse inférieure à 4 m/s.), nous proposons la mesure de réduction des impacts suivante:

- Mise en drapeau programmée des pales (programmation SCADA ce que sait faire Vestas³⁷) pendant les 6 premières heures de la nuit du 15 juillet à fin octobre pour toute vitesse de vent inférieure à 4 m/s, soit le cut-in-speed préconisé sur le site Web de Vestas³⁸ actuel.

Cette mesure croise donc la mise en drapeau et l'augmentation du cut-in-speed par rapport à la situation actuelle. Elle permet l'évitement de 54,54 % de l'activité des

³⁴ Rotor de 77 m de diamètre et mat de 80 m de haut

³⁵ Par rapport à une éolienne témoin

³⁶ Diamètre des pales de 82 m

³⁷

<http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/TurbineOptions/IncreasedCutInWindSpeed/>

³⁸ http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v90-2_0_mw#/

chiroptères au regard de l'activité de 2014. De plus nous estimons que cette part de l'activité est celle où les risques de mortalité sont les plus élevés en lien avec les effets rafales.

La programmation prendra appui sur des durées fixes qui varieront par période de 15 jours. Cette mesure sera mise en œuvre sur les 15 éoliennes des parcs du Lomont.

5.3 - Intervention sur les lisières

Une autre possibilité pour réduire le risque éolien aurait été de repousser les lisières par un défrichement sélectif. Cette idée n'a cependant pas été conservée pour les raisons suivantes :

- Il n'existe pas de preuve tangible de l'effet lisière même si l'éloignement au mat des carcasses pose question. La mortalité sur l'éolienne E14 apparaît ainsi supérieure alors qu'il y a moins de lisières. En outre plusieurs publications récentes interpellent sur le rôle de l'effet de lisière (Kelm *et al.* 2014, Niermann *et al.*, 2011) et son rôle effectif.
- La faisabilité d'une telle mesure poserait des problématiques foncières et administratives réelles pour un résultat non garanti.
- Des impacts associés au défrichement seraient à prévoir.

6 - BIBLIOGRAPHIE

ARNETT E., ERICKSON W., KERNS J., HORN J. 2005. "Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines." Report prepared for Bats and Wind Energy Cooperative. 168 p.

ARNETT, E. B., M. M. P. HUSO, J. P. HAYES & M. SCHIRMACHER, 2010. Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.

ARNETT, E. B., K. BROWN, W. P. ERICKSON, J. FIEDLER, T. H. HENRY, G. D. JOHNSON, J. KERNS, R., R. KOLFORD, C. P. NICHOLSON, T. O'CONNELL, M. PIORKOWSKI & R. TANKERSLEY, JR, 2008. Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72 : 61-78.

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

ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2009. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. *Biotope, Mèze (Collection Parthénopé)* ; Muséum d'Histoire Naturelle, Paris, 544 p.

ATELIER DES TERRITOIRES. 2007. Projet éolien du Lomont. Etude d'impact. *EoleRes*. 196 p.

AVES environnement et 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.

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 Marc 10-12, 2015 Berlin

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

BARATAUD M. 2012. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. *Biotope, Mèze* ; Museum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344 p. *Mises à jour des données en 2014* (http://www.ecologieacoustique.fr/?page_id=13)

Behr O., Hochradel K., Mages J., Nagy M., Korner-Nievergelt F., Niermann I., Simon R., Stiller F., Weber N., Brinkmann R., 2013. 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. & Rudolph B-U. 2013. Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteinsatz 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., BRINKMANN R., NIEMANN I. & KÖRNER-NIEVERGELT F. - 2011. Akustische Erfassung des Fledermausaktivität an Windernigeanlagen In : BRINKMANN R., BEHR O., NIEMANN I. & REICH M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum Bd. 4, 40-115, Cuvillier Verlag, Göttingen.

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.

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

CORNUT J. & VINCENT S. 2010. Suivi de la mortalité des chiroptères sur 2 parcs éoliens du sud de Rhône-Alpes. LPO Drôme. 32 p.

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

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.

DÜRR T. 2014. Vogelverluste an Windenergieanlagen / bird fatalities at windturbines in Europe. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg zusammengestellt: Tobias Dürr; Stand vom: 28. Oktober 2014.
<http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>

DÜRR T., 2014. Fledermausverluste an Windenergieanlagen : Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesumweltamt Brandenburg. NABU. Situation au 27 octobre 2014
(<http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>)

ECOTHEME. 2012. Suivis des impacts sur les chiroptères du parc éolien de la Picoterie. 31 p.

Eurobats 2014. 9th 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

GUEGNARD A. & CONDETTE C. 2013. Retour sur 10 années de suivi de mortalité en Vendée. Diaporama présenté au 2^{ème} séminaire national sur l'énergie éolienne et la protection de la biodiversité. Nantes, le 30 octobre 2013.

HUSO M. 2010. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics* 22 : 318-329.

HUTTERER R., IVANOVA T., MEYER-CORDS C. & RODRIGUES L., 2005. Bat Migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 28, 162 p. + annexes.

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 and Bat Conservation Trust. 158 p.

HURST, J., DIETZ M., HÖHNE E., BIEDERMANN M., KARTS 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

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

KÖRNER-NIEVERGELT F., BRINKMANN R., NIERMANN I. & 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.

KÖRNER-NIEVERGELT F., KÖRNER-NIEVERGELT P., BEHR O., NIERMANN I., BRINKMANN R. & HELLRIEGEL B. 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildlife Biology* .NKV 17: 350-363.

NIERMANN I., BRINKMANN R., KÖRNER-NIEVERGELT F. & BEHR O. 2011. Systematische Schlagopfersuche-Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. 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*, 40-115, Cuvillier Verlag, Göttingen.

LIMPENS, H.J.G.A., M. Boonman, F. Korner-Nievergelt, E.A. Jansen, M. van der Valk, M.J.J. La Haye, S. Dirksen & S.J.Vreugdenhil, 2013. Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013.12, Zoogdierveniging & Bureau Waardenburg

RICO P. & LAGRANGE H. 2011. Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13). *Biotope*. 39 p.

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

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.

RYDELL J., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.J., GREEN M., RODRIGUES L. & HEDENSTROM A. 2010. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12(2) : 261-274.

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.

SANTOS S.M., CARVALLHO 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): e25383.

7 - ANNEXES

7.1 - Annexe 1 : activité chiroptérologique enregistrée au sol

n°	Répertoire informatique	Taux de fréquentation en mn/heure durant l'heure la plus fréquentée	Taux de fréquentation en contacts/heure durant l'heure la plus fréquentée	Total data	Nb contact/h sur nuit	Date début nuit	Durée corrigée
1	20140806_E10_GM	15,0	180	203	73,82	6-août-14	2:45
2	20140806_RefugeChasse_GM	26,9	323	442	160,73	6-août-14	2:45
2 bis	20140807_E08_GM	1,4	17	34	12,36	7-août-14	2:45
2 ter	20140807_E12_GM	68,3 ³⁹	820	1 468	533,82	7-août-14	2:45
3	20140807_E04_GM	28,1	337	403	146,55	7-août-14	2:45
4	20140807_E14_GM	0,5	6	6	2,18	7-août-14	2:45
5	20140902_E04_APL	4,5	54	314	29,30	2-sept.-14	10:43
6	20140903_E04_APL	5,2	62	266	24,71	3-sept.-14	10:46
7	20140905_E14_APL	12,3	147	648	59,54	5-sept.-14	10:53
8	20140906_E14_APL	13,0	156	384	35,12	6-sept.-14	10:56
9	20140907_E14_APL	13,3	160	238	21,67	7-sept.-14	10:59
10	20140909_E10_APL	3,1	37	142	12,79	9-sept.-14	11:06
11	20140910_E10_APL	2,9	35	191	17,13	10-sept.-14	11:09
12	20140911_E10_APL	1,0	12	24	2,14	11-sept.-14	11:13

³⁹ L'activité apparait artificiellement avec 68 mn par heure du fait de la composition plurispécifique des données.

7.2 - Annexe 2 : enregistrements de chiroptères

C : détermination certaine, Pr : détermination probable, considérée comme indéterminée dans l'analyse final

N°	Date_Lieu_Observateur	Total	sp.	Barbastella barbastellus	Rhinolophus hipposideros	Myotis sp.	Nyctalus noctula	Nyctalus leisleri	Eptesicus serotinus		Groupe Nyctalus/Eptesicus	Pipistrellus nathusii	Pipistrellus kuhlii	Pipistrellus pipistrellus	Pipistrellus pigmaeus	Miniopterus schreibersii	Minio-Pygmée	Pipistrellus nathusii/pipistrellus	Pipistrellus nathusii/kuhlii
									C	Pr									
1	20140806_E10_GM	203	3			1	1	1				1		193				2	1
2	20140806_RefugeChasse_GM	442	7			15					69			351					
2 bis	20140807_E08_GM	34		1		6								23		1		3	
2 ter	20140807_E12_GM	1468	1	1	2	235								1141	2	18	19	47	2
3	20140807_E04_GM	403				1		2			4			385		6		4	1
4	20140807_E14_GM	6						6											
5	20140902_E04_APL	314				6							1	300		3	1	3	
6	20140903_E04_APL	266				2								245		1		16	2
7	20140905_E14_APL	648	4		1	11	1	1	3	5	8		4	542		9		57	2
8	20140906_E14_APL	384		1		11			2	3	8		4	320		1		26	8
9	20140907_E14_APL	238				9					3			210		3		10	3
10	20140909_E10_APL	142				2					8			115				14	3
11	20140910_E10_APL	191	6			3			1					164		2	1	13	1
12	20140911_E10_APL	24												22				1	1
		4 763	21	3	3	302	2	10	6	8	100	1	9	4 011	2	44	21	196	24

N°	Date_Lieu_Observateur	Myotis sp. restant	Myotis daubentoni		Myotis mystacinus		Myotis myotis		Myotis bechsteinii		Myotis brandtii		Myotis emarginatus	
			C	Pr	C	Pr	C	Pr	C	Pr	C	Pr	C	Pr
1	20140806_E10_GM	1												
2bis	20140807_E08_GM	3	1		1								1	
3	20140807_E04_GM	0	1											
5	20140902_E04_APL	3	1	1					1					
6	20140903_E04_APL	2												
7	20140905_E14_APL	7			1					3				
8	20140906_E14_APL	6	2		1			1				1		
9	20140907_E14_APL	6	1						1		1			
10	20140909_E10_APL	1					1							
11	20140910_E10_APL	1	2											
TOTAL		30	8	1	3	0	1	1	2	3	1	1	1	0
			9		3		2		5		2		1	

Les murins n'ont pas été déterminés au droit du refuge de chasse et de l'éolienne E12 au vu de l'importance du nombre de données alors que cela ne correspondait pas aux zones d'étude

7.3 - Annexe 3 : mortalité des oiseaux

Date	Eolienne et distance (m)	Espèce	Etat (vivant, frais, avancé, sec)	Blessures	Sexe	Age
02/09/2014	E04 : 34	Gobemouche noir	frais	sang au niveau du bec	M	1A
02/09/2014	E04 : 25	Roitelet à triple bandeau	frais	pas de blessures apparentes	M	1A
09/09/2014	E14 : 30	Roitelet à triple bandeau	avancé (larves de mouches)	pas de blessures apparentes	M	1A
12/09/2014	?	Traquet motteux	vivant	aile(s) luxée(s)	M	1A
03/10/2014	E04 : 35	Rougegorge familial	frais	victime de collision	?	1A
21/10/2014	E10 : 15	Roitelet à triple bandeau	frais	pas de blessures apparentes	M	1A
24/10/2014	E04 25	Roitelet à triple bandeau	frais	pas de blessures apparentes	M	1A

Au total, 6 cadavres d'oiseaux ont été retrouvés lors des recherches de chauves-souris. Un 7^{ème} oiseau (Traquet motteux) a été trouvé blessé à proximité de la E10 mais encore capable de se déplacer, il n'est pas possible de connaître avec exactitude les origines et la cause de ses blessures⁴⁰. Les remarques suivantes peuvent-être formulées :

- Tous les oiseaux trouvés sont des passereaux ;
- Les deux tiers des cadavres ont été trouvés au niveau de l'éolienne E4 ;
- Les éoliennes affectent de manière certaine des oiseaux migrateurs (ex : Gobemouche noir) mais il est plus difficile de statuer pour les oiseaux locaux. Même si le Roitelet à triple bandeau et le Rougegorge familial sont des nicheurs locaux, en général à cette période de l'année, il s'agit plutôt de migrateur venant du nord de l'Europe⁴¹ ;
- Une majorité de Roitelet à triple bandeau qui constitue une des espèces de passereaux les plus impactées par les éoliennes notamment en France (Dürr, 2014). En Allemagne, il représente 1 % des oiseaux trouvés morts sous les éoliennes (3% des passereaux) contre 12 % pour la France (24 % des passereaux). Cela s'explique probablement par la localisation géographique de ces 2 pays vis-à-vis de l'axe migratoire de l'espèce (plus d'oiseaux transit par la France) ;
- Comme pour les chauves-souris, les cadavres disparaissent rapidement ;
- Hormis pour le cadavre de Rougegorge familial qui ne laisse aucun doute sur la cause de la mort (collision), aucune blessure apparente n'était visible surtout pour les petites oiseaux. Cela laisse supposer la mort des plus petites espèces par barotraumatisme comme l'avait déjà exposé Beucher et *al.*, (2013) sur le parc de Castelnau-Peygarols ;
- Tous les oiseaux affectés sont des oiseaux de 1^{ère} année (individus moins expérimentés ?)

⁴⁰ D'autant que la présence de cette espèce en forêt n'ait que peu probable

⁴¹ Pour le Roitelet triple-bandeau, tous les oiseaux sont des mâles, sexe majoritaire en migration