

BIOTOPE

22 bv du maréchal Foch

34140 Mèze

N° contrat : 08

Chirotech

Bilan des tests d'asservissement sur le parc du
Mas de Leuze (commune de Saint Martin de
Crau-13)- 2011

Pauline Rico, Hubert Lagrange

ADEME

Route des lucioles

06 560 VALBONNE

Responsable Projet

Hubert Lagrange

+ 33 (0)467 184 628

hlagrange@biotope.fr

22, boulevard Maréchal-Foch

34140 Mèze (France)

recherche et développement



SOMMAIRE

I. Introduction générale	4
1. Problématique éolienne/Chiroptères	4
2. Historique et Avancées de l'étude Chirotech®	9
3. Objectifs de cette année sur la réduction de la mortalité et sur les pertes énergétiques.....	9
II. Matériel et Méthodes	10
1. Localisation et historique du site.....	10
2. Protocole d'échantillonnage	11
3. Ecologie chiroptères	12
3.1. Activité en fonction de la vitesse du vent	13
3.2. Activité en fonction de la température	13
3.3. Activité en fonction de la date et de l'heure	14
4. Suivi mortalité.....	15
4.1. Recherche des cadavres	15
4.2. Analyse des cadavres	16
4.3. Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction	16
4.4. Suivi de l'activité et des trajectoires par caméras thermiques et acoustiques	17
5. Méthodologie génétique	18
6. Statistiques	18
III. Résultats.....	19
1. Mortalité constatée	19
1.1. Distribution temporelle et spatiale	20
2. Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction	24
2.1. Taux de détection de l'estimateur (estimation de p)	24
2.2. Résultats génétiques	25
3. Perte de production calculées sur les éoliennes régulées et les non-régulées	25
4. Mortalité des oiseaux	26

IV. Discussion.....	27
1. Répartition saisonnière du nombre de victimes découvertes	27
2. Résultats selon l'éolienne.....	28
3. Caractéristiques des espèces victimes et des causes de la mort	29
3.1. Le type de vol	29
3.2. Migrateurs ou résidents	30
3.3. Causes de le mort	30
4. Estimation du nombre effectif de victimes	31
4.1. Facteurs de correction	31
4.2. Victimes hors de la zone de prospection	33
5. Comparaison de la mortalité interannuelle et intersites	34
6. Régimes de protection et statut de conservation des espèces.....	35
6.1. Régimes de protection	36
6.2. Degré de menace	37
6.3. Enjeux locaux de conservation et niveaux de rareté	37
7. Perte de production d'énergie	39
ANNEXES	40
Bibliographie.....	50

I. Introduction générale

1. Problématique éolienne/Chiroptères

Pour limiter le recours aux énergies fossiles et réduire l'impact des hommes sur l'environnement, les politiques territoriales et gouvernementales favorisent les énergies renouvelables, et en particulier l'éolien. Aujourd'hui, une seule éolienne de 2MW fournit de l'électricité pour 2000 personnes, chauffage compris. Fin 2011, la France possède près de 6,6 GW de puissance installée, répartie sur environ 600 parcs éoliens. Les parcs éoliens sont en pleine expansion en Europe (Figure 1). Chaque année, 500 éoliennes environ sont mises en service en France, soit environ 1000MW (l'équivalent de la puissance de 1,5 centrale thermique). Il en faudra deux fois plus (6000 éoliennes) en 2020 pour répondre aux objectifs du Grenelle de l'environnement.

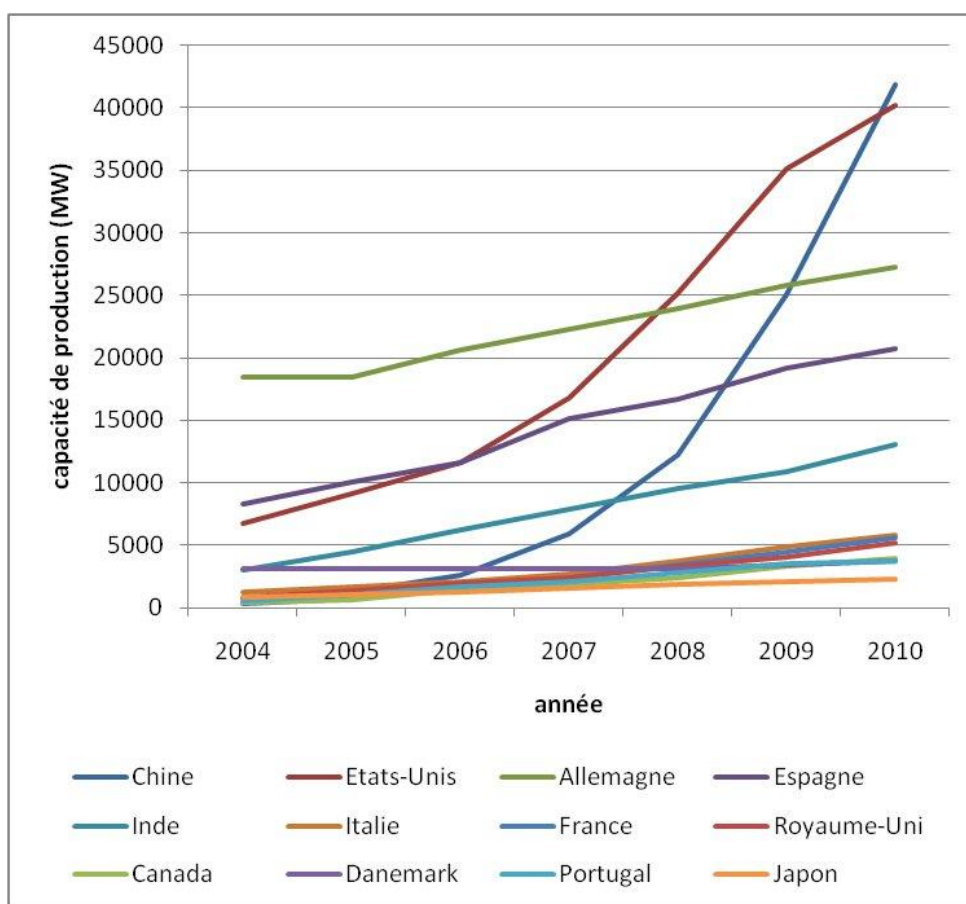


Fig. 1 : Les dix plus gros pays producteurs d'énergie éolienne en 2010 et l'évolution de leur parc depuis 2004.

© Bruno Scala/Futura-Sciences, données thewindpower.net

Ce développement peut poser des problèmes environnementaux, notamment vis-à-vis des chiroptères qui sont en grande partie menacés en France (Tableau 1).

Tableau 1 : Liste rouge des espèces de Chiroptères en France

Etat de conservation	Nombre d'espèces	Répartition
En danger critique d'extinction	1	3%
Vulnérable	3	9%
Quasi-menacée	7	21%
Préoccupation mineure	18	55%
Données insuffisantes	4	12%
Total	33	
Note : *inventaire de l'état de conservation des espèces de l'UICN.		
Source : UICN, 2009.		

Les premiers cas de mortalité de chauves-souris induits par les éoliennes ont été rapportés dès les années 70 (Hall & al., 1972), et les premières études sur l'impact des parcs éoliens sur ces populations ont été menées aux Etats-Unis, principalement dans le Minnesota, l'Oregon et le Wyoming (Osborn et al., 1996 ; Puzen, 2002 ; Johnson et al., 2003). Depuis, en Europe, les programmes de suivis permettent de constater que certaines espèces de chiroptères sont régulièrement impactées, avec de fortes variations entre les sites étudiés (Hokter et al, 2006 ; Rydell et al, 2010). En France, les éoliennes les plus meurtrières pourraient tuer jusqu'à plusieurs centaines d'individus par an (BIOTOPE – 2009). La compilation chiffrée des données disponibles est régulièrement mise à jour, au niveau européen par T. Durr (www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb2.c.451792.de) et au niveau français par la Société Française d'Etude et de Protection des Mammifères (www.sfepm.org/eoliennescs.htm). Plusieurs articles montrent que sur certains sites, les niveaux de mortalité sont suffisamment significatifs pour ne pas être considérés comme accidentels. Les éoliennes induisent en effet une mortalité plus importante sur les chiroptères que sur les d'oiseaux (Durr, 2007).

Tableau 2 : Synthèse de la mortalité avérée des chiroptères en Europe
d'après DURR janvier 2011, MJ Dubourg-Savage le 16/12/2009 et Eurobats publication N°3 (Rodrigues et al., 2008).

	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>CH</i>	<i>CR</i>	<i>E</i>	<i>ET</i>	<i>FR</i>	<i>NL</i>	<i>NO</i>	<i>P</i>	<i>SL</i>	<i>SW</i>	<i>T</i>	<i>UK</i>	<i>Total</i>
<i>Nyctalus noctula</i>	513	3			1		9			1		1	3		531
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	0				1		2								3
<i>N. leisleri</i>	66		1		1		21			18			1		108
<i>Eptesicus serotinus</i>	32				1		10			1			7		51
<i>E. nilssonii</i>	2					2			1			8			13
<i>Vespertilio murinus</i>	54											1	2		57
<i>Myotis myotis</i>	2				1										3
<i>M. dasycneme</i>	1														1
<i>M. daubentonii</i>	4									2					6
<i>M. bechsteini</i>	0						1								1
<i>M. emarginatus</i>	0						2								2
<i>M. brandtii</i>	1														1
<i>M. mystacinus</i>	2														2
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	283				1		213	1		10		1	3		512
<i>P. nathusii</i>	358	1					65	1				5	2		432
<i>P. pygmaeus</i>	32						66			2		1		1	102
<i>P. kuhlii</i>	0				1		59								60
<i>Pipistrellus sp.</i>	22		1				62			16			2	3	106
<i>Hypsugo savii</i>	1			1	3		22			6	2				35
<i>Barbastella barbastellus</i>	0						1								1
<i>Plecotus austriacus</i>	6	1													7
<i>Plecotus auritus</i>	4														4
<i>Tadarida teniotis</i>	0						1			1					2
<i>Miniopterus schreibersii</i>	0				1		3			1					5
<i>Chiroptera sp.</i>	31				14	1	16			8		30		6	106
Total	1414	5	2	1	25	3	554	2	1	66	2	47	20	10	2151

D = Allemagne, A = Autriche, CH = Suisse, CR = Croatie, E = Espagne, ET = Estonie, FR = France, NL = Pays-Bas, NO = Norvège, P= Portugal, SL = Slovénie, SW = Suède, T = Tchéquie, UK = Grande-Bretagne

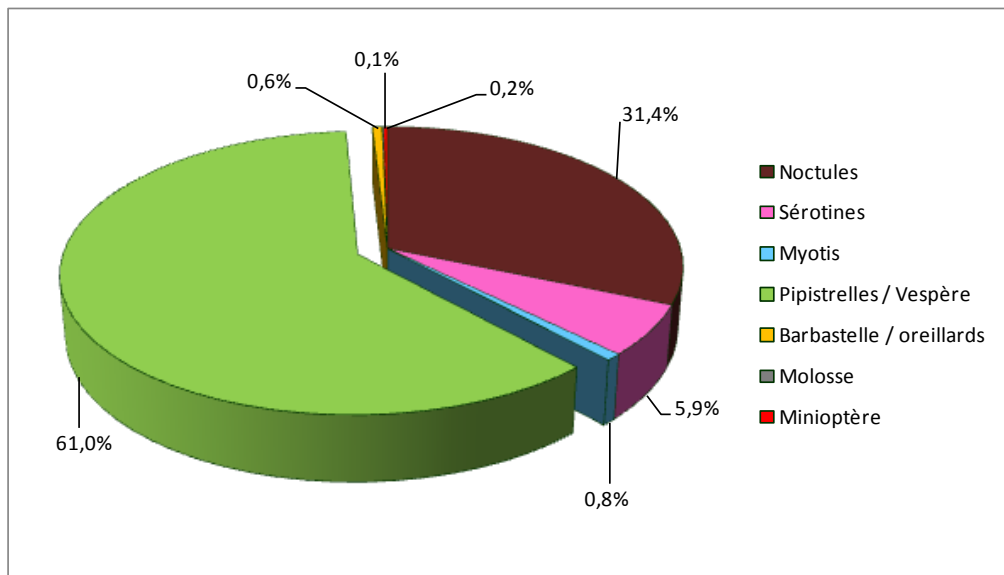


Fig. 2 : Mortalité avérée des chiroptères en Europe, proportion des groupes d'espèces impactés par l'éolien

La proportion des espèces touchées varie fortement en fonction des pays (Tableau 2, Fig. 2). Il est vraisemblable que cette proportion soit directement liée à l'abondance locale des différentes espèces. Actuellement aucun cadavre de Rhinolophe, groupe généralement rare (Arthur & Lemaire, 2009), n'a par exemple été observé, mais les rhinolophes volent plutôt bas, à moins de 5 mètres au dessus de la végétation. La biologie des espèces entre donc probablement aussi en ligne de compte. Les chauves-souris en recherche de proies sont attirées par le mouvement des pales, probablement par simple curiosité (Cryan & Barclay, 2009). De plus, les risques de mortalité pourraient être plus importants pour les espèces migratrices : la moitié des espèces impactées sont des Pipistrelles, dont une part très importante est constituée par la Pipistrelle de Nathusius, connue pour ses très grands trajets migratoires. La plupart de ces espèces sont aussi arboricoles, tout du moins quant au choix de leur gîte, ce qui va dans le sens d'une attirance vers les éoliennes, structures « évoquant » des arbres, potentiellement pourvu de cavités (Kunz *et al.*, 2007).

Les causes de mortalités peuvent alors être liées soit à des chocs directs avec les pales, soit à des phénomènes de barotraumatisme (Baerwald *et al.*, 2008 ; Seiche, 2008 ; Baerwald & Barclay, 2009 ; Cryan & Brown, 2007 ; Cryan & Barclay, 2009).

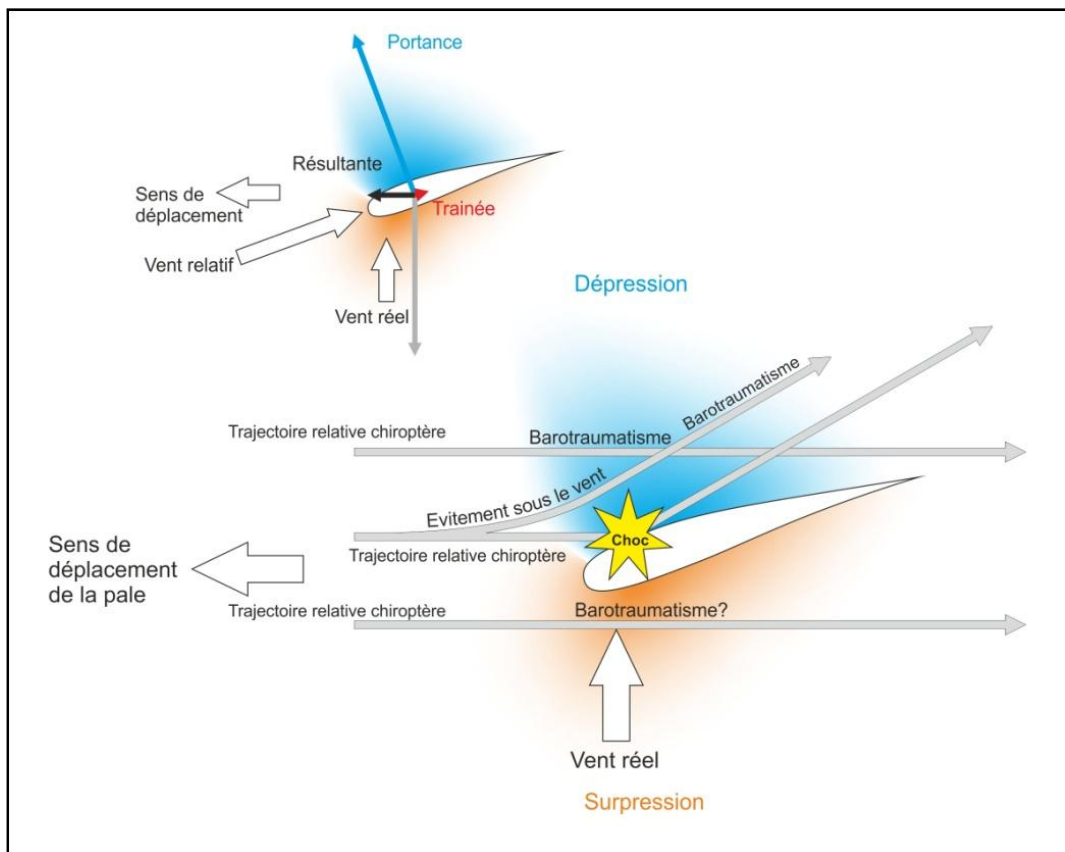


Fig. 3: Représentation schématique des trajectoires de chiroptère donnant lieu à une collision ou un barotraumatisme autour d'une pale en mouvement

Mais la plupart du temps, les chauves-souris évitent les hélices. C'est à proximité immédiate (< 3 m) des pales en mouvement, qu'elles traversent une zone de dépression brutale (Fig. 3) qui entraîne la rupture des vaisseaux capillaires (pulmonaires essentiellement) et provoque une hémorragie létale même s'il n'y a eu aucun choc. C'est pourquoi la plupart des cadavres récupérés et examinés ne présentent aucune lésion externe. Horn et al. (2008) montrent que les risques sont plus importants lorsque la vitesse de rotation des pales n'est pas très élevée, donc par vent faible. Depuis, des systèmes basés sur une élévation du seuil de vitesse de vent nécessaire au démarrage des éoliennes ont été testés au Etats-Unis (Arnett & Schirmacher, 2009; Baerwald et al. 2009). Le passage d'une vitesse de vent de démarrage de $3,5 \text{ m.s}^{-1}$ à $5,5 \text{ m.s}^{-1}$ permettrait de réduire la mortalité de 60 à 80 %. Ainsi les travaux de l'équipe d'Arnett (BWEC), réalisés depuis 2008 en Pennsylvanie (Nord EST des USA) (http://www.batsandwind.org/pdf/Curtailment_2008_Final_Report.pdf) et de Baerwald et al. (2009) indiquent que la mortalité des chauves-souris peut-être réduite de 56 à 92 % pour des pertes de productions annuelles de l'ordre de 0,3 à 1%.

2. Historique et Avancées de l'étude Chirotech®

Le projet Chirotech® a suscité l'intérêt du programme « Éolien et Biodiversité » porté par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) et le SER-FEE (Syndicat des Énergies Renouvelables-France Énergie Éolienne) et le MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer). Les études de l'activité des chiroptères en altitude réalisées notamment par la Société Biotope dans le cadre du projet Chirotech®, ont montrées que l'activité à 50m au dessus du sol était de l'ordre de 500 contacts par an, ce qui correspond, en tenant compte des volumes de détection à plus de 7000 passages de chauves-souris par éolienne et par an (Lagrange, 2009, Haquart, 2009). Ces études et d'autres (Rydell et al., op. cit.) montrent également que l'essentiel de l'activité des chiroptères a lieu dans des conditions météorologiques bien spécifiques. Les conditions « à risque » correspondent à des vitesses de vent faibles, généralement inférieures à 6 m/s et à des températures généralement supérieures à 10°C. Cela correspond également aux conditions qui précèdent la découverte de chiroptères impactés (Behr & Von Helversen, 2005 et 2006). Les risques sont très élevés entre 0 et 4 m/s, et déclinent entre 4 et 8 m/s. Ces paramètres varient notamment en fonction de la localité et des espèces présentes.

Le projet Chirotech® prévoit donc un arrêt des machines dans les conditions de forte activité des chiroptères. L'asservissement prend en compte plusieurs paramètres environnementaux afin de minimiser les pertes de production. Les premiers essais réalisés sur les parcs de Bouin (Vendée) et du Mas-de-Leuze (Bouches du Rhône) ont montré une baisse significative de la mortalité des chiroptères (54 à 90 %) (Lagrange H., 2011 et 2009) pour des pertes de production électriques très faibles (0,1 à 0,15 %).

3. Objectifs de cette année sur la réduction de la mortalité et sur les pertes énergétiques

Les objectifs du programme 2011 sur ce parc sont désormais de réguler le fonctionnement des éoliennes en diminuant significativement la mortalité constatée chez les chauves-souris, de poursuivre l'évaluation de mortalité des chiroptères grâce à des suivis au sol et par caméras thermiques et de caractériser leur activité sur le site. Il s'agira aussi d'optimiser l'efficacité du produit et de vérifier la pertinence des périodes d'arrêts définies en 2009 et 2010 sur le parc de Bouin (Vendée).

II. Matériel et Méthodes

1. Localisation et historique du site

Le parc éolien du Mas de Leuze (Fig. 4), situé dans la commune de Saint-Martin-de-Crau (13) est très meurtrier vis-à-vis des chiroptères d'après les études réalisées en 2008 et 2009.



Fig. 4 : Localisation des éoliennes du parc du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13)

Le suivi de la mortalité des Chiroptères, mené du 15 août au 2 octobre 2008, (AVES environnement et GCP 2008) a montré l'existence d'une mortalité élevée de chauves-souris liée aux éoliennes par rapport aux autres études menés sur des parcs éoliens, européens et nord-américains.

Toutefois, le niveau d'incertitude pesant sur les chiffres obtenus dans cette étude était très élevé; la raison tient en grande partie au fait que ces chiffres ont été évalués par extrapolation à partir de cadavres de Chiroptères collectés uniquement au niveau de 3 des 9 éoliennes du parc et durant une courte période du cycle d'activité des chauves-souris.

Suite à ces premiers résultats déterminants et afin d'obtenir des résultats plus tangibles, le suivi a été renouvelé en 2009 avec, cette fois, la réalisation d'une recherche de victimes sous toutes les éoliennes du parc et pendant un cycle quasi complet d'activité, c'est-à-dire du 17 mars au 27 novembre, l'objectif essentiel étant de préciser au mieux l'importance réelle de la mortalité des chauves-souris engendrée par les éoliennes du Mas de Leuze.

2. Protocole d'échantillonnage

Pour tester si l'asservissement des éoliennes induit une diminution de mortalité des chauves-souris, le protocole expérimental que nous avons employé est un protocole BACI (Before-After Control-Impact). Proposé par Green en 1979, le « Before-After Control-Impact » (ou BACI) permet d'évaluer selon un principe assez simple, les impacts sur des communautés animales.

Ce type de protocole est classiquement utilisé dans les études d'impact en environnement et permet de tester sans ambiguïté l'effet de l'impact d'un aménagement.

Le protocole BACI est couramment utilisé en écologie terrestre ; études d'impact des éoliennes sur l'avifaune (Celse, 2005), ou étude du rétablissement des populations de canards après une catastrophe pétrolière (Esler *et al.*, 2002).

Ici, nous avons considéré que l'asservissement des éoliennes constitue une forme d'aménagement et nous avons testé l'impact de l'asservissement sur la mortalité des chauves-souris. Lorsque l'installation d'un aménagement est susceptible de produire un impact sur l'environnement alentour, le protocole BACI consiste à effectuer des mesures avant (Before) et après (After) l'installation de l'aménagement. Ces mesures sont récoltées sur des zones hors de portée de l'impact (Control) aussi bien que sur des zones susceptibles d'être impactées (Impact). Ce protocole possède l'avantage de ne tester que l'effet de l'impact, à l'exclusion de tout autre effet (Gotelli & Ellison, 2004).

Le principe du test est le suivant : dans la même analyse, on teste séparément l'effet de la Période en comparant le groupe Avant avec le groupe Après, l'effet du Traitement en comparant le groupe Contrôle avec le groupe Impact, et l'effet de leurs quatre interactions. Si seul l'effet des interactions est significatif, alors le test permet de conclure à un effet de l'impact, à l'exclusion de toute autre influence. Pourquoi, dans ces conditions, ne pas faire seulement la comparaison entre les groupes Contrôle et Impact ? Si seule cette comparaison avait été faite, il aurait été impossible d'éliminer une possible variabilité qui aurait pu être due aux différences entre éoliennes, et non à l'asservissement. La comparaison des groupes Avant et Après, permet de s'affranchir de l'influence de la période qui pourrait s'introduire dans l'effet et être la cause de la différence observée.

3. Ecologie chiroptères

Les risques de mortalité pourraient être plus importants pour les espèces migratrices : la moitié des espèces impactées sont des Pipistrelles, dont une part très importante est constituée par la Pipistrelle de Nathusius, connue pour ses très grands trajets migratoires. La plupart de ces espèces sont aussi arboricoles, tout du moins quant au choix de leur gîte, ce qui va dans le sens d'une attirance vers les éoliennes, structures « évoquant » des arbres.

Signalons également que les analyses concernent surtout les espèces du nord de l'Europe et que pour la partie Sud, très peu de retours de suivi existent ou sont disponibles. Dans ces régions, l'impact potentiel sur les espèces présentes doit donc être traité avec une grande prudence.

Des études d'observation par caméra thermique révèlent que les chiroptères s'approchent des éoliennes que les pales soient en mouvement ou non. Elles montrent des comportements de chasse, comme de prospection des nacelles et des pales (Rydell et al., op. cit.). Ce sont effectivement les pipistrelles et les noctules qui volent, prospectent et chassent régulièrement à des altitudes élevées, de l'ordre de 20-30 mètres (Bach & Bach, 2010).

Par ailleurs, sur le plan phénologique, la mortalité induite sur les chiroptères se concentre sur la fin de l'été (90% des cas de mortalité), c'est-à-dire en août-septembre, période qui correspond aux déplacements migratoires automnaux des adultes et des jeunes (Dulac op. cit., Leuzinger et al., 2008 et Rydell et al., 2010). Les phénomènes d'agrégation (vol en essaim) que l'on observe à cette période pourraient augmenter les risques de mortalité. Un petit pic de mortalité est aussi constaté au printemps, période de déplacement post hibernation.

Parmi les autres effets qui favorisent le risque de collision, ils sont surtout de nature paysagère, plus particulièrement fonction de la configuration des alignements des éoliennes avec celle du relief et de la végétation, et météorologique.

Les alignements trop denses peuvent créer des effets « barrière » néfastes durant les périodes des vols migratoires, surtout sur les crêtes, à proximité des cols et des grands corridors des cours d'eau, ainsi que le long des côtes littorales (Rydell et al., op. cit.). Le risque de mortalité serait plus important lorsque des alignements d'éoliennes sont placés perpendiculairement à un axe de transit ou sur un territoire de chasse très attractif. Ceci est particulièrement vrai en milieu forestier, notamment sur les collines boisées où l'on recense les chiffres de mortalité les plus élevés en Allemagne et en Suisse (Rydell et al., op. cit.). Les risques augmentent lorsque les éoliennes se situent à moins de 100 mètres d'une lisière (Endl et al., 2004, Seiche, 2008). A proximité d'une colonie, les routes de vol (gîte/territoire de chasse) sont empruntées de façon quotidienne. Les risques sont donc particulièrement notables à proximité d'un gîte d'espèce sensible.

3.1. Activité en fonction de la vitesse du vent

La répartition de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent est relativement homogène et permet la constitution d'un modèle où la vitesse du vent apparaît comme un facteur clef de régulation de l'activité des chauves-souris en altitude. L'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent peut-être décrite par une sigmoïde présentant :

Une phase de vent faible où les variations de vitesse de vent n'affectent que peu l'activité des chauves-souris en altitude,

Une phase de vent moyen où les variations des vitesses de vent induisent une variation inversement proportionnelle de l'activité des chauves-souris en altitude,

Une phase de vent fort où l'intensité de la vitesse du vent empêche l'activité des chauves-souris en altitude.

Plusieurs hypothèses permettent d'expliquer ces observations :

Par des vents forts, l'effort nécessaire à ces animaux pour se déplacer devient trop important par rapport au gain d'énergie découlant de la capture d'insectes,

La masse d'aérophton diminue avec des vitesses de vent élevées, rendant inutiles les comportements de chasse. Les chiroptères chasseraient alors à l'abri du relief ou de la végétation.

Il n'est pas impossible que les performances du système d'écholocation soient affectées par des vents forts (déformation, bruits de fond...), ce qui rendrait la chasse moins efficace au cours de ces conditions.

3.2. Activité en fonction de la température

Comme pour l'analyse de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent, l'analyse de l'activité de ces animaux en fonction de la température permet la construction d'un modèle homogène. Les grands traits de l'influence de la température sur l'activité des animaux peuvent se résumer de la manière suivante :

Deux phases, pour les températures très froides et très chaudes, où l'activité des chauves-souris est inhibée par la température,

Une phase pour les températures basses à moyenne, où les variations d'activité des chauves-souris sont proportionnelles à la hausse de température,

Une courte phase pour les températures moyennes où l'activité des chauves-souris n'est pas affectée par la température,

Une phase pour les températures chaudes où les variations d'activité des chauves-souris sont inversement proportionnelles aux variations de températures.

Plusieurs hypothèses permettent d'expliquer ces observations :

Pour des températures faibles l'énergie thermique dissipée est trop importante pour que l'animal puisse maintenir sa température corporelle. Ces périodes correspondent également à des périodes où les déplacements d'insectes sont insuffisants pour assurer un bilan énergétique positif (alimentation / effort).

Inversement pour des températures élevées, les animaux pourraient avoir du mal à évacuer la chaleur produite par l'effort de vol. Ces périodes pourraient également correspondre à des répartitions différentielles des animaux (plus haut, emportés par des courants ascendants où plus bas à la recherche de fraîcheur).

3.3. Activité en fonction de la date et de l'heure

L'analyse de l'activité des chiroptères en fonction de la date et l'heure nous montre que les chauves-souris sortent principalement entre mai et septembre, de 22h à 4h du matin (Fig. 5).

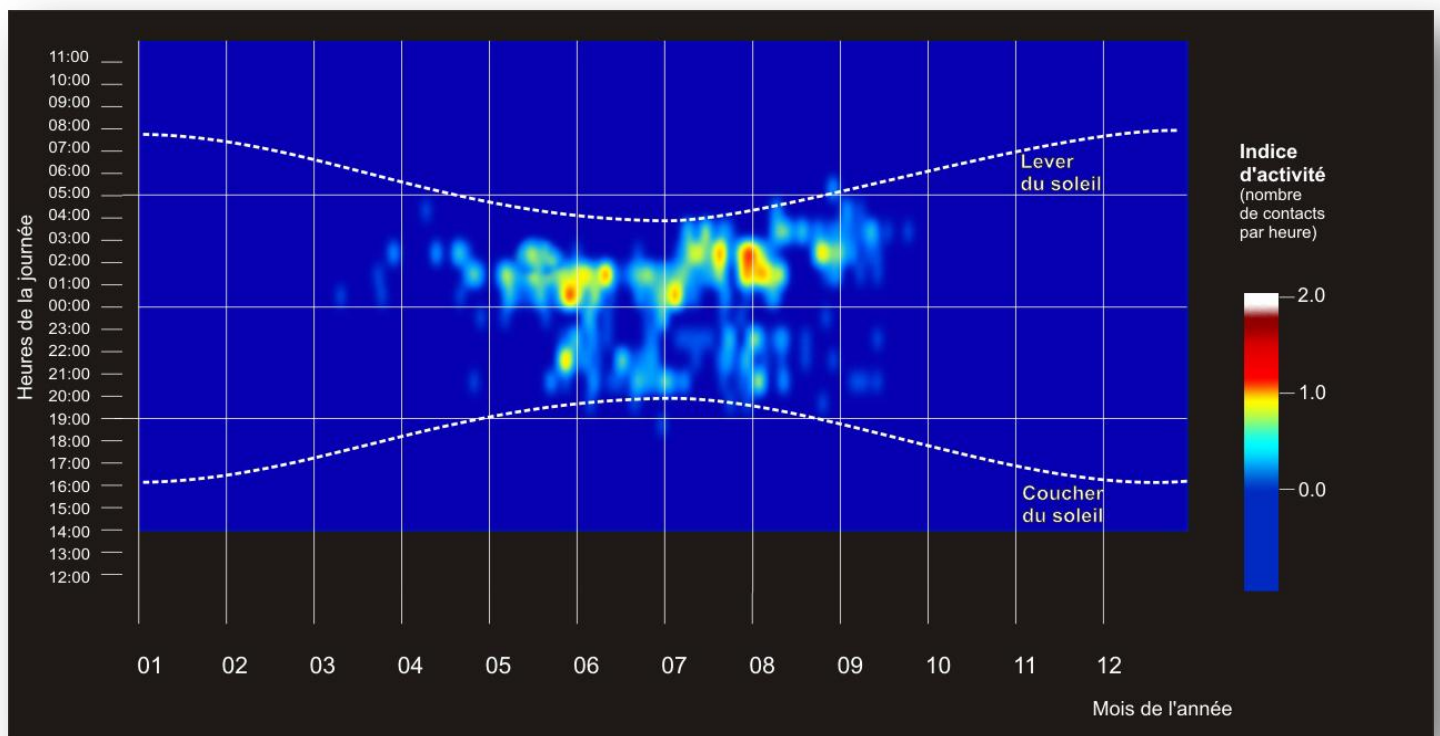


Fig. 5 : Représentation de l'activité des chauves-souris en fonction de la date et de l'heure

4. Suivi mortalité

4.1. Recherche des cadavres

La recherche des cadavres a été effectuée par Laurent Allouche, Hubert Lagrange et Philippe Catillo du 12 juillet du 1^{er} octobre 2011 (soit 28 visites en 82 jours).

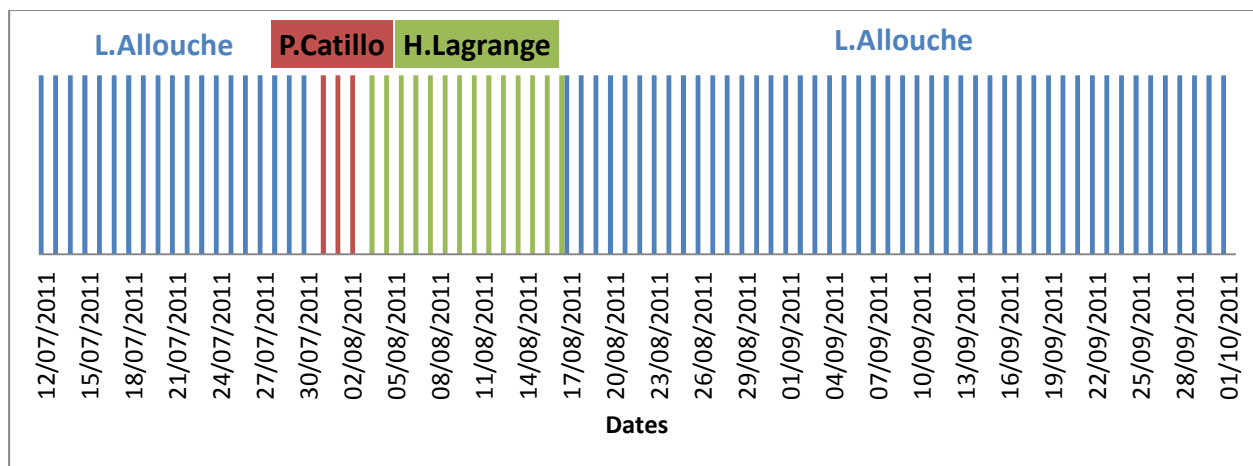


Fig. 6 : Date des relevés selon les observateurs

En dehors d'H. Lagrange, les observateurs ne connaissaient pas le plan de régulation des éoliennes.

Les prospections ont été réalisées tous les 3 jours sous 8 des 9 machines du parc (E2 à E9) (Fig. 4) ; la zone localisée sous l'éolienne située à l'extrémité sud-est du site (E1) n'a pas été explorée car elle était en grande partie inaccessible.

Les recherches ont débuté dans l'heure suivant le lever du soleil en changeant, à chaque visite, l'ordre des éoliennes prospectées de manière à prendre en compte, pour chacune d'entre elles, une éventuelle variabilité temporelle du risque.

Les prospections sous chaque éolienne durent environ 60 minutes. L'observateur tient l'extrémité d'une corde de 40 m de long fixée à la base de l'éolienne. La corde est d'abord en pleine extension et le chercheur chemine autour de la base de la machine jusqu'à réaliser un cercle presque complet puis il raccourcit la corde de 4 mètres et effectue une nouvelle rotation mais dans le sens inverse. Ce procédé est répété jusqu'à ce que l'observateur atteigne la base de l'éolienne (Fig. 7).

Par conséquent, sous chacune des 8 éoliennes, l'aire de recherche est un cercle de 40 mètres de rayon, d'une superficie d'environ 0,5 hectare, et le secteur exploré, lors de chaque rotation, a une largeur de 4 mètres.

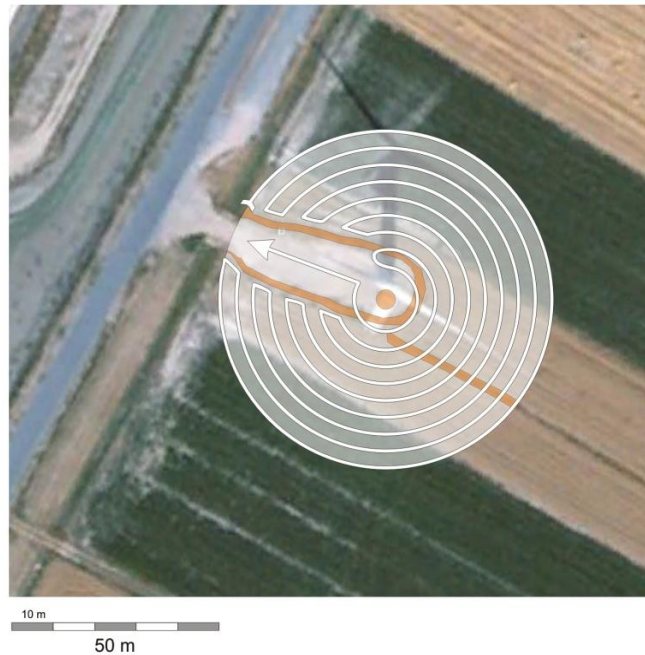


Fig. 7 : Aire et méthode de prospection

4.2. Analyse des cadavres

Tous les cadavres de chauves-souris trouvés ont été photographiés et pour chacun d'entre eux, il a été noté : le numéro de l'éolienne la plus proche, la localisation (coordonnées GPS + azimuth), l'état et la date présumée de la mort.

La tête de chaque individu (en dehors de 2 chauves-souris encore vivantes et de 3 cadavres sans tête) a été prélevée et conservée dans l'alcool ou congelée en vue d'une identification génétique des espèces.

4.3. Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction

Quatre séries de tests, visant à déterminer le taux de détection de l'observateur, ont été effectués au cours de la période de suivi afin de tenir compte, à la fois, de l'observateur concerné et de l'évolution de l'importance de la couverture végétale.

Elles ont été réalisées le 12 juillet, le 29 août et le 16 septembre (L. Allouche) ainsi que le 2 août (P. Catillo).

Pour chacune d'entre elles, 50 leurres en tissus ont été déposés sur le parc, en fin de journée, par un assistant le jour précédent leur recherche par l'observateur ; leur nombre au niveau de chaque éolienne, déterminé par tirage au sort, et leur localisation étaient inconnus de l'observateur.

De façon à évaluer la vitesse de disparition des cadavres du fait, notamment, de la faune nécrophage, la quasi totalité des animaux trouvés ont été laissés sur place ; leur présence/absence a été constatée à l'occasion des visites suivantes réalisées dans le cadre de la recherche de cadavres, i.e., tous les 3 jours.

Ces chauves-souris ont été suivi du jour de leur découverte jusqu'à leur disparition complète ou jusqu'au moment où l'observateur a estimé que les restes ne pouvaient pas permettre de repérer les individus en dehors d'une connaissance précise de leur localisation (dans la plupart des cas, présence seulement des avant-bras sans patagium).

L'estimation du nombre effectif de victimes a été réalisée au moyen de la formule d'Erickson :

$$m = I \times C / t_m \times p, \text{ où :}$$

m est le nombre effectif de victimes estimé,

I est l'intervalle (en nombre de jours) entre les contrôles,

C est le nombre de cadavres trouvés,

t_m est le temps de séjour moyen (en jours) des cadavres déposés sur le terrain,

p est le taux d'efficacité de l'observateur.

4.4. Suivi de l'activité et des trajectoires par caméras thermiques et acoustiques

L'étude du comportement des chauves-souris se fait grâce à la détermination de leur indice d'activité basé sur la détection des ultrasons émis par ces animaux pour se repérer et localiser leurs proies. Le principe est décrit sur le schéma....

4.2.1. DECAN

DECAN (**D**étection de **C**ollision d'**A**nimaux) est un projet porté par la société Biotope. Il est destiné à suivre l'activité de l'ensemble des animaux (oiseaux, chauves-souris, insectes centimétriques) dans le volume brassé par les pales des éoliennes. Ce système permet de décrire finement le comportement des animaux à proximité immédiate des pales, de comptabiliser, s'il y a lieu, les occurrences de mortalité et de piloter les éoliennes

En cas de détection de collision, il gère un système d'alerte permettant de prendre une photo haute définition de l'animal et de prévenir des opérateurs pour rechercher le cadavre.

Couplé à un système de collecte des données météo, il permet de modéliser le comportement des animaux en fonction des cycles journaliers, saisonniers et des conditions météo.

Son utilisation permet de coupler l'analyse du comportement des oiseaux et des chauves-souris sans doubler les installations (optiques pour les oiseaux - ultrasonore pour les chauves-souris).

4.2.2. Sonochiro

Le système développé est basé sur un enregistreur d'ultrasons qui numérise à la fois les sons captés par le microphone installé en haut du mât de mesure et les sons reçus par le microphone situé à quelques mètres du sol. Les microphones sont pourvus de coques en acier inoxydable, développées spécifiquement pour ce type d'enregistrement.. Associées à une membrane en textile hydrofugée, elles assurent un maintien des performances des capsules électret sur plusieurs mois, même en subissant régulièrement des conditions météorologiques difficiles.

L'ensemble est alimenté par un panneau solaire et équipé d'une protection contre les signaux parasites (ondes radio, TV...)

Les sons enregistrés sont horodatés et identifiés grâce au programme Sonochiro® développé par Biotope en partenariat avec le Muséum National d'Histoire Naturel (Yves Bas, 2011). Cet outil innovant permet un traitement automatique et rapide d'importants volumes d'enregistrements.

La prédétermination des enregistrements ainsi réalisée est ensuite validée par un expert pour les groupes et espèces délicats et celles ayant obtenu un faible indice de confiance.

Les enregistrements sont analysés à l'aide de logiciels qui donnent des représentations graphiques du son (sonagrammes) et permettent de mesurer une série de paramètres utilisés pour l'identification (Fig. 8).

8).

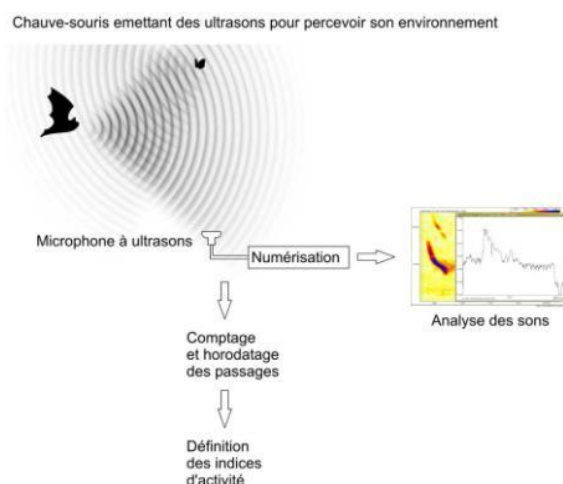


Fig. 8: Schéma principe de détection de chauves-souris et de définition de leur activité par suivi ultrasonore.

5. Méthodologie génétique

Le suivi de mortalité nous a permis de récolter de nombreuses têtes et corps d'individus morts, préservées dans l'alcool ou congelées pour pouvoir par la suite étudier leur ADN. L'alcool permet de le préserver en remplaçant l'eau contenue dans les cellules, ce qui a pour effet d'inhiber les enzymes qui pourraient lyser les macromolécules. Cinquante et un échantillons de tissus frais (muscle ou viscères) sont prélevés et envoyés au laboratoire Genoscreen. Les tissus y subiront une extraction d'ADN et une amplification par PCR (polymerase chain reaction). Un séquençage double sens par la méthode Sanger® sera effectué sur une cible génomique de l'ADN mitochondrial (cytochrome b) afin de déterminer à quelle espèce appartient chaque individu.

6. Statistiques

Nous testons l'effet de la régulation des éoliennes en 2011 sur la mortalité, évaluée ici par le nombre de cadavres récoltés. L'analyse statistique des relations entre l'asservissement des éoliennes et le nombre de cadavres de chauves-souris trouvé a été faite sur la base du modèle GAM (Generalized Additive Model). Ce sont les modèles les plus utilisés pour évaluer des relations à court terme, en tenant compte des tendances temporelles à long, moyen et court terme et des variables météorologiques avec introduction de liaisons non paramétriques entre les variables.

Comme c'est souvent le cas dans les données de comptage, les données de mortalité ne sont pas distribuées normalement mais suivent une distribution de Poisson. Nous avons donc aussi utilisé des modèles linéaires généralisés (GLM, avec Poisson d'erreur, corrigée depuis plus de dispersion mise en jachère Faraway, 2006 et Crawley, 2009 approche) pour évaluer l'effet des variables sur la fatalité des chauves-souris. Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel R (R Cran Projet 2010).

III. Résultats

1. Mortalité constatée

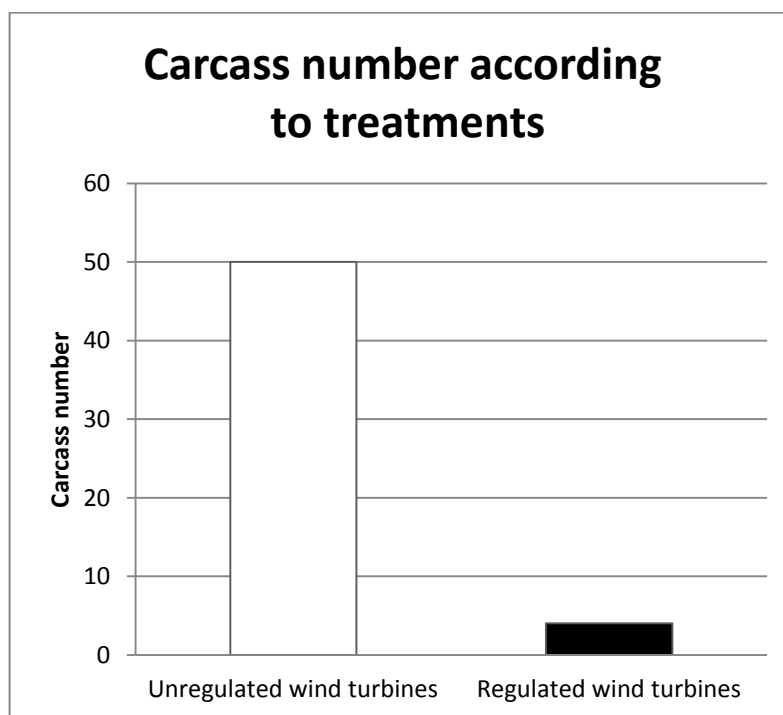


Fig. 9 : Mortalité constaté sous les éoliennes régulées ou non

Un total de 54 carcasses de chauves-souris a été trouvé en 2011. Nous pouvons constater qu'il n'y a que 4 chauves-souris (soit 7% de la totalité) qui sont mortes pendant la régulation des éoliennes, contre 50 chauves-souris (93%) sous les éoliennes non-régulées (Fig. 9).

Pour toutes les éoliennes réglementées, le nombre moyen de carcasses par éolienne et par semaine est de 0,13 et atteint 1,62 au cours de la période de non-régulation. Le dispositif permet de montrer une réduction de la mortalité par un facteur 6 à 9. Cette différence de mortalité entre les éoliennes réglementées et non réglementées est hautement significative ($P < 0,001$). Cette différence était importante quel que soit l'approche statistique choisie: un type de modélisation du modèle linéaire généralisé avec une erreur de Poisson ($F = 28,9095$, $p = 7.584e-08$), une loi binomiale négative ($df = 80,516$, $p = 7,618. e-08$), ou un modèle additif générale associée à une loi de Poisson ($Chi.sq = 17,764$, $P = 2.5e-05$).

1.1. Distribution temporelle et spatiale

1.2.1. Distribution temporelle

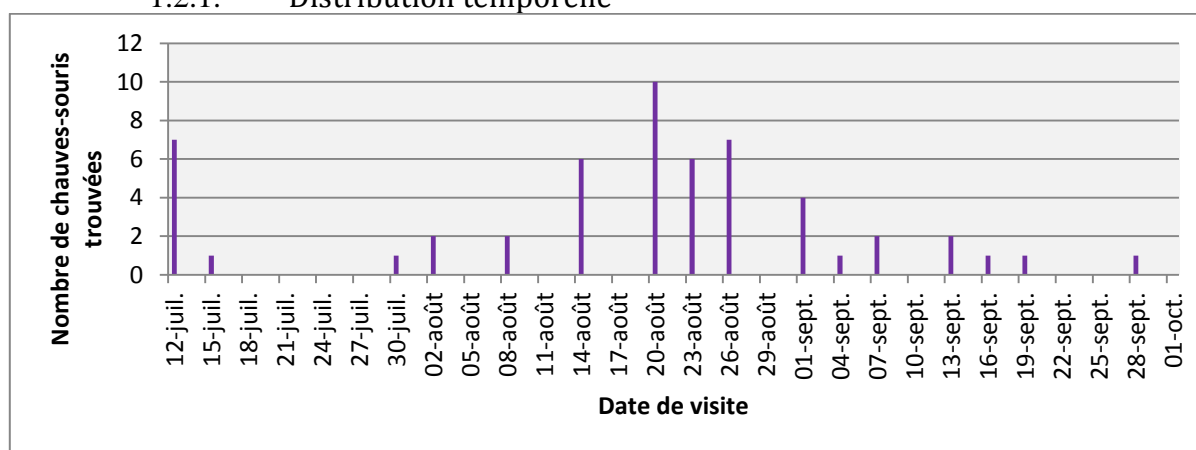


Fig. 10 : Répartition temporelle de la mortalité des chauves-souris

Tableau 3 : Répartition saisonnière

17 mars - 15 mai : période de transit printanier	Pas de données	
16 mai - 31 juillet : phase de mise à bas	9 CS trouvées	0,47 ind trouvé/jr
1er août - 30 septembre : période de transit automnale	45 CS trouvées	0,75 ind trouvé/jr
1er octobre - 30 novembre : faible activité	Pas de données	

Le suivi a eu lieu de 12 juillet au 1er octobre, soit 82 jours de suivi : 0,66 chauve-souris trouvée morte/jour.

Les individus ont été essentiellement découverts entre le 8 août et le 16 septembre (Fig. 10) (42 chauves-souris, soit 78 % du total) avec un pic durant la deuxième quinzaine d'août (23 individus).

Le nombre d'individus trouvés varie fortement selon la période d'activité (Tableau 3); le taux journalier de découverte, qui est ici le rapport du nombre d'individus trouvés sur le nombre de jours de la période concernée, présente sa valeur la plus élevée pendant la phase de transit automnale (1er août – 30 septembre).

1.2.2. Distribution spatiale

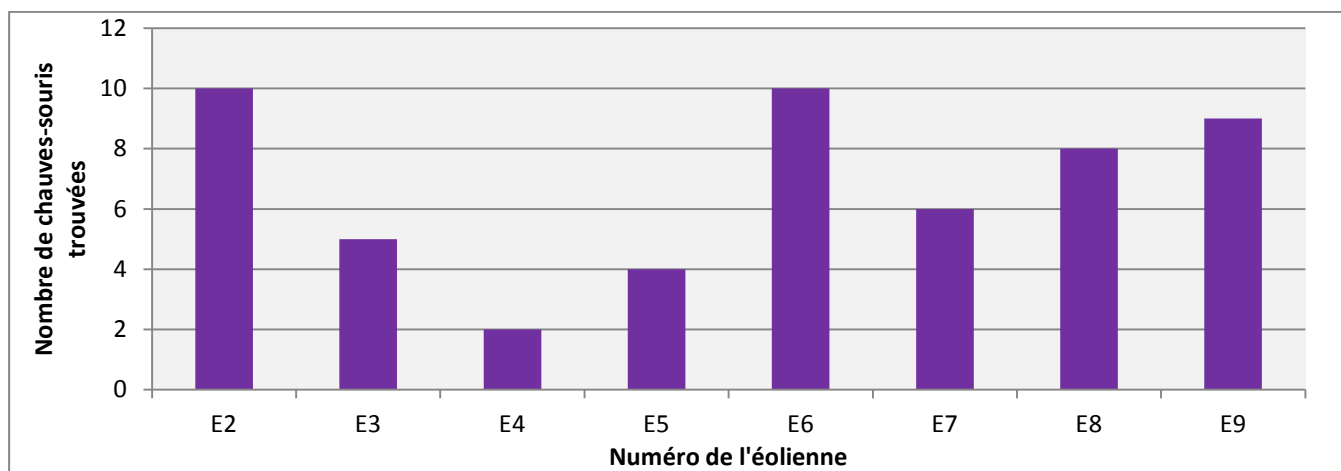


Fig. 11 : Répartition de la mortalité des chauves-souris en fonction du nombre de chauves-souris

Tableau 4 : Nombre de chauves-souris découvertes selon le numéro de l'éolienne pour l'ensemble de la période de suivi

Eolienne	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Nombre CS	10	5	2	4	10	6	8	9

C'est sous les éoliennes 6 et 10 que le nombre d'individus trouvés est le plus grand (Fig.11), respectivement 10 et 9 individus (Tableau 4).



Fig. 12 : Répartition spatiale des cadavres de chauves-souris découverts sur le parc éolien du Mas de Leuze entre le 12 juillet et le 1^{er} octobre 2001

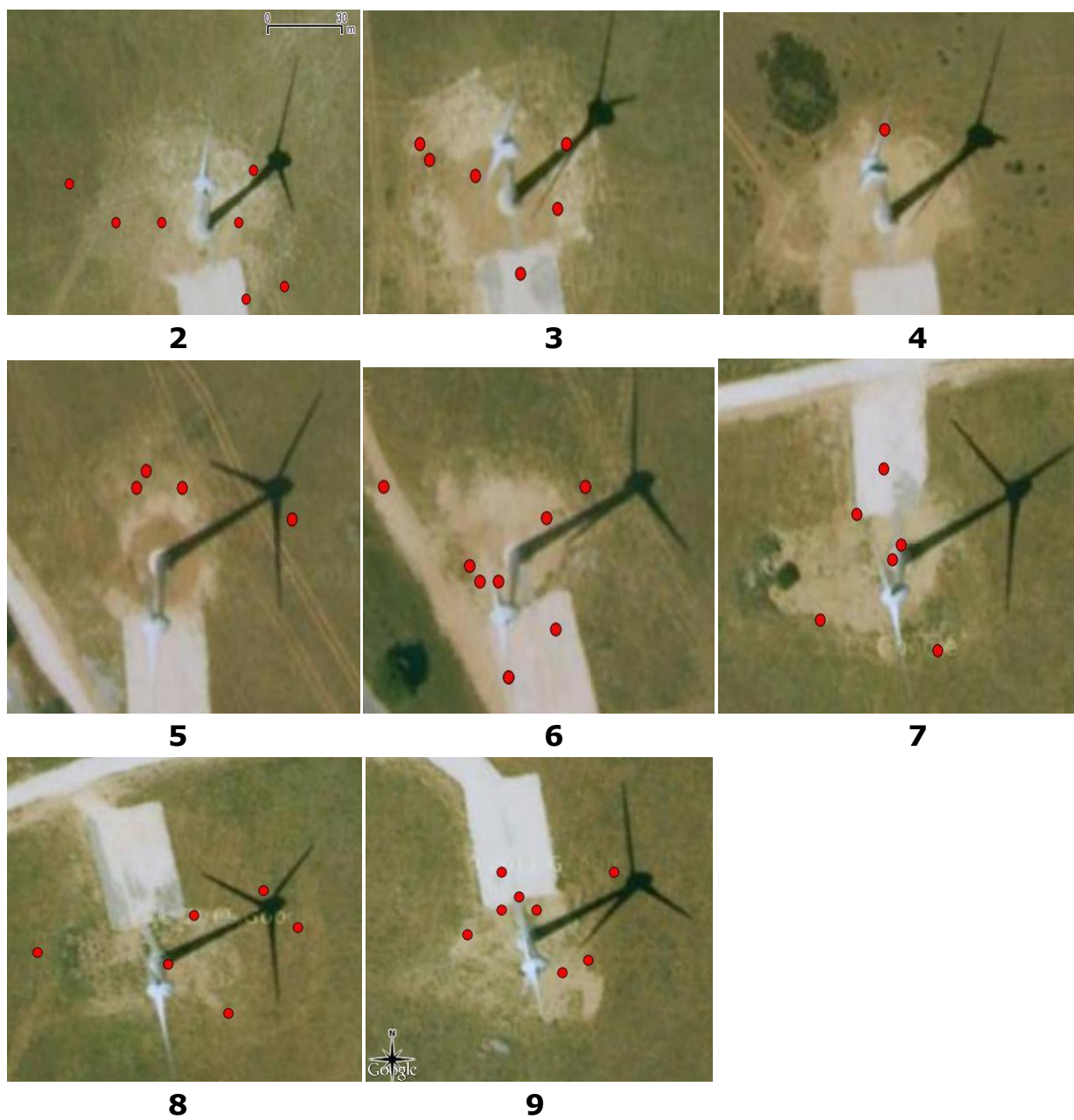


Fig. 13 : Répartition spatiale des cadavres de chauves-souris découverts sur le parc éolien du Mas de Leuze entre le 12 juillet et le 1er octobre 2011 selon le numéro de l'éolienne

Aucune différence significative entre les éoliennes n'est apparue ($P = 0,24$).

1.2.3. En fonction de la direction du vent

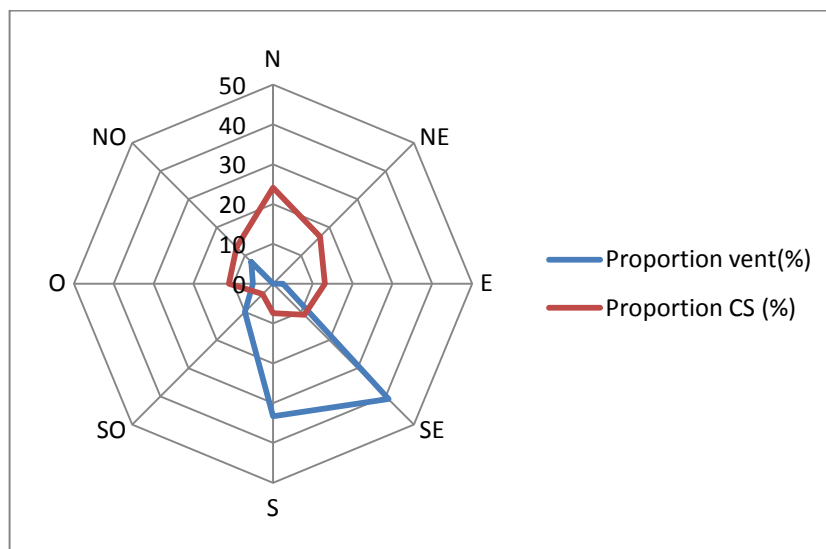
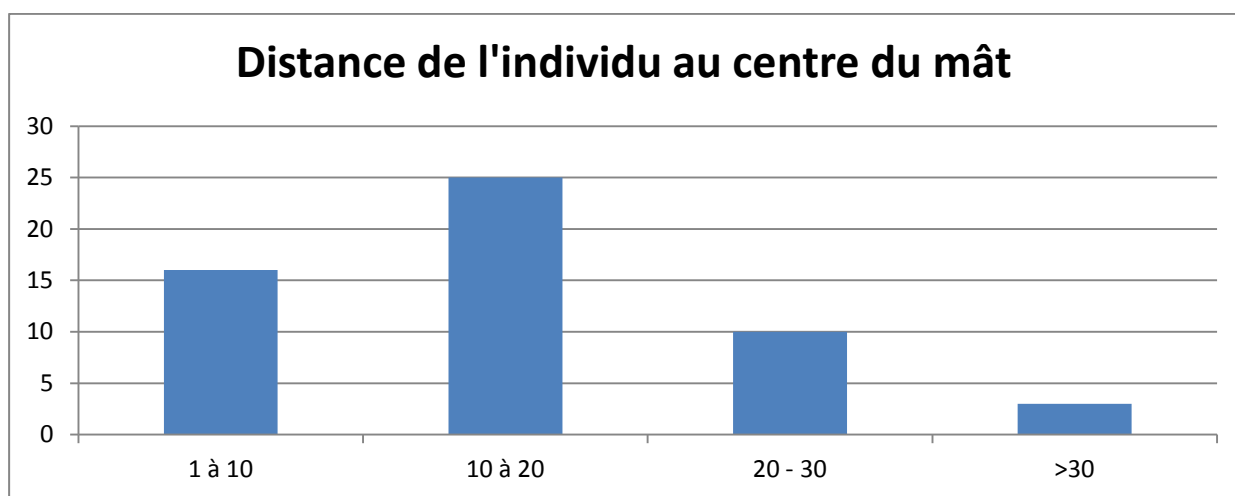


Fig. 14 : Proportion (en pourcentage) du nombre total d'individus trouvés (n=54) selon l'orientation du lieu de leur découverte par rapport au mât (pour l'ensemble de la période de suivi et la totalité des éoliennes) et la direction du vent

Plus de la moitié des individus (n = 54) ont été découverts dans la zone des aires d'étude orientée du nord à l'est par rapport aux éoliennes (Fig. 14).



Distance au mât (m)	Nb de CS	%
1 à 10	16	29,62962963
10 à 20	25	46,2962963
20 - 30	10	18,51851852
>30	3	5,55555556
Total	54	100

Fig. 15 : Proportion(en pourcentage) du nombre total d'individus trouvés selon cinq classes de distance au centre du mât de l'éolienne la plus proche (pour l'ensemble de la période de suivi et la totalité des éoliennes)

Les 54 individus découverts se trouvaient à une distance comprise entre 2,0 et 39,8 mètres du centre du mât de l'éolienne la plus proche dont plus de la moitié entre 1 et 20 mètres (n = 41) (Fig.

15).

2. Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction

2.1. Taux de détection de l'estimateur (estimation de p)

	12/07 (LA)			02/08 (PC)			29/08 (LA)			16/09 (LA)		
	Dp	Tr	TD	Dp	Tr	TD	Dp	Tr	TD	Dp	Tr	TD
E2	5	5	1	6	2	0.33	7	7	1	7	7	1
E3	6	5	0.83	7	5	0.71	6	4	0.67	8	6	0.75
E4	8	6	0.75	8	5	0.63	4	3	0.75	4	4	1
E5	7	7	1	6	3	0.50	5	2	0.40	6	5	0.83
E6	6	5	0.83	8	4	0.40	6	6	1	6	6	1
E7	6	4	0.67	5	2	0.75	8	6	0.75	5	3	0.60
E8	4	1	0.25	4	3	0.75	8	6	0.75	8	5	0.63
E9	8	6	0.75	6	1	0.17	6	4	0.67	6	4	0.67
TOTAL	50	39	0.78	50	25	0.50	50	38	0.76	50	40	0.80

Fig. 16 : Nombre de leurres déposés (Dp), nombre de leurres trouvés (Tr) et taux de détection de l'observateur (TD) selon la date de réalisation du test et le numéro de l'éolienne (E2 à E9).

LA : Laurent Allouche

PC : Philippe Catillo

Si l'on considère uniquement les 33 individus pour lesquels il est possible d'estimer de manière relativement précise la date de la mort et en prenant en compte à la fois, pour chacune de ces 33 chauves-souris, cette date présumée et leur durée de persistance, on obtient un temps moyen de séjour de 4,9 jours (durée maximale estimée : 19,50 jours).

La valeur évaluée sur 3 jours (sachant qu'une chauve-souris tuée au cours de la nuit N, découverte au jour J et non retrouvée à J+3, peut avoir disparu à J+1 ou J+2) est de 2,74 jours (tableau 5). Le taux de disparition des chauves-souris est de 60% entre le 1^{er} et le 3^{eme} jour et s'élève à 87% au bout du 6^{ème} jour.

	Périodicité des contrôles (en jours) I	Nombre de chauves-souris trouvées C	Temps de séjour moyen des cadavres (en jours) tm	Taux d'efficacité de l'observateur p	Nombre effectif de victimes estimés
Recherche Biotope	3	10	2,74	0,5	21,89781
Recherche AVES env.	3	44	2,74	0,78	61,76305
TOTAL		54			83,661

Tableau 5 : Estimation du nombre effectif de victimes

(1) tm est calculé à partir des résultats issus du suivi des cadavres (paragraphe 2) ; il est considéré constant tout au long de la période.

(2) Le taux d'efficacité d'Hubert Lagrange a été estimé égal à celui de Philippe Catillo.

(a et b) Le calcul intègre les 5 individus considérés comme ayant été tués au cours de la nuit du 11 au 12 juillet et au cours des 2 nuits précédentes.

Il n'a pas été appliqué de facteur correctif de surface car, d'une part, les secteurs non prospectés (au niveau de d'E5) ont une taille très modeste par rapport à celle de l'aire théorique de recherche.

D'autre part, si les 54 individus découverts se trouvaient à une distance comprise entre 1 et 37 mètres de l'éolienne la plus proche (moyenne = $15,4 \pm 8,5$ m), la majorité était à une distance inférieure à 20 mètres (tableau) ; en considérant l'ensemble des 8 éoliennes, seulement 2 cadavres se trouvaient à plus de 34 m, qui est la distance minimale entre les zones non prospectées et l'éolienne 5, et aucun d'entre eux n'a été découvert au niveau de cette éolienne.

2.2. Résultats génétiques

En cours d'analyse

3. Perte de production calculées sur les éoliennes régulées et les non-régulées

	Production perdue pendant l'arrêt des machines (KWh)	Perte de budget (€)
Juillet	11221	920
Aout	10769	883
TOTAL	21990	1803

Tableau 6 : Perte de production

Le parc éolien a perdu 1800€ pendant la période d'arrêts des machines (Tableau 6), soit 0,15% du budget annuel.

4. Mortalité des oiseaux

13 cadavres d'oiseaux ont été trouvés sous les éoliennes du Mas de Leuze entre le 12 juillet et le 19 septembre 2011 dont une majorité en juillet.

Parmi les 3 espèces concernées, le Martinet noir constitue 77 % du nombre total de cadavres (Tableau 7).

	Juillet	Aout	Septembre	Total général	Pourcentage
Martinet noir	6	4		10	0,76923077
Milan noir	2			2	0,15384615
Roitelet triple-bandeau			1	1	0,07692308
Total général	8	4	1	13	1
Pourcentage	0,6154	0,31	0,07692308	1	

Tableau 7 : Nombre d'oiseaux trouvés morts sous les éoliennes du Mas de Leuze entre le 12 juillet et le 19 septembre selon l'espèce et le mois.

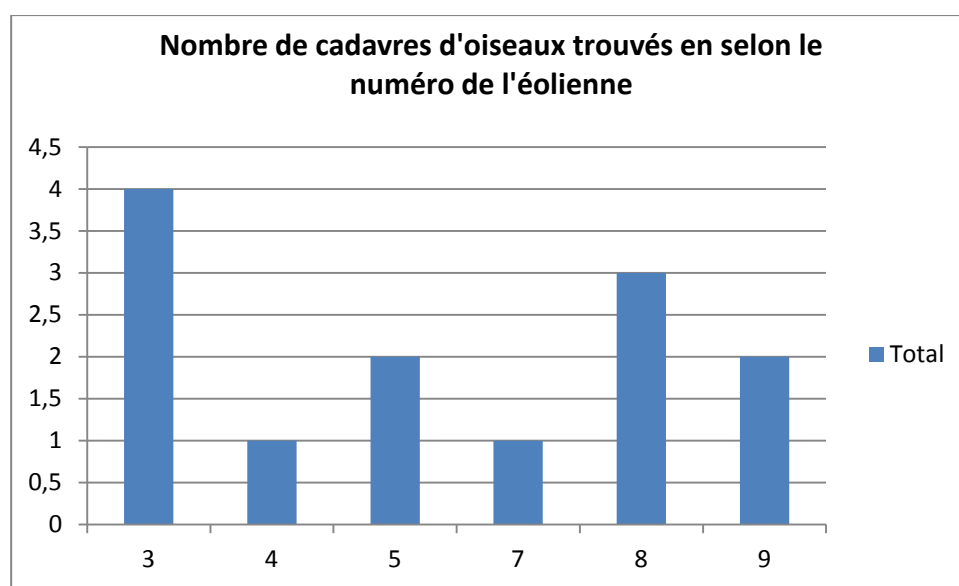


Fig. 17 : Nombre de cadavres d'oiseaux découverts selon le numéro de l'éolienne

IV. Discussion

1. Répartition saisonnière du nombre de victimes découvertes

Nos résultats sont en adéquation avec les données de la littérature où il est généralement noté une majorité de victimes entre la fin de l'été et le début de l'automne constituant un pic de mortalité plus ou moins prononcé (par exemple, Arnett et al. 2008).

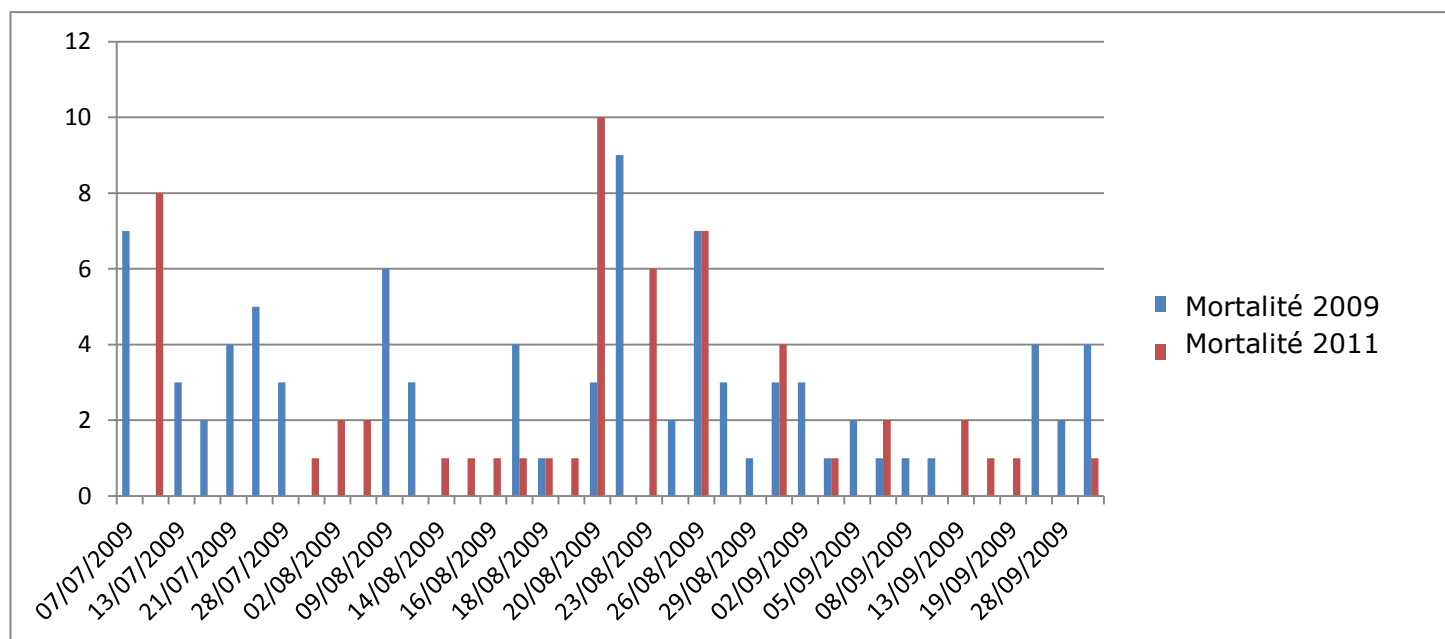


Fig. 18 : Comparaison des répartitions de la mortalité en 2009 et 2011

Nous pouvons remarquer que sur les deux années de suivi, deux pics de mortalité se détachent (Fig. 18) :

-Un durant la deuxième semaine de juillet (le 7/07/2009 et le 12/07/2011, avec, pour chacune de ces dates 7 chauves-souris mortes)

-Un deuxième pic aux alentours du 20 août (le 21/08/2009 et le 20/08/2011, avec respectivement, 9 et 10 chauves-souris mortes).

Au Mas de Leuze, la mortalité pourrait donc concerner en premier lieu des chauves-souris en transit automnal (migration et déplacements locaux en août-septembre) et secondairement des individus appartenant à des colonies de mise bas implantées localement, c'est-à-dire des adultes en juin (essentiellement des femelles) auxquels s'ajoutent des jeunes dans le courant du mois de juillet, au moment de la phase de dispersion des colonies.

2. Résultats selon l'éolienne

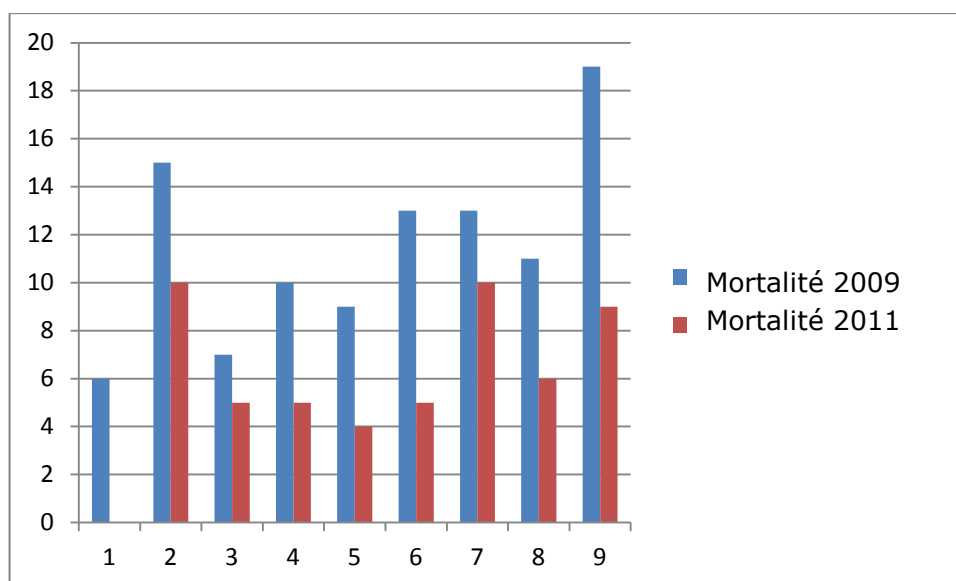


Figure 17 : Comparaison de la répartition spatiale de la mortalité en 2009 et 2011

Il est difficile de tirer une conclusion des différences observées dans le nombre de victimes découvertes selon l'éolienne (Fig. 17). En comparant le nombre de chauves-souris mortes sous chaque éolienne, nous pouvons juste constater qu'en 2011, la mortalité a beaucoup chuté par rapport aux résultats de 2009 et cela est certainement dû à l'installation de Chirotech®(Tableau 8).

N° éolienne	2009	2011	Différence 2009/2011
1	6	-	-
2	15	10	-5
3	7	5	-2
4	10	2	-8
5	9	4	-5
6	13	10	-3
7	13	6	-7
8	11	8	-3
9	19	9	-10

Tableau 8 : Différence du nombre de cadavres trouvés au pied de chaque éolienne en 2009 et en 2011

Outre l'existence possible d'une variation de l'importance de la fréquentation des chauves-souris entre les machines, ces différences pourraient également avoir pour origine un écart, entre les divers secteurs du parc, du taux de disparition des cadavres et/ou de l'importance de la difficulté des contrôles.

Pour essayer d'individualiser le rôle joué par ces différents facteurs dans la valeur des résultats obtenus, il conviendrait d'abord de multiplier les tests, de les réaliser au niveau de toutes les aires de recherche et d'employer un nombre de cadavres ou de leurres suffisamment grand.

On peut remarquer que la majorité des cadavres a été trouvée entre 0 et 20m (71% en 2009 et 76% en 2011). Aucun individu n'a été trouvé à plus de 40 m sur les deux années de suivi (max = 39,8m en 2009) (Fig. 18).

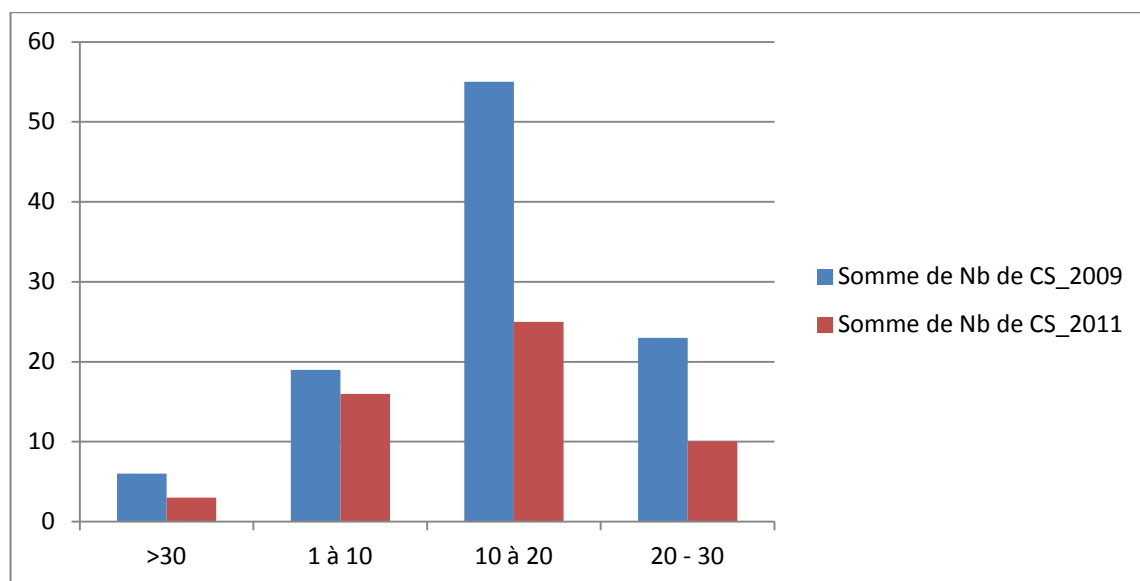


Fig. 18 : Distance entre les cadavres et le centre du mât de l'éolienne

3. Caractéristiques des espèces victimes et des causes de la mort

3.1. Le type de vol

La quasi-totalité des individus victimes des éoliennes du Mas de Leuze appartient à des espèces pouvant pratiquer le haut vol en milieu ouvert ; seul le Murin à oreilles échancrées n'est pas connu pour pratiquer des vols en altitude. La découverte de cet individu pourrait signifier que nos connaissances sur le comportement des Chiroptères seraient partielles ou bien que l'animal, attiré, par la machine serait monté le long du mât et aurait été tué à cette occasion. La faible distance au mât lors de sa découverte au sol plaide pour cette dernière hypothèse (8,4 m). Par ailleurs, le secteur est connu, depuis 2008, pour être une zone de fréquentation et de chasse des femelles d'une colonie située à 9,8 km.

3.2. Migrateurs ou résidents

Certaines espèces de chauves-souris migrent aussi sur plusieurs centaines de kilomètres, au-delà des frontières régionales et nationales. Là où la migration des chauves-souris franchit des frontières, toute évaluation stratégique environnementale des projets éoliens, avec possibilités d'impacts transfrontaliers, doit rechercher la coopération internationale d'autres gouvernements.

Dans les études similaires réalisés sur d'autres parc éoliens européens et nord-américains, il est généralement observé que la mortalité engendrée par les éoliennes touchent essentiellement les espèces de chauves-souris migratrices (par exemple Dulac 2008, voir également la synthèse d'Arnett et al. 2008).

S'il est probable que la mortalité des Chiroptères sur le Mas de Leuze puisse d'abord concerner des individus migrateurs (ou tout au moins en déplacements plus ou moins grands), il est également vraisemblable, si l'on considère la répartition saisonnière de la mortalité, que la proportion de chauves-souris résidentes touchées pourrait aussi être conséquente.

3.3. Causes de le mort

Dans une étude récente, Baerwald et al. (2008) ont trouvé que 90 % des chauves-souris découvertes mortes sous les éoliennes d'un parc canadien montraient des signes d'hémorragie interne résultant d'un barotraumatisme ; seulement la moitié des victimes présentait des signes d'impact direct avec les pales. Le barotraumatisme, qui résulte d'une réduction très rapide de la pression de l'air au voisinage des pales en mouvement, permet d'expliquer les raisons pour lesquelles le taux de mortalité des chauves-souris engendré par les éoliennes peut être très élevé.

Au Mas de Leuze, il est vraisemblable que le barotraumatisme soit à l'origine d'une forte proportion des victimes puisque près d'un quart des individus trouvés morts présentaient une morphologie inaltérée et que seul un faible nombre de victimes montrait des fractures ou des luxations (ces blessures constatées ont pu également se produire à l'issue de la chute, au moment du choc des animaux contre le sol). Le seul moyen fiable de démontrer un barotraumatisme aurait été de réaliser une autopsie directement après la mort des animaux entiers avant congélation, ce qui n'a pas été fait au cours de cette étude.

4. Estimation du nombre effectif de victimes

4.1. Facteurs de correction

4.2.1. Observateur

La valeur du taux de détection de l'observateur, comprise entre 0,60 et 0,80 selon la saison, est assez comparable à celles obtenue lors d'étude similaire à partir de tests réalisés au moyen de leurres en tissus ou en fausse fourrure (Brinkmann et al. 2006, Leuzinger et al. 2008).

Deux études effectuées à partir de cadavres de chauves-souris donnent des résultats de plus faible importance, i.e., de 0,25 à 0,44 (Fiedler et al. 2007, Arnett 2005), mais elles concernent des éoliennes situées en milieu forestier où la recherche est plus difficile.

A la suite de Brinkmann et al. (2006), on peut admettre que le taux d'efficacité a pu être surestimé car l'observateur chargé de la réalisation du test savait que des leurres avaient été préalablement déposés.

Dans les conditions idéales, il serait souhaitable de réaliser les tests d'efficacité au niveau des 9 éoliennes (et pas seulement au niveau de 4 éoliennes comme cela a été fait dans cette étude), au moyen de véritables cadavres de chauves-souris, en nombre suffisamment important (minimum de 10 cadavres par éolienne), et de les effectuer de manière plus fréquente au cours de la période de suivi ; cette manière de procéder permettrait, notamment, de mieux tenir compte des particularités physiologiques de chacune des aires de recherche, de l'hétérogénéité de la structure et de l'importance de la couverture végétale ainsi que de la dynamique de la végétation.

4.2.2. Nécrophages

L'intervention des insectes dans le processus de décomposition influe notablement sur la vitesse de dégradation d'un cadavre. En 1965, Payne réalisa une comparaison de la vitesse de dégradation de cadavres de porcs en présence ou en l'absence d'insectes. En absence d'insectes, il fallut 50 jours pour dégrader 70% de la masse initiale du corps, contre seulement 4 jours lorsque le cadavre était colonisé par les insectes. Payne expliqua cette différence par une dissémination importante des bactéries, une fragmentation mécanique et chimique (enzymes digestives) forte et une augmentation locale de température en présence de larves.

Les insectes nécrophages ont un système olfactif particulièrement développé qui leur permet de détecter la présence d'un corps à plusieurs kilomètres de distance (Braack 1987). Deux catégories de diptères nécrophages sont attirées par les cadavres : les individus en quête de nourriture et les femelles à la recherche d'un lieu de ponte. Ces dernières y sont largement majoritaires (Archer 2003). Le déclenchement de la ponte dépend de plusieurs facteurs. La température de l'environnement et du substrat semble également être des paramètres déterminants pour le déclenchement de la ponte. Le seuil de température permettant l'oviposition apparaît ainsi comme étant nettement supérieur (jusqu'à 7°C d'écart) à celui permettant le déclenchement du vol (Hedouin *et al.* 1996). De plus, la présence d'autres oeufs, de larves ou d'individus adultes accroît la probabilité de ponte en agissant comme un signal attractif pour les femelles gravides (Fenton *et al.* 1999b).

Mann (1990) proposa une synthèse des différents facteurs affectant la vitesse de décomposition d'un corps. Le tableau 9 ci-dessous reprend ces différentes variables ainsi que les commentaires de l'auteur. Ces conclusions montrent clairement le rôle fondamental joué par les insectes.

Paramètre	Impact	Commentaire de l'auteur
Température	5	Effet indirect sur l'activité des insectes
Accès des insectes	5	La majeure partie de la destruction des tissus mous est due aux insectes
Enfouissement	5	L'enfouissement ralentit la décomposition et facilite la squelettisation
Charognards	4	L'action des chiens et des rongeurs peut briser et disperser les os
Présence de plaies	4	La présence de plaies attire les insectes
Humidité	4	Une humidité élevée est corrélée à une forte activité des insectes
Précipitations	3	Peu d'effet sur les larves mais fort impact sur les mouches adultes (pontes)
Poids et taille du corps	3	De manière surprenante, effet assez faible
Contact au sol	1	Dégradation plus rapide des corps en contact avec le sol, peut-être en rapport avec l'activité des insectes

Tableau 9 : Classification (sur une échelle allant de 1 à 5, 5 étant l'effet maximum) des facteurs affectant la vitesse de décomposition d'un cadavre (d'après Mann et al. 1990).

Pour la période considérée, le nombre estimé de chauves-souris tuées par éolienne est 4,5 fois moins élevée en 2011 qu'en 2009 (10 contre 45) quand le nombre de cadavres trouvés par machine n'est que 1,4 fois plus faible (6,4 contre 8,8). Il est très probable que l'écart observé entre les taux de mortalité s'explique en grande partie par la différence entre le temps de persistance moyen (au dénominateur de la formule d'Erickson) retenu en 2011 et en 2009 (2,65 contre 0,39 à 1,72 pour la période considérée, soit une valeur 6,8 à 1,5 fois plus grande). En 2011, la valeur retenue pour t_m est très vraisemblablement surévaluée et il manque, par ailleurs, des critères de référence qui permettraient d'apprécier l'importance de cette surestimation².

Commentaires :

- Les valeurs obtenues sont certainement surévaluées par rapport aux valeurs effectives puisque le suivi ne porte que sur les cadavres découverts (i.e., non consommés par la faune nécrophage au moment de la recherche) et non pas sur la totalité des victimes dont une proportion, qui est impossible à évaluer, a disparu avant les investigations.
 - Le temps de séjour moyen des 17 cadavres de chauves-souris suivis en 2009 entre le 20 août et le 29 septembre est beaucoup plus faible (0,94 jour sur 3 jours). Il se peut qu'en prélevant la tête des individus, on ait introduit un biais dont la conséquence a été un allongement de la durée de persistance des cadavres. En effet, le fait de sectionner la tête provoque une « plaie » qui semble attirer très rapidement des insectes (guêpes et fourmis, principalement) (cas des chauves-souris E8010911 et E9040911, par exemple). On a remarqué, au cours de ce suivi mais également au cours de celui de 2009, que les cadavres investis par ces insectes avaient tendance à persister longtemps, leur état se détériorant peu à peu (d'abord entiers avec plus ou moins de chair selon l'ancienneté du cadavre puis apparition du squelette et persistance du patagium, disparition de la majeure partie du squelette puis du patagium, pour enfin aboutir aux seuls os des avant-bras qui peuvent rester intacts pendant plusieurs semaines). Il est possible que ces cadavres, en devenant peut-être moins attractifs (chair en partie absente) et/ou impropres à la consommation (présence de substances toxiques introduites par les Hyménoptères tel que l'acide formique ?) puissent être délaissés par la faune vertébrée et persister donc plus longtemps.
 - La réalisation de tests « vitesse de disparition » à partir de cadavres de caille, comme cela avait été fait en 2009, aurait peut-être permis d'apporter des éléments de comparaison autorisant une meilleure appréciation, en 2011, de la durée moyenne de persistance des cadavres de chauves-souris.
- Il faut aussi tenir compte de la température lors de la décomposition du cadavre.

4.2. Victimes hors de la zone de prospection

Il serait intéressant de savoir si certains chiroptères blessés par les éoliennes, auraient le temps de se déplacer hors de la zone de prospection pour aller mourir. Ce biais est très difficilement estimable, car il est impossible de suivre les chiroptères en temps réel suite à une collision.

Cependant, grâce au logiciel DECAN, nous pourrions connaître le comportement et la trajectoire des chauves-souris aux abords d'une éolienne. Il serait alors intéressant de détecter une collision et à la suite une trajectoire indiquant que la chauve-souris s'éloigne en volant convenablement.

5. Comparaison de la mortalité interannuelle et intersites

Le nombre d'individus découverts sous les éoliennes du Mas de Leuze est particulièrement élevé. La comparaison avec des études similaires effectuées sur d'autres parcs éoliens est délicate à réaliser car les chiffres obtenus dépendent de plusieurs facteurs comme le nombre d'éoliennes échantillonnées, la durée de la période de suivi ou bien encore la périodicité des contrôles. Cela étant dit, il est possible d'examiner les résultats obtenus dans le cadre d'études analogues, significatives notamment en termes d'importance des valeurs obtenues (Tableau 10).

Site	Période d'étude	Périodicité des contrôles	Nombre d'éoliennes échantillonnées	Nombre d'individus trouvés	Références
Mas de Leuze	12/07 au 1/10/11 Régulation	3 jours	9	54	Cette étude
Mas de Leuze	17/03 au 27/11/09	3 ou 7 jours	9	103	Biotope 2009
Bouin (France)	2010 régulation		8	16	Biotope 2011
Bouin (France)	2009 régulation		8	27	Biotope 2011
Bouin (France)	2004	7 jours	8	25	Dulac, 2008
Bouin (France)	2005	7 jours	8	21	Dulac, 2008
Bouin (France)	2006	7 ou 7 jours	8	16	Dulac, 2009
District de Fribourg (Allemagne)	Fin juillet à fin octobre 2004	5 jours	16	40	Brinkmann et al. 2006
District de Fribourg (Allemagne)	Début avril-mi-mai et mi-juillet-mi-octobre 2005	5 jours	8	10	Brinkmann et al. 2006
Buffalo Mountain Windfarm (Etats-Unis)	31 avril au 31 décembre 2005	7 jours, sauf en décembre (15 j) et du 23 août au 13 septembre (2-5j)	18	243	Fieldre et al. 2007

Tableau 10 : Période d'étude, périodicité des contrôles, nombre d'éoliennes échantillonnées et nombre de chauves-souris trouvées pour cette étude et pour quelques études similaires réalisées en Europe et aux Etats-Unis.

Le chiffre de 54 individus découverts au Mas de Leuze en 2011 est nettement inférieur à ceux obtenus en 2009 sur le même site (nombre comparable d'éoliennes mais fréquence des contrôles plus grande). On peut certainement attribuer l'effet sur la mortalité à la régulation des éoliennes.

Sur les deux années de suivi, deux pics de mortalité se détachent :

- Un durant la deuxième semaine de juillet (le 7/07/2009 et le 12/07/2011, avec, pour chacune de ces dates 7 chauves-souris mortes)
- Un deuxième pic aux alentours du 20 août (le 21/08/2009 et le 20/08/2011, avec respectivement, 9 et 10 chauves-souris mortes).

La majorité des cadavres a été trouvée entre 0 et 20m (71% en 2009 et 76% en 2011). Aucun individu n'a été trouvé à plus de 40 m sur les deux années de suivi (max = 39,8m en 2009), ce qui prouve que le cercle de prospection inclut en théorie tous les cadavres au sol.

Il est aussi intéressant de mettre le résultat de cette année en relation avec ceux du site de Bouin en 2009 et 2010. En effet, ces années là, les éoliennes sur ce site ont été régulées. En 2010, 16 cadavres de chauves-souris ont été trouvés et 27 en 2009. Les tests effectués ont démontré une différence significative du taux de mortalité entre les éoliennes régulées et celles non-régulées, cependant, les effectifs restent faibles.

Les taux de mortalité les plus grands ont été généralement enregistrés pour des éoliennes situées en forêt (i.e., les parcs de Meyersdale, Mountaineer et Buffalo Mountain Windfarm aux Etats-Unis). Cependant, des chiffres relativement importants ont été également obtenus à Bouin où les éoliennes sont implantées en milieu ouvert. De toute manière, les relations entre l'importance de la mortalité mesurée et les caractéristiques paysagères ou topographiques sont généralement peu claires (Arnett et al. 2008).

Cela étant, la forte mortalité observée dans cette étude est à mettre en relation avec l'abondance des chauves-souris sur le Mas de Leuze (Dorgère et Cosson 2005) qui, malgré l'absence de boisements importants, est un des sites de Provence les plus fréquentés par les Chiroptères.

Entre le 15 août et le 2 octobre 2008, nous avons trouvé 9 individus sous les 3 éoliennes échantillonnées, i.e., les éoliennes 3, 6 et 8.

6. Régimes de protection et statut de conservation des espèces.

Les chauves-souris sont des espèces protégées par la Directive européenne Habitats et par la Convention de Bern. Toutes les espèces de Chiroptères bénéficient d'une protection nationale stricte aussi bien pour les individus que pour leurs sites de reproduction (i.e., les gîtes de reproduction et tout espace réputé nécessaire à la reproduction) et de repos (arrêté du 23 avril 2007). Les espèces découvertes lors de nos prospections sont toutes concernées, à des degrés divers, par les textes européens relatifs à la protection de la faune (tableau 10).

6.1. Régimes de protection

Espèce	Convention de Berne ⁽¹⁾ (annexe)	Convention de Bonn ⁽²⁾ (annexe)	Directive Habitats–Faune–Flore ⁽³⁾ (annexe)
Murin à oreilles échancrées	II	II	II+IV
Noctule de Leisler	II	II	IV
Sérotine commune	II	II	IV
Pipistrelle commune	III	II	IV
Pipistrelle pygmée	/	/	IV
Pipistrelle de Nathusius	II	II	IV
Pipistrelle de Kuhl	II	II	IV
Molosse de Cestoni	II	II	IV

Tableau 11 : Statut de protection, à l'échelon européen, des espèces de chauves-souris trouvées mortes, sous et aux abords des 9 éoliennes du Mas de Leuze (17/03/09 – 27/11/09)

Convention du 19 septembre 1979 relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe

Annexe II : espèces de faune strictement protégées

Annexe III : espèces de faune protégées dont l'exploitation est réglementée

Convention du 23 juin 1979 relative à la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage

Annexe II : espèces migratrices se trouvant dans un état de conservation défavorable et nécessitant l'adoption de mesures de conservation et de gestion appropriées

(3) Directive 93/43/CEE du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages

Annexe II : espèces animales d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation

Annexe IV : Espèces animales d'intérêt communautaire nécessitant une protection stricte

6.2. Degré de menace

Parmi les chauves-souris victimes des éoliennes du parc du Mas de Leuze en 2009, deux espèces sont considérées comme quasi-menacées selon les listes rouges en vigueur : la Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Nathusius (Tableau 12).

Espèce	Liste Rouge mondiale UICN 2004	Liste Rouge européenne UICN 2007 (Europe / EU25)	Liste Rouge méditerranéenne UICN 2009	Liste Rouge Nationale France UICN 2009	Synthèse UICN
Murin à oreilles échancrées	LC	LC	LC	LC	LC
Noctule de Leisler	LC	LC	LC	NT	NT
Sérotine commune	LC	LC	LC	LC	LC
Pipistrelle commune	LC	LC	LC	LC	LC
Pipistrelle pygmée	LC	LC	LC	LC	LC
Pipistrelle de Nathusius	LC	LC	LC	NT	NT
Pipistrelle de Kuhl	LC	LC	LC	LC	LC
Molosse de Cestoni	LC	LC	LC	LC	LC

Tableau 12 : Degré de menace pesant sur les espèces de chauves-souris trouvées mortes sous et aux abords des 9 éoliennes du Mas de Leuze (17/03/09 – 27/11/09)

NT : quasi menacée, LC : préoccupation mineure

6.3. Enjeux locaux de conservation et niveaux de rareté

Parmi les espèces victimes des éoliennes du Mas de Leuze, les enjeux de conservation sont forts (le Murin à oreilles échancrées) à très faibles (les Pipistrelles commune et de Kuhl) à l'échelle de la région Paca. Quatre des huit espèces découvertes constituent un enjeu régional notable (i.e., de fort à modéré) notamment les pipistrelles pygmée et de Nathusius dont les individus trouvés forment plus de la moitié des victimes. Par ailleurs, le Murin à oreilles échancrées est noté comme rare dans le département des Bouches-du-Rhône (Tableau 13).

Espèce	Enjeu régional
Murin à oreilles échanrées	F
Noctule de Leisler	M
Pipistrelle de Nathusius	M
Pipistrelle pygmée	M
Sérotine commune	f
Molosse de Cestoni	f
Pipistrelle commune	tf
Pipistrelle de Kuhl	tf

13	83	06	84	04	05

TF = Très fort
F = Fort
M = Modéré
f = faible
Tf = Très faible
Disp=disparu

TR	très rare, exceptionnelle (-5données)
Rare	Rare, assez rare
Peu com	peu commune ou localement commune
Com	assez commune, très commune
Disp	Disparue, non retrouvée
?	mal connue
o	

Tableau 13 : Enjeu pour la région PACA et niveau de rareté pour les 6 départements de la région des espèces de chauves-souris trouvées mortes sous et aux abords des 9 éoliennes du Mas de Leuze (17/03/09 – 27/11/09). Tableau issu du livre d'Arthur et Lemaire 2009, actualisé en décembre 2009 par le GCP (E. Cosson, T. Stoecklé, G. Kapfer) avec les dernières données BDD GCP 2009

Sur le plan de la conservation des espèces, la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes du Mas de Leuze est préoccupante car :

- elle affecte un ordre de mammifères dont les espèces sont connues à la fois pour leurs niveaux élevés de fragilité et de vulnérabilité,
- sa valeur estimée est très importante,
- elle pourrait altérer, à plus ou moins long terme, la reproduction des populations locales puisqu'elle semble toucher, de manière conséquente, les femelles adultes des espèces localement les plus fréquentes,
- elle atteint des espèces déjà menacées au niveau national,
- elle concerne des espèces aux enjeux régionaux de conservation notable notamment le Murin à oreille échanrée listé, en outre, à l'annexe II de la Directive Habitats.

7. Perte de production d'énergie

Pour l'instant, aucune comparaison de perte de production ne peut être faite avec d'autres parcs régulés pour protéger les chiroptères en Europe. En Pennsylvanie, le seuil de vitesse de vent nécessaire au démarrage des éoliennes a été élevé de $3,5 \text{ m.s}^{-1}$ à $5,5 \text{ m.s}^{-1}$ (Arnett & Schirmacher, 2009; Baerwald et al. 2009). Ainsi, la mortalité a été réduite de 56 à 92 % pour des pertes de productions annuelles de l'ordre de 0,3 à 1%.

Une entreprise de machines de précision de la préfecture d'Akita a développé une éolienne sans pale, qui serait deux fois plus efficace que les modèles conventionnels. A la place des pales, des ailettes hélicoïdales fixées à cinq cylindres en rotation font fonctionner l'éolienne, utilisant l'effet Magnus. Ce système, développé par Mekaro Akita Co., produirait annuellement 16.000 kwh avec une vitesse de vent moyenne de 6 mètres par seconde.

Les essais ont commencé et un prototype d'une version commerciale devrait être mis au point avant la fin de l'année. En attente d'être brevetée, l'éolienne sera vraisemblablement commercialisée d'ici 2 ans pour environ 10 millions de yen (80.000 euros).

ANNEXES



Christian Kerbiriou
Maître de Conférences
Université Pierre et Marie Curie
Chercheur au CERSP- MNHN-CNRS-UPMC

Paris, 2 Février 2012,

A l'attention de
Mr Hubert Lagrange
Bureau d'Etude Biotope
22, bd Maréchal-Foch
34140 Mèze

Monsieur,

Suite à votre demande d'expertise statistique concernant les tests d'asservissement sur le parc du Mas de la Leuze (Saint-Martin-de-Crau, 13) en 2011, veuillez trouver ci-joint mon avis.

Contexte :

La question est d'évaluer dans quelle mesure il est possible de détecter un effet de la régulation d'éoliennes (dispositif Chirotech) sur la mortalité des chiroptères. La mortalité étant évaluée ici par le nombre de cadavres récoltés. Le protocole standardisé de récolte des cadavres de chiroptère tous les 3 jours sur la période du 12 Juillet au 1^{er} Octobre 2011 répond aux exigences de la question posée, à savoir limiter les biais observateurs liés à la récupération des cadavres, éviter les doubles comptages, réduire la non détection. Enfin pour permettre une parfaite détection de l'effet de la régulation par le procédé Chirotech, les 8 éoliennes suivies sont régulées successivement au cours de la période de test (simultanément 4 régulées et 4 non régulées). Ce dispositif expérimental permet à tout moment d'avoir un groupe témoin (éoliennes non régulées) et de limiter l'effet lié à des particularités de certaines éoliennes.

Le protocole est détaillé dans le rapport de Biotope de Novembre 2011 « Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13), Suivi de la mortalité des Chiroptères, 12 juillet – 1er octobre 2011, dans le cadre des tests de régulation du fonctionnement des éoliennes, AVES environnement pour BIOTOPE »).



Données :

Les données brutes ont été transmises par Mr Lagrange, soit 54 cadavres récoltés sur 8 éoliennes.

Résultats :

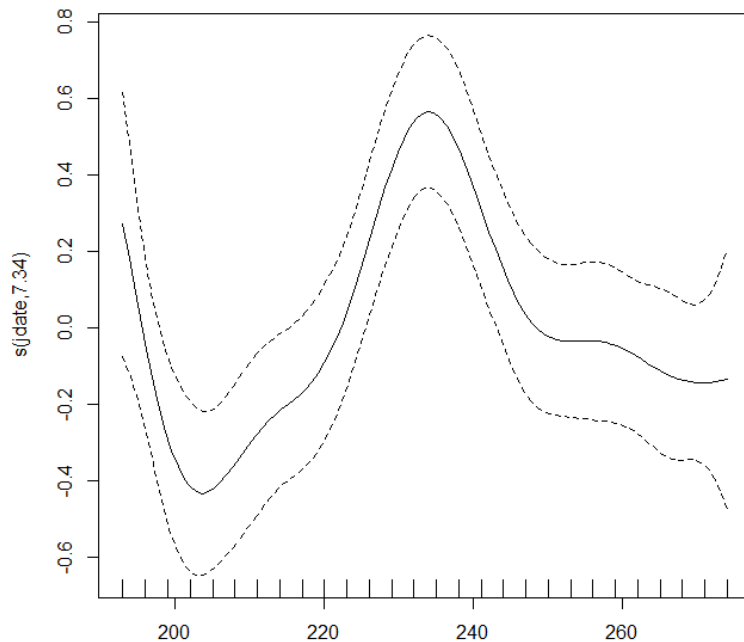
Le dispositif permet de mettre en évidence une réduction sensible et significative de la mortalité. La mortalité serait divisée par un facteur 6 à 9. Cette différence de mortalité entre éoliennes régulées et non régulées apparaît hautement significative ($P < 0.001$). Cette différence de mortalité est significative quelque soit l'approche statistique retenue : une modélisation de type modèle linéaire généralisée avec une loi de poisson une loi négative binomiale, ou un modèle général additif associé à une loi de poisson. On détecte bien un effet sur la mortalité qui peut être attribué à la régulation mise en œuvre.

Les résultats sont encourageants et sont à mettre en relation avec des résultats similaires obtenus sur un autre site régulé avec le même dispositif (site de Bouin en 2009 et 2010).

Christian Kerbiriou

GAM

```
> tabLeuze<-read.table("TabCkLeuzeSansE1.txt", h=TRUE)
> attach(tabLeuze)
> mod1<-gam(NB_Cadavre~s(jdate)+eolinenne+Regulation)
```



```
> summary(mod1)
```

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.47227 0.11730 4.026 7.94e-05 ***
eolinenneE3 -0.10714 0.15885 -0.674 0.501
eolinenneE4 -0.25000 0.15885 -1.574 0.117
eolinenneE5 -0.17857 0.15885 -1.124 0.262
eolinenneE6 0.03571 0.15885 0.225 0.822
eolinenneE7 -0.10714 0.15885 -0.674 0.501
eolinenneE8 -0.03571 0.15885 -0.225 0.822
eolinenneE9 -0.06034 0.15943 -0.378 0.705
Regulationoui -0.42236 0.09461 -4.464 1.32e-05 ***
Approximate significance of smooth terms:
      edf Ref.df      F      p-value
s(jdate) 7.336 8.328      5.688 1.04e-06 ***
R-sq.(adj) = 0.188  Deviance explained = 24.4%
GCV score = 0.38107  Scale est. = 0.35328  n = 224
```

```
> anova(mod1)
```

Formula: NB_Cadavre ~ s(jdate) + eolinenne + Regulation

Parametric Terms:

	df	F	p-value
eolinenne	7	0.699	0.673
Regulation	1	19.928	1.32e-05

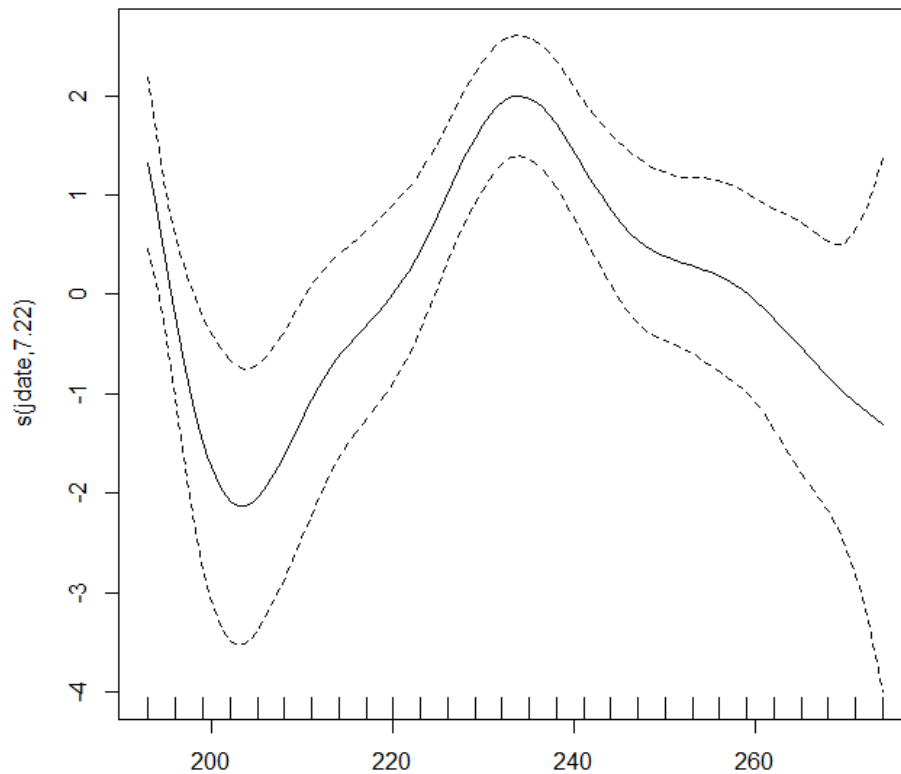
Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(jdate)	7.336	8.328	5.688	1.04e-06

Deviance explained 24,4% , regulation explique 75.9% de cette deviance

```
mod1b<-gam(NB_Cadavre~s(jdate)+eolinenne+Regulation, family=poisson)
```

```
> plot(mod1b)
```



> summary(mod1b)

Formula: NB_Cadavre ~ s(jdate) + eolinenne + Regulation

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.2559	0.3804	-3.301	0.000963 ***
eolinenneE3	-0.3900	0.5349	-0.729	0.465942
eolinenneE4	-1.5041	0.7817	-1.924	0.054352 .
eolinenneE5	-0.7954	0.6078	-1.309	0.190628
eolinenneE6	0.1054	0.4595	0.229	0.818628
eolinenneE7	-0.3900	0.5349	-0.729	0.465942
eolinenneE8	-0.1178	0.4859	-0.242	0.808474
eolinenneE9	-0.1439	0.4790	-0.300	0.763938
Regulationoui	-2.2168	0.5260	-4.215	2.5e-05 ***

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(jdate)	7.215	8.19	47.34	1.59e-07 ***

R-sq.(adj) = 0.383 Deviance explained = 44.8%

UBRE score = -0.32935 Scale est. = 1 n = 224

> anova(mod1b)

Formula: NB_Cadavre ~ s(jdate) + eolinenne + Regulation

Parametric Terms:

	df	Chi.sq	p-value
eolienne	7	6.492	0.484
Regulation	1	17.764	2.5e-05

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(jdate)	7.215	8.190	47.34	1.59e-07

$\text{Exp}(-1,2559) = 0,2848194$

$\text{Exp}(-1,2559+) = 0,03103313$

Soit $(0.284/0.03) = 9,1779145$

Soit divisé par 9 !!!!!!! (naive : 6.4)

Wood S.N. (2006b) Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC Press.

smoothing parameters were selected by GCV approach

GLM poisson error

```
> dp<-sum(residuals(mod2,type="pearson")^2)/mod2$df.res
```

```
> dp
```

```
[1] 1.349993
```

```
> summary(mod2, dispersion=dp)
```

```
Call: glm(formula = NB_Cadavre ~ jdate + I(jdate^2) + eolinenne * Regulation,
  family = poisson)
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-6.468e+01	2.147e+01	-3.012	0.00259 **
jdate	5.527e-01	1.862e-01	2.969	0.00299 **
I(jdate^2)	-1.183e-03	4.019e-04	-2.944	0.00324 **
eolinenneE3	-2.838e-01	6.158e-01	-0.461	0.64493
eolinenneE4	-1.504e+00	9.083e-01	-1.656	0.09773 .
eolinenneE5	-9.769e-01	7.773e-01	-1.257	0.20884
eolinenneE6	1.054e-01	5.339e-01	0.197	0.84355
eolinenneE7	-4.661e-01	6.513e-01	-0.716	0.47423
eolinenneE8	-2.513e-01	5.855e-01	-0.429	0.66778
eolinenneE9	-3.084e-01	5.651e-01	-0.546	0.58531
Regulationoui	-1.856e+01	3.241e+03	-0.006	0.99543
eolinenneE3:Regulationoui	6.986e-02	4.630e+03	0.000	0.99999
eolinenneE4:Regulationoui	1.504e+00	4.583e+03	0.000	0.99974
eolinenneE5:Regulationoui	1.767e+01	3.241e+03	0.005	0.99565
eolinenneE6:Regulationoui	-1.054e-01	4.583e+03	0.000	0.99998
eolinenneE7:Regulationoui	1.716e+01	3.241e+03	0.005	0.99578
eolinenneE8:Regulationoui	1.712e+01	3.241e+03	0.005	0.99579
eolinenneE9:Regulationoui	1.760e+01	3.241e+03	0.005	0.99567

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1.349993)

Null deviance: 213.29 on 223 degrees of freedom

Residual deviance: 161.24 on 206 degrees of freedom

AIC: 278.2

```
> mod3<-glm(NB_Cadavre~jdate+I(jdate^2)+eolinenne+Regulation,
family=poisson)
```

```
> dp<-sum(residuals(mod3,type="pearson")^2)/mod3$df.res
```

```
> dp
```

```
[1] 1.49666
```

```
> summary(mod3, dispersion=dp)
```

```
Call: glm(formula = NB_Cadavre ~ jdate + I(jdate^2) + eolinenne + Regulation,
  family = poisson)
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-6.560e+01	2.250e+01	-2.916	0.00355 **
jdate	5.604e-01	1.950e-01	2.874	0.00405 **
I(jdate^2)	-1.201e-03	4.207e-04	-2.854	0.00432 **
eolinenneE3	-3.050e-01	6.471e-01	-0.471	0.63740

```
eolinenneE4 -1.504e+00 9.564e-01 -1.573 0.11578
eolinenneE5 -7.105e-01 7.372e-01 -0.964 0.33517
eolinenneE6 1.054e-01 5.621e-01 0.187 0.85132
eolinenneE7 -3.050e-01 6.471e-01 -0.471 0.63740
eolinenneE8 -1.178e-01 5.945e-01 -0.198 0.84294
eolinenneE9 -1.551e-01 5.775e-01 -0.269 0.78825
Regulationoui -2.036e+00 6.472e-01 -3.146 0.00166 **
```

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1.49666)

Null deviance: 213.29 on 223 degrees of freedom
Residual deviance: 167.78 on 213 degrees of freedom
AIC: 270.73

> anova(mod3, test='F')

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)
NULL	223	213.28				
jdate	1	1.3155	222	211.97	1.3155	0.2513931
I(jdate^2)	1	11.0366	221	200.93	11.0366	0.0008933
eolinenne	7	9.0574	214	191.88	1.2939	0.2485590
Regulation	1	24.1002	213	167.78	24.1002	9.145e-07

> 45.5/213

21% de deviance expliquée, parmi variance expliquée 52.7 (24/45.5) provient de la regulation.

> dp<-sum(residuals(mod6,type="pearson")^2)/mod6\$df.res

> dp

[1] 0.6752234

> summary(mod6, dispersion=dp)

Call: glm(formula = NB_Cadavre ~ factor(jdate) + eolinenne + Regulation, family = "poisson")

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0.12590	0.41108	0.306	0.7594
factor(jdate)196	-1.94591	0.87846	-2.215	0.0267 *
factor(jdate)199	-20.12545	4417.87521	-0.005	0.9964
factor(jdate)202	-20.12545	4417.87521	-0.005	0.9964
factor(jdate)205	-20.12545	4417.87521	-0.005	0.9964
factor(jdate)208	-20.12545	4417.87521	-0.005	0.9964
factor(jdate)211	-1.94591	0.87846	-2.215	0.0267 *
factor(jdate)214	-1.25276	0.65884	-1.901	0.0572 .
factor(jdate)217	-19.54602	3920.71658	-0.005	0.9960
factor(jdate)220	-0.91210	0.66441	-1.373	0.1698
factor(jdate)223	-19.54602	3920.71658	-0.005	0.9960
factor(jdate)226	0.18651	0.46516	0.401	0.6884
factor(jdate)229	-19.30027	3990.03801	-0.005	0.9961
factor(jdate)232	0.97814	0.42622	2.295	0.0217 *
factor(jdate)235	0.39698	0.47338	0.839	0.4017
factor(jdate)238	0.55113	0.45608	1.208	0.2269
factor(jdate)241	-19.30027	3990.03801	-0.005	0.9961
factor(jdate)244	0.06185	0.53193	0.116	0.9074
factor(jdate)247	-1.32445	0.88846	-1.491	0.1360
factor(jdate)250	-0.70164	0.67020	-1.047	0.2951
factor(jdate)253	-19.32075	3891.79992	-0.005	0.9960
factor(jdate)256	-0.70164	0.67020	-1.047	0.2951

```

factor(jdate)259 -1.32445 0.88846 -1.491 0.1360
factor(jdate)262 -1.32445 0.88846 -1.491 0.1360
factor(jdate)265 -19.30027 3990.03801 -0.005 0.9961
factor(jdate)268 -19.30027 3990.03801 -0.005 0.9961
factor(jdate)271 -1.32445 0.88846 -1.491 0.1360
factor(jdate)274 -19.32075 3891.79992 -0.005 0.9960
eolinenneE3 -0.28275 0.48284 -0.586 0.5581
eolinenneE4 -1.50408 0.64237 -2.341 0.0192 *
eolinenneE5 -0.68821 0.53796 -1.279 0.2008
eolinenneE6 0.10536 0.37755 0.279 0.7802
eolinenneE7 -0.28275 0.48284 -0.586 0.5581
eolinenneE8 -0.11778 0.39928 -0.295 0.7680
eolinenneE9 -0.06205 0.42693 -0.145 0.8844
Regulationoui -2.17632 0.43291 -5.027 4.98e-07 ***
---

```

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 0.6752234)

Null deviance: 213.29 on 223 degrees of freedom
Residual deviance: 80.53 on 188 degrees of freedom

AIC: 233.48

> anova(mod6, test='F')

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)
NULL	223	213.28				
factor(jdate)	27	94.788	196	118.50	3.5107	1.817e-09
eolinenne	7	9.057	189	109.44	1.2939	0.2486
Regulation	1	28.909	188	80.53	28.9095	7.584e-08

GLM Negative binomiale

> mod4<-glm.nb(NB_Cadavre~jdate+I(jdate^2)+eolinenne+Regulation)

> summary(mod4)

Call: glm.nb(formula = NB_Cadavre ~ jdate + I(jdate^2) + eolinenne +
Regulation, init.theta = 0.6702277168, link = log)

```

      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -5.610e+01 2.083e+01 -2.693 0.007076 **
jdate        4.799e-01 1.809e-01 2.652 0.008000 **
I(jdate^2)   -1.034e-03 3.907e-04 -2.647 0.008111 **

```

```

eolinenneE3 -6.879e-02 6.650e-01 -0.103 0.917613
eolinenneE4 -1.367e+00 8.947e-01 -1.528 0.126600
eolinenneE5 -6.085e-01 7.444e-01 -0.817 0.413645
eolinenneE6 2.773e-01 6.200e-01 0.447 0.654676
eolinenneE7 -2.418e-01 6.870e-01 -0.352 0.724891
eolinenneE8 8.912e-02 6.369e-01 0.140 0.888709
eolinenneE9 3.854e-02 6.231e-01 0.062 0.950678
Regulationoui -1.954e+00 5.722e-01 -3.415 0.000638 ***

```

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.6702) family taken to be 1)

```

Null deviance: 143.70 on 223 degrees of freedom
Residual deviance: 111.66 on 213 degrees of freedom
AIC: 261.99
Number of Fisher Scoring iterations: 1
  Theta: 0.670
  Std. Err.: 0.328
2 x log-likelihood: -237.991

```

> anova(mod4, test='Chisq')

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL	223	143.70			
jdate	1	1.0722	222	142.63	0.300441
I(jdate^2)	1	7.8958	221	134.73	0.004955
eolinenne	7	6.8690	214	127.86	0.442644
Regulation	1	16.2001	213	111.66	5.699e-05

```

> mod5<-glm.nb(NB_Cadavre~factor(jdate)+eolinenne+Regulation)
Il y a eu 27 avis (utilisez warnings() pour les visionner)
> summary(mod5)

```

```

Call:
glm.nb(formula = NB_Cadavre ~ factor(jdate) + eolinenne + Regulation,
  init.theta = 2885.929117, link = log)

```

```

Deviance Residuals:
  Min      1Q  Median      3Q      Max
-1.7425 -0.4942  0.0000  0.0000  2.3137

```

Coefficients:

```

      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  1.258e-01 5.004e-01  0.251  0.8015
factor(jdate)196 -1.946e+00 1.069e+00 -1.820  0.0687 .
factor(jdate)199 -3.682e+01 2.373e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)202 -3.682e+01 2.373e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)205 -3.682e+01 2.373e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)208 -3.682e+01 2.373e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)211 -1.946e+00 1.069e+00 -1.820  0.0687 .
factor(jdate)214 -1.253e+00 8.018e-01 -1.562  0.1182
factor(jdate)217 -3.601e+01 2.284e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)220 -9.120e-01 8.086e-01 -1.128  0.2594
factor(jdate)223 -3.601e+01 2.284e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)226 1.866e-01 5.662e-01  0.330  0.7417
factor(jdate)229 -3.574e+01 2.267e+07  0.000  1.0000
factor(jdate)232 9.781e-01 5.188e-01  1.885  0.0594 .
factor(jdate)235 3.969e-01 5.762e-01  0.689  0.4909
factor(jdate)238 5.511e-01 5.552e-01  0.993  0.3208
factor(jdate)241 -3.574e+01 2.267e+07  0.000  1.0000

```



```

factor(jdate)244 6.191e-02 6.474e-01 0.096 0.9238
factor(jdate)247 -1.324e+00 1.081e+00 -1.225 0.2206
factor(jdate)250 -7.015e-01 8.157e-01 -0.860 0.3897
factor(jdate)253 -3.576e+01 2.177e+07 0.000 1.0000
factor(jdate)256 -7.016e-01 8.157e-01 -0.860 0.3897
factor(jdate)259 -1.324e+00 1.081e+00 -1.225 0.2206
factor(jdate)262 -1.324e+00 1.081e+00 -1.225 0.2206
factor(jdate)265 -3.574e+01 2.267e+07 0.000 1.0000
factor(jdate)268 -3.574e+01 2.267e+07 0.000 1.0000
factor(jdate)271 -1.324e+00 1.081e+00 -1.225 0.2206
factor(jdate)274 -3.576e+01 2.177e+07 0.000 1.0000
eolinenneE3 -2.826e-01 5.877e-01 -0.481 0.6306
eolinenneE4 -1.504e+00 7.818e-01 -1.924 0.0544 .
eolinenneE5 -6.883e-01 6.548e-01 -1.051 0.2932
eolinenneE6 1.053e-01 4.596e-01 0.229 0.8187
eolinenneE7 -2.828e-01 5.877e-01 -0.481 0.6304
eolinenneE8 -1.177e-01 4.860e-01 -0.242 0.8087
eolinenneE9 -6.196e-02 5.196e-01 -0.119 0.9051
Regulationoui -2.176e+00 5.269e-01 -4.131 3.62e-05 ***

```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(2885.929) family taken to be 1)

Null deviance: 213.252 on 223 degrees of freedom
Residual deviance: 80.516 on 188 degrees of freedom
AIC: 235.49

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 2886
Std. Err.: 24564
Warning while fitting theta: limite d'alternation atteinte

2 x log-likelihood: -161.488

anova(mod5, test='Chisq')
Analysis of Deviance Table

Model: Negative Binomial(2885.929), link: log

Response: NB_Cadavre

Terms added sequentially (first to last)

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			223	213.252	
factor(jdate)	27	94.779	196	118.473	1.823e-09 ***
eolinenne	7	9.056	189	109.417	0.2487
Regulation	1	28.901	188	80.516	7.618e-08 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Message d'avis :

In anova.negbin(mod5, test = "Chisq") :
tests made without re-estimating 'theta'

Bibliographie

ANDERSON R.L., DAVIS H., KENDALL W., MAYER L.S., MORRISON M., SINCLAIR K., STRICKLAND D. et UGORETZ S.L. (1997). Standard metrics and methods for conducting avian/wind energy interaction studies, p. 265-272. In *Windpower '97 Proceedings*, June 15-18, 1997. 636 p.

ANDRE Y. (2004). Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. Document LPO. 21 p.

Archer, M. S., and M. A. Elgar. **2003**. Female breeding-site preferences and larval feeding strategies of carrion-breeding Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera): a quantitative analysis. *Australian J. Zool.* 51.

ARNETT E.B., technical editor. (2005). Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: An Assessment of Bat Fatality Search Protocols, Patterns of Fatality and Behavioral Interactions with Wind Turbines. Final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. In NWCC, *Mitigation Toolbox*, Compiled by NWCC Mitigation Subgroup & Jennie Rectenwald, Consultant. May 2007.

ARNETT E.B., SCHIRMACHER M., HUSO M.M.P. et HAYES J.P. (2009). Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities. 2008

Annual Report. Annual Report Prepared for the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission, avril 2009. 44 p.

ARNETT E.B., BROWN K., ERICKSON W.P., FIEDLER J., T. H. HENRY T.H., JOHNSON G.D., KERNS J., KOLFORD R.R., NICHOLSON C.P., O'CONNELL T., PIORKOWSKI M. et R. TANKERSLEY Jr. R. (2008). Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *J. Wildl. Manage.*, 72(1) : 61-78.

ARTHUR L. et LEMAIRE M. (2009). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse, Collection Parthénope. Biotope éditions, Publications scientifiques du muséum. 544 p.

AVES environnement et GCP (2008). Evaluation ponctuelle de la mortalité des Chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, commune de Saint-Martin-de-Crau (13), 15 août - 2 octobre 2008. 27 p.

AVES. 2010. *Etude de la mortalité des chiroptères du Mas de Leuze*. Rapport Energie delta. 38p

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

BAERWALD E.F., EDWORTHY J., HOLDER M. et BARCLAY R.M.R. (2009). A Large-Scale Mitigation Experiment to Reduce Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. *J. Wildl. Manage.*, 73(7) : 1077-1081.

Braack, L. E. **1987**. Community dynamics of carrion-attendant arthropods in tropical African woodland. *Oecologia* 72: 402-9.

BRINKMANN R., SCHAUER-WEISSHAHN H., BONTADINA F. (2006). [Etudes sur les impacts potentiels liés au fonctionnement des éoliennes sur les chauves-souris du district de Fribourg].

Regierungspräsidium Freiburg – Referat 56. Naturschutz und landschaftspflege gefördert durch Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg (Projekt 0410L). Traduction du Bureau de coordination énergie éolienne/Koordinierungsstelle Windenergie e.V. (traduction non officielle).

DIETZ C. et von HELVERSEN O. (2004). Illustrated identification key to the bats of Europe. Electronique publication, version 1.0 released 15.12.2004, Tuebingen & Erlangen (Germany). 72 p.

DORGERE A. et COSSON E. (2005). Chiroptères sur le Mas de Leuze (Saint-Martin-de-Crau 13). Etude diagnostique. Inventaire des espèces et évaluation du risque éolien pour les chiroptères. SINERG, Groupe Chiroptères de Provence. 45 p.

DUBOURG-SAVAGE M-J./SFPEM (2009). Mortalité de chauves-souris par éoliennes en France. Etat des connaissances au 16/12/2009. Synthèse M.J. Dubourg-Savage M.J./SFPEM. <http://www.sfepm.org>, consulté le 3 février 2012.

DULAC P. (2008). Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux, délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon - Nantes, 106 p.

ERICKON W.P., STRICKLAND M.D., JOHNSON G.D. et KERN J.W. (2000). Examples of statistical methods to assess risk of impacts to birds from wind plants, p.172-182. In Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, CA, May 1998. 202 p.

ERICKSON W., JOHNSON G., YOUNG D., STRICKLAND D., GOOD R., BOURASSA M., BAY K. et SERNKA K. (2002). Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments. WEST, Inc., 2003 Central Ave. Cheyenne, WY 82001. 124 p.

ERICKSON W., KRONNER K. et GRITSKI B. (2003). Nine Canyon Wind Power Project, Avian and bat monitoring report, September 2002-August 2003. Western EcoSystems Technology, Inc. et Northwest Wildlife Consultants Inc. pour Nine Canyon Technical Advisor Committee, Energy Northwest. 32 p.

EUROBATS Publication Series N°3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 55 pp.

Fenton, A., R. Wall, and N. P. French. **1999b**. Oviposition aggregation by the blowfly *Lucilia cuprina*. *Medical and Veterinary Entomology* 13: 453-456.

FIEDLER J.K., HENRY T.H., TANKERSLEY R.D. et NICHOLSON C.P. (2007). Results of Bat and Bird Mortality Monitoring at the Expanded Buffalo Mountain Windfarm, 2005 Tennessee Valley Authority. 38 p.

HAQUART A., DISCA T. 2007. Caractéristiques acoustiques et nouvelles données de Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780) dans le sud de la France. *Le Vespère*, 1 : 15-20.

HORN J.W., ARNETT E.B., JENSEN M. et H. KUNZ T. (2008). Testing the effectiveness of an experimental acoustic bat deterrent at the Maple Ridge wind farm. Report prepared for: The Bats and Wind Energy Cooperative and Bat Conservation International, Austin, TX, 24 juin 2008. 30 p.

- Hedouin, V., L. Martin-Bouyer, B. Bourel, E. Révuelta, and D. Gosset. 1996. Influence de la température sur la ponte des diptères. *J Med Lég Droit Méd* 39: 153-7.
- KERNS J. et KERLINGER P. (2004). A study of bird and bat collision fatalities at the Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia : Annual report for 2003. Curry & Kerlinger, LLC. 39 p.
- LEKUONA J. (2001). Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. Dirección General de Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, Ordonacion del Territorio y vivienda, Gobierno de Navarra. 147 p.
- LAGRANGE H. 2009. *Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin*. ADEM, Biotope : 47p.
- LEUZINGER Y., LUGON A. et BONTADINA F. (2008). Eoliennes en Suisse, mortalité de chauves-souris. *Natura biologie appliquée*. 34 p.
- Mann, R. W., W. M. Bass, and L. Meadows. **1990**. Time since death and decomposition of the human body : variables and observations in case and experimental field studies. *Journal of forensic sciences* 35: 103-111.
- MARCHESI P., BLANT M. et CAPT S. (2008). Mammifères de Suisse - Clés de détermination. Neuchâtel, Fauna Helvetica, CSCF & SSBF. 289 p.
- MORRISON M. (2002). Searcher bias and scavenging rates in bird/wind energy studies. NREL/SR-500-30876.
- PNAWPPM-IV (2001). Proceedings of National Avian Wind-Power Planning Meeting IV, Carmel, CA, May 16-17, 2000. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, by RESOLVE, Inc., Washington, D.C., Susan Savitt Schwartz, ed., 179 p.
- RODRIGUES L., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.-J., GOODWIN J. et HARBUSCH C. (2008): Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens.
- RYDELL, J., L. BACH, M. J DUBOURG-SAVAGE, M. GREEN, L. RODRIGUES, & A. HEDENSTRÖM. 2010. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12, n°. 2: 261-274.
- SZEWCZAK J.M. et ARNETT E.B. (2006). Preliminary Field Test Results of an Acoustic Deterrent with the Potential to Reduce Bat Mortality from Wind Turbines. Report Prepared for: The Bats and Wind Energy Cooperative, Austin, TX, décembre 2006. 7 p.
- SZEWCZAK J.M. et ARNETT E.B. (2008). Field Test Results of a Potential Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortality from Wind Turbines. Report prepared for: The Bats and Wind Energy Cooperative, Austin, TX, juillet 2008. 14 p.
- WESTERN ECOSYSTEMS TECHNOLOGY, INC. et NORTHWEST WILDLIFE CONSULTANTS, INC. (2004). Stateline Wind Project Wildlife Monitoring Final Report, July 2001-December 2003. Pour FPL Energy. 98 p.
- WINKELMAN J.E. (1989). [Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese and swans]. RIN Rep. 89/15. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, The Netherlands. Dutch, Engl. summ. Appendice 2C (English-Language Summaries), p.122-166, in Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting, Lakewood, Colorado. July 20-21, 1994. 145 p.