

Parc éolien du Mas de Leuze Saint-Martin-de-Crau (13)

Etude de la mortalité des Chiroptères
(17 mars – 27 novembre 2009)



AVES environnement et le Groupe Chiroptères de Provence

pour

ENERGIE DU DELTA

Version définitive

(Février 2010)

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. AIRE D'ETUDE ET METHODES	2
1. Recherche des cadavres	2
2. Distribution temporelle et spatiale	4
3. Analyse des cadavres : espèces, âge, sexe, statut de conservation, causes de la mort ...	4
4. Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction	4
II. RESULTATS	7
1. Distribution temporelle et spatiale	7
2. Analyse des cadavres : espèces, âge, sexe, statut de conservation, causes de la mort.	10
3. Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction	10
4. Les oiseaux	14
III. DISCUSSION	16
1. Nombre de chauves-souris victimes des éoliennes	16
2. Répartition saisonnière de l'importance du nombre de victimes découvertes	20
3. Résultats selon l'éolienne	20
4. Comparaison avec les résultats de 2008	20
5. Espèces concernées, statut de conservation	21
6. Causes de la mort	21
PERSPECTIVES	22
BIBLIOGRAPHIE	24

INTRODUCTION

Le suivi de la mortalité des Chiroptères, mené du 15 août au 2 octobre 2008, sur le parc éolien du Mas de Leuze (AVES environnement et GCP 2008) a montré :

1. l'existence d'une mortalité de chauves-souris liée aux éoliennes,
2. une valeur élevée de l'importance effective de la mortalité au regard des résultats acquis au cours d'études similaires réalisées sur d'autres parcs éoliens, européens et nord-américains.

Toutefois, le niveau d'incertitude pesant sur les chiffres obtenus dans cette étude est 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.

Après un exposé des méthodes employées, nous présenterons les résultats relatifs au nombre absolu de chauves-souris trouvées, à leur distribution dans le temps et dans l'espace, aux espèces touchées et à l'origine de la mort des individus ainsi qu'à l'importance de la mortalité conformément à la prise en compte du taux d'efficacité de l'observateur, de la vitesse de disparition des cadavres et de la surface effectivement prospectée des aires de recherche. Puis, ces résultats seront examinés et discutés d'après, notamment, les éléments rassemblés lors d'études similaires réalisées sur d'autres parcs éoliens, européens et nord-américains.

Les données portant sur les cadavres d'oiseaux découverts lors de nos prospections ne feront l'objet que d'une simple présentation.

I. AIRE D'ETUDE ET METHODES

Pour une description de l'aire d'étude, on se reportera au rapport de 2008 (AVES environnement et GCP 2008).

1. Recherche des cadavres

Le protocole suit, dans ses grandes lignes, les recommandations nationales et européennes en matière de suivi de la mortalité engendrée par les éoliennes (André 2004, Rodrigues *et al.* 2008).

Les prospections sont effectuées au niveau de l'ensemble des neuf éoliennes du parc (**voir la carte de localisation des éoliennes**) entre le 17 mars et le 27 novembre 2009.

Pendant cette période, l'effort de recherche est fonction de la tendance présumée du risque encouru par les chauves-souris. Ainsi, l'intervalle de temps séparant deux visites est plus court au printemps et à l'automne (tableau 1), c'est-à-dire pendant les phases de migrations/déplacements au cours desquelles la mortalité constatée est généralement plus forte (par exemple, Rodrigues *et al.* 2008).

Phase du suivi	Intervalle de temps entre 2 contrôles	Nombre de contrôles
17 mars – 15 mai	3 jours	20
16 mai – 15 août	7 jours	13
16 août – 30 septembre	3 jours	15
1 ^{er} octobre – 27 novembre	7 jours	8
TOTAL		56

Tableau 1 : Périodicité et nombre de contrôles effectués sous chacune des 9 éoliennes du parc éolien du Mas de Leuze entre le 17 mars et le 27 novembre 2009 selon la phase du suivi.

Les recherches n'étant réalisées que par une seule personne¹, la visite de la totalité des 9 éoliennes nécessite 2 jours (ou fraction de jour) consécutifs d'investigations, i.e., les éoliennes 1 à 5 le premier jour et les éoliennes 6 à 9 le lendemain.

¹ Sébastien Cabot (AVES environnement) pour la 1^{ère} phase du suivi, en dehors du 16 et du 17 avril, et Laurent Allouche (AVES environnement) aux autres dates.



La recherche commence dans l'heure suivant le lever du soleil en changeant, à chaque visite, l'ordre des machines prospectées de manière à prendre en compte, pour chacune d'entre elles, une éventuelle variabilité temporelle du risque et de la prédation des cadavres.

Pour chacune des 9 machines, la recherche est faite sur une aire de 1 ha, c'est-à-dire au niveau d'un carré de 100 mètres de côté centré sur l'éolienne afin de pouvoir réaliser la prospection jusqu'à une distance minimale de 50 mètres de l'aérogénérateur. L'ensemble de la surface de 1 ha est entièrement prospectée pour l'ensemble des machines sauf la n°1.

Au niveau de l'éolienne 1, une partie de l'aire de recherche (30 %, située dans la moitié ouest) était occupée par un champ de céréales. Nous avons pu réaliser nos investigations sur la totalité de la surface à prospecter seulement après la récolte, c'est-à-dire à partir du 6 juillet.

Le milieu de prospection des machines 2 à 9 est homogène et identique sur la surface prospectée. Il est constitué de friches culturales sur des terres sèches mises en culture dans le passé par labour des coussous. Actuellement ces friches sèches sont pâturées.

Des repères ayant été préalablement placés tous les 20 mètres à la périphérie de chacune des aires de recherche de manière à assurer la cohérence du parcours, nous effectuons pour chaque surface prospectée, une série de 11 transects espacés les uns des autres d'environ 10

mètres de façon à pouvoir contrôler une bande de 5 mètres de large de part et d'autre de la ligne de cheminement.

En moyenne, chacune des 9 aires de recherche fait l'objet d'une prospection d'environ 60 minutes à chaque visite.

Tous les cadavres de chauves-souris trouvés sont photographiés et pour chacun d'entre eux, il est noté : le numéro de l'éolienne la plus proche, la localisation (au moyen d'un GPS) (n'est-il pas possible de récupérer les pointages gps pour examiner les dispersions des cadavres), l'état et, dans la mesure du possible, l'espèce, le sexe, l'âge, la cause et la date présumées de la mort. La plus grande partie des cadavres découverts (voir ci-dessous) est enlevée pour éviter tout risque de confusion lors des visites suivantes, conservée au froid, puis congelée pour une analyse ultérieure.

Les cadavres d'oiseaux trouvés lors de ces investigations sont soumis à la même collecte d'informations.

2. Distribution spatio-temporelle

2.1. Distribution temporelle

Sur la période de suivi, l'analyse est réalisée par quinzaines et par phases d'activité ; on distingue :

- une phase de transit printanier correspondant à la migration ainsi qu'aux déplacements locaux et interrégionaux intensifs vers les gîtes d'été : 17 mars – 15 mai ;
- une phase de mise bas pendant laquelle les femelles sont regroupées en colonies : 16 mai – 31 juillet ;
- une phase de transit automnal correspondant à la migration ainsi qu'aux déplacements locaux et interrégionaux intensifs vers les sites d'accouplements et les gîtes d'hibernation : 1^{er} août – 30 septembre ;
- une phase de faible activité précédant l'hibernation : 1^{er} octobre – 27 novembre.

Des comparaisons entre les différentes phases sont réalisées sur la base du nombre de victimes ramené au nombre de jours des phases considérées.

2.2. Répartition spatiale

L'analyse porte sur le nombre d'individus découverts par éolienne.

Nous calculons également la distance moyenne des chauves-souris trouvées au centre des mâts et le nombre d'individus selon les 8 points cardinaux pour l'ensemble des machines et de la période de suivi.

3. Analyse des cadavres : espèces, âge, sexe, statut de conservation, causes de la mort

3.1. Identifications

Les cadavres congelés sont tous examinés et déterminés à l'aide des ouvrages suivants :

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.

Arthur, L. et Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*, Collection Parthénope. Biotop éditions, Publications scientifiques du museum. 544 p.
 Marchesi, P., Blant, M. et Capt, S. (2008). *Mammifères de Suisse - Clés de détermination*. Neuchâtel, Fauna Helvetica, CSCF & SSBF. 289 p.

Les déterminations ont été faites à partir de divers critères disponibles sur les cadavres. Il s'agit essentiellement de la dentition à la loupe, des mesures d'avant-bras au pied à coulisse, du 5^{ème} doigt au réglet à buté, et de divers critères tels les couleurs des pelages, de la peau et du patagium, les cellules alaires.

Les identifications ont été réalisées par Emmanuel Cosson et Raphaël Sané du Groupe Chiroptères de Provence au cours de sept sessions de détermination de 3 à 4 heures.

Des radiographies ont été réalisées sur quelques individus par Jean-Michel Bompar à l'Hôpital de Toulon, service des traumatismes de la main. Quatorze individus entiers l'ont été.

1.1.Examen des cadavres

Chaque cadavre est examiné dans le détail, il est :

Sexé (mâle, femelle, indéterminé)

Agé (adulte, jeune de l'année, indéterminé)

Le nombre de jours possible depuis la mort est estimé (à partir de l'état de consommation, de décomposition et de démembrement, de la sécheresse des membranes, de l'état des yeux, de la présence d'asticots, etc.)

Détaillé au niveau de l'état des chaires

Examiné pour les fractures et luxations

Eventuellement mesuré

Examiné pour son état sexuel (gestation, lactation principalement, l'état des gonades des mâles n'a pas été observé)

Eventuellement radiographié

La distance du cadavre au mât est consignée.

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

2.1. Estimation du nombre effectif de victimes

Cette estimation est réalisée au moyen d'une formule adaptée de celle d'Erickson *et al.* (2000) :

$$m = I \times (C - Cx\%) / t_m \times p$$

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,
- x est la proportion calculée d'individus qui restent sous les éoliennes entre 2 contrôles,

- 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.

Il est également possible de réaliser une estimation au moyen d'une formule adaptée de celle utilisée par Winkelman (1989), préconisée par la LPO (André 2004) et employée notamment dans l'étude réalisée sur le site éolien de Bouin, situé en Vendée (Dulac 2008) :

$$N_{estimé} = (N - Nx\%) / P \times Z$$

Où :

- $N_{estimé}$ est le nombre effectif de victimes estimé,
- N est le nombre de cadavres trouvés,
- x est la proportion d'individus qui restent sous les éoliennes entre 2 contrôles,
- P est la proportion de cadavres retrouvés au bout de 3 jours par rapport au nombre total d'individus déposés,
- Z est le taux d'efficacité de l'observateur,

2.2. Facteurs de correction

Pendant la recherche, le nombre d'individus trouvés dépend de deux paramètres essentiels : l'efficacité de l'observateur à détecter les cadavres et la vitesse à laquelle ils disparaissent du fait, notamment, de la faune nécrophage. Ne pas les prendre en compte entraînerait une sous-estimation de l'importance de la mortalité (par exemple, Morrison 2002).

Il convient donc de cerner au mieux la valeur de ces deux paramètres.

Enfin il importe également de considérer les surfaces non prospectées des aires de recherche ; dans cette étude, l'aire située sous l'éolienne 1 est la seule concernée.

2.2.1. Etude de l'efficacité du chercheur

L'objectif est d'estimer la proportion d'individus que le l'observateur est capable de découvrir par rapport au nombre total de victimes.

De manière à prendre en compte l'évolution saisonnière de l'importance de la couverture végétale, dont dépend la probabilité de détection des cadavres (Anderson *et al.* 1997), l'étude est réalisée à quatre reprises au cours de la période de suivi : le 31 mars, le 15 mai, le 10 août et le 30 octobre.

Dans un premier temps, des leurres de chauves-souris, fabriqués en tissus (5 fois 4 leurres à chacune de ces 4 dates et pour chacun des deux observateurs), sont déposés, par un assistant, sur les surfaces à prospecter situées sous 4 éoliennes tirées au sort (éolienne 1, 4, 7 et 9). Le même jour, l'observateur, qui ne connaît pas l'emplacement des leurres, effectue leur recherche dans des conditions identiques (parcours et durée) à celles des prospections réalisées dans le cadre du suivi.

Le taux de détection (p), dont une valeur est calculée à partir de chacun de ces quatre tests, est la proportion de leurres retrouvés par l'observateur par rapport au nombre total de leurres déposés.

2.2.2. Etude de la vitesse de disparition des cadavres

L'objectif est de déterminer la durée pendant laquelle les cadavres restent sous les éoliennes avant de disparaître sous l'action de la faune nécrophage.

De manière à prendre en compte l'évolution saisonnière de la densité et/ou de l'activité de la faune nécrophage, l'étude est effectuée à quatre reprises au cours de la phase d'étude : en mars-avril, mai, juillet et septembre-octobre.

Le test consiste à disposer des cadavres sur les 9 aires de recherche (22 demi-cailles² le 31 mars et 18, respectivement, le 5 mai, le 16 juillet et le 29 septembre) et à les contrôler jusqu'à leur disparition. Les cadavres sont déposés avec des gants de laboratoire afin de limiter l'effet de l'odeur humaine sur la faune nécrophage et placées au cours de la journée le 31 mars et en début de nuit aux trois autres dates.

Le temps de séjour moyen (t_m) des cadavres déposés sur le terrain, dont une valeur est calculée à partir de chacun de ces quatre tests, est évalué en additionnant le temps (en jours) pendant lequel chaque cadavre reste sur le terrain ($0 \leq t_i \leq 3$ ou $0 \leq t_i \leq 7$ selon la périodicité des contrôles) et en divisant la somme obtenue par le nombre de cadavres déposés ($n = 22$ ou 18).

La méthode consistant à utiliser des cadavres de cailles pour apprécier la vitesse de disparition de cadavres de chauves souris n'apparaît pas, à priori, comme très satisfaisante. De manière à tenter de mieux apprécier la pertinence de cette méthode, nous avons laissé une partie des cadavres de chauves-souris découverts sur le terrain et nous les avons suivis jusqu'à leur disparition. Cette étude a été réalisée entre le 20 août et le 30 septembre, elle porte sur 17 individus, tués très vraisemblablement dans la nuit précédant leur découverte ; tous les cadavres étaient en très bon état.

Il faut noter que cette méthode ne permettra pas d'obtenir la vitesse réelle de disparition des chauves-souris 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 de la nuit.

2.2.3. Correction de surface

Compte tenu de la faiblesse de la surface non prospectée - i.e. 0,30 ha, soit 3,3 % de la surface totale théorique de recherche (9 ha) - du 15 mars au 6 juillet non inclus, la correction consiste simplement à ramener à 9 ha le nombre total de victimes estimé pendant cette période.

II. RESULTATS

103 chauves-souris ont été trouvées mortes ou blessées (2 individus) au cours des 56 contrôles réalisés, entre le 17 mars et le 27 novembre 2009, sous les neuf éoliennes du parc du Mas de Leuze.

² Nous avons eu recours à des cailles fraîches d'une part, par commodité et d'autre part, parce que nous ne voulions pas, suite aux recommandations formulées dans les PNAWPPM-IV (2001), employer de cadavres préalablement congelés dont l'usage a montré qu'ils pouvaient être en partie délaissés par les animaux nécrophages (voir aussi Arnett 2005).

1. Distribution temporelle et spatiale

1.1. Distribution temporelle

Les individus ont été essentiellement découverts entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre (87 chauves-souris, soit 84 % du total) avec un pic durant la deuxième quinzaine d'août (30 individus) (figure 1).

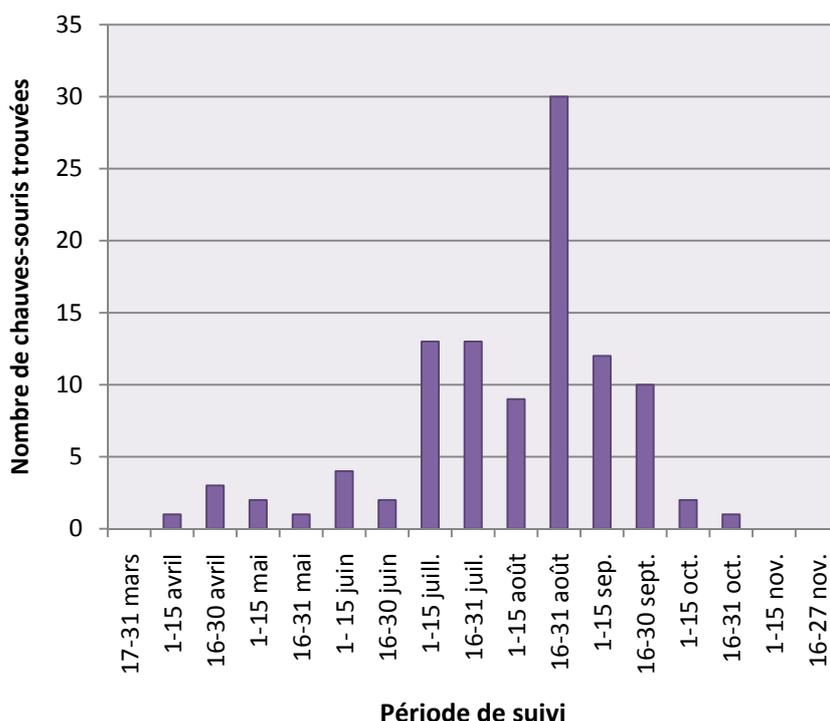


Figure 1 : Distribution bimensuelle du nombre de chauves-souris trouvées sous les éoliennes du Mas de Leuze en 2009

Le nombre d'individus trouvés varie fortement selon la période d'activités ; 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 (1^{er} août – 30 septembre) et sa valeur la plus basse pendant la phase de faible activité (1^{er} octobre – 27 novembre). On note, également, qu'elle est 4 fois plus importante pendant la phase de mise bas (16 mai – 31 juillet) que lors de la période de transit printanier (17 mars – 15 mai) (tableau 2 et figure 2).

Période d'activités	Nombre de jours	Nombre total d'individus trouvés	Nombre d'individus trouvés/jour
17 mars – 15 mai	60	6	0,10
16 mai – 31 juillet	77	33	0,43
1 ^{er} août – 30 sept.	61	61	1,00
1 ^{er} octobre- 27 nov.	58	3	0,05

Tableau 2 : Nombre de chauves-souris découvertes selon la période d'activité

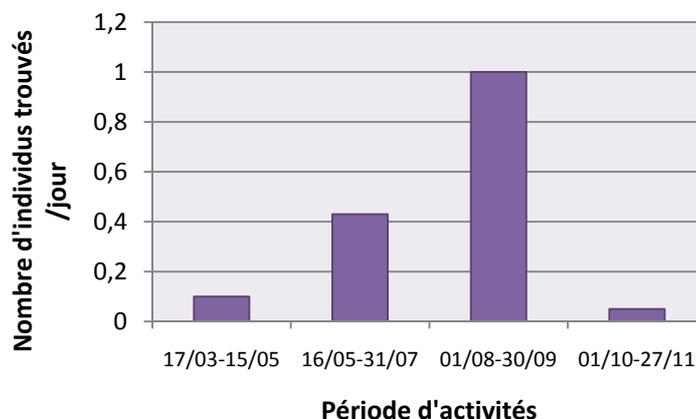


Figure 2 : Taux journalier de découverte selon la période d'activité

1.2. Répartition spatiale

C'est sous les éoliennes 2 et 9 que le nombre d'individus trouvés est le plus grand, respectivement 15 et 19 individus (figure 3).

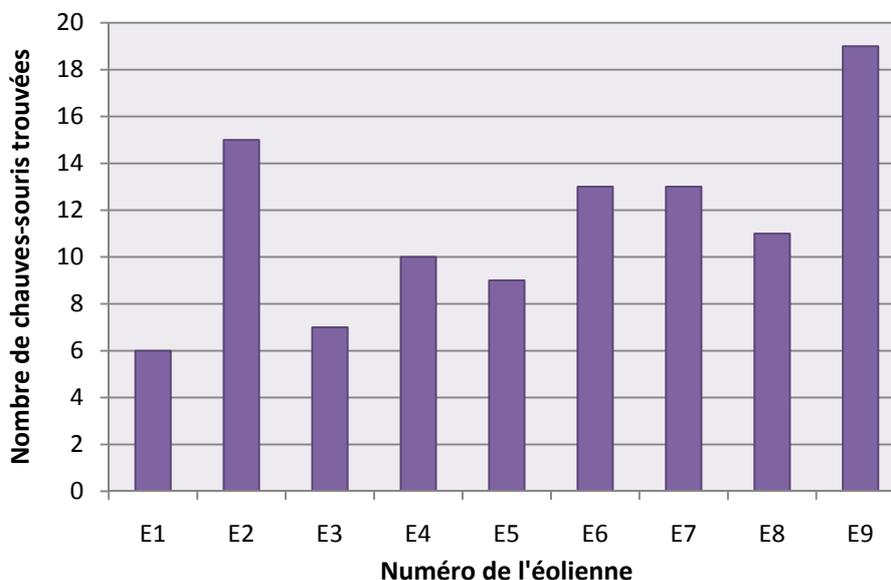


Figure 3 : Nombre de chauves-souris découvertes selon le numéro de l'éolienne pour l'ensemble de la période de suivi

Les 103 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 (moyenne = $17,0 \pm 7,6$ m) dont plus de la moitié entre 10 et 20 mètres (n = 55) (figure 4).

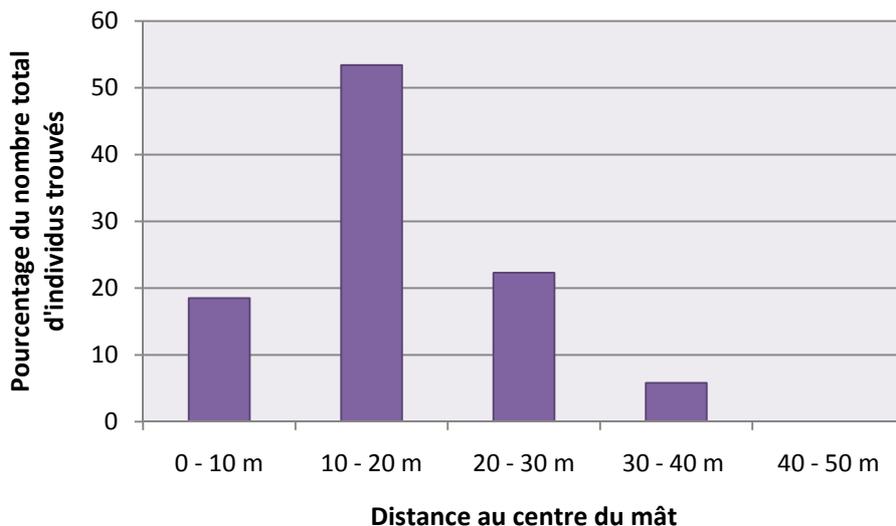


Figure 4 : Proportion (en pourcentage) du nombre total d'individus trouvés selon cinq classes de distance au centre du mât de l'éolienne la plus proche (pour l'ensemble de la période de suivi et la totalité des éoliennes)

Plus de la moitié des individus ($n = 58$) ont été découverts dans la zone des aires d'étude orientée, grosso modo, d'ouest au nord par rapport aux éoliennes ; on obtient un résultat comparable lorsque l'on ne soumet pas à l'analyse les individus découverts au niveau de l'éolienne 1 dont une partie du secteur ouest de l'aire d'étude n'a pu être prospectée jusqu'au 6 juillet (non inclus) (figure 5).

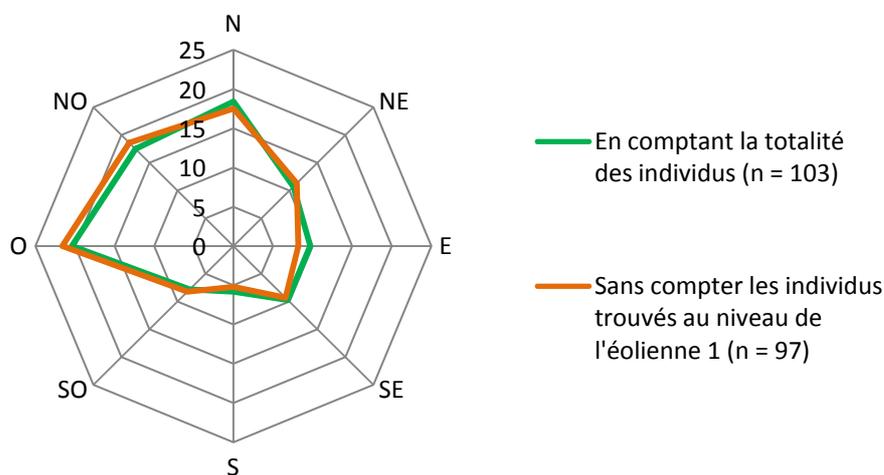


Figure 5 : Proportion (en pourcentage) du nombre total d'individus trouvés selon l'orientation du lieu de leur découverte par rapport au pied du mât (pour l'ensemble de la période de suivi et la totalité des éoliennes)

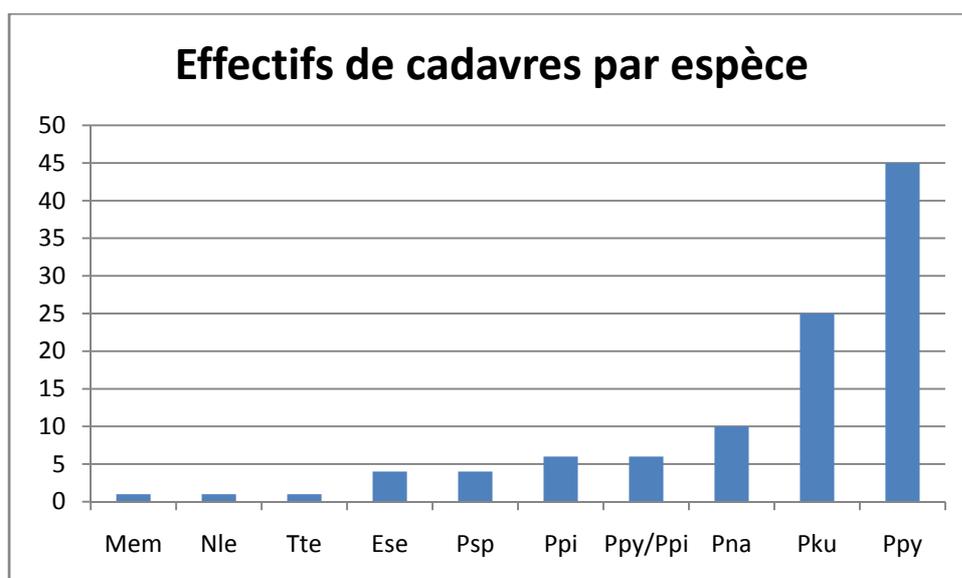
2. Analyse des cadavres : espèces, âge, sexe, causes de la mort

Les espèces

Huit espèces ont été impactées. L'espèce la plus fréquente est la Pipistrelle pygmée. Viennent ensuite, la Pipistrelle de Kuhl, de commune, commune, la Sérotine commune, le Molosse de Cestoni, la Noctule de Leisler et le Murin à oreilles échancrées.

Tableau des effectifs par espèces

Espèce abr.	Espèce	nb	%
Mem	Murin à oreilles échancrées	1	1%
Nle	Noctule de Leisler	1	1%
Tte	Molosse de Cestoni	1	1%
Ese	Sérotine commune	4	4%
Psp	indéterminée	4	4%
Ppi	Pipistrelle commune	6	6%
Ppy/Ppi	Pipistrelle pygmée ou commune	6	6%
Pna	Pipistrelle de Nathusius	10	10%
Pku	Pipistrelle de Kuhl	25	24%
Ppy	Pipistrelle pygmée	45	44%
Total		103	100%



Répartition temporelle des mortalités selon les espèces

Les pipistrelles se font tuer sur toute la période, y compris la Pipistrelle de Nathusius, réputée migratrice, mais dont certaines populations sont sédentaires en Provence.

Le Murin à oreilles échancrées a été découvert le 13 juillet et était allaitante.

Les Molosses, Noctules et Sérotines sont découverts à partir du 20 août à l'exception d'une Sérotine le 30 juin.

Classes d'âges impactées

Les adultes représentent 82% des mortalités constatées parmi les 68 animaux dont l'âge a pu être déterminé.

Le premier jeune est noté le 6 juillet 2010 avec une Pipistrelle pygmée.

Sexes impactés

Pour les individus dont le sexe a pu être déterminé, la mortalité à Leuze touche à 85% des femelles.

Six individus au moins sont des femelles allaitantes ou gestantes. Le Murin à oreille échancrée par exemple est une femelle allaitante.

Causes de la mort

Les causes de la mort sont difficiles à appréhender, même s'il ne fait aucun doute que les chauves-souris découvertes ont été directement tuées par les éoliennes.

Un certain nombre de chauves-souris sont parfaitement intactes et sans fracture. Il semble que ces animaux aient subi un choc sans contact avec les pales provoquant une mort plus ou moins instantanée. Des animaux intacts encore vivants ont été découverts agonisants au sol. Le seul moyen fiable de démontrer un barotraumatisme est de réaliser une autopsie directement après la mort des animaux entiers avant congélation. Ceci n'a pas été fait au cours de la présente étude.

Quelques animaux montrent des fractures de bras et d'avant bras ou de crânes et luxations d'épaules à la palpation.

Résultats synthétiques

Bilan validé 04-2010		/	%	
nb sp	8	31	26%	en Paca
nb AnnDH2	1	8	13%	des espèces tuées
sp haut vol	7	8	88%	des espèces tuées
nb ind haut vol	102	103	99%	des individus tués
nb ind bas vol	1	103	1%	des individus tués
nb juv	12	68	18%	des ind de sexe déterminé
nb ad	56	68	82%	des ind de sexe déterminé
nb mâles	7	47	15%	des animaux sexés
nb femelles	40	47	85%	des animaux sexés
nb femelles ad	30	38	79%	des femelles
nb femelles juv	9	38	24%	des femelles
nb sexe indet	56	103	54%	
nb animaux entiers	69	103	67%	du total
nb animaux intacts	24	103	23%	du total
nb animaux à fracture certaine ou possible	11	103	11%	
nb animaux sans fractures	92	103	89%	
nb individus avec indices barotraumatisme			#DIV/0!	Nb réel probable très élevé

Nb Jours probables après la mort			%	
0	16		19	
1	19		23	
2	29		35	

Bilan validé 04-2010			/	%	
3+	20	84	24	100	

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

3.1. Taux de détection de l'observateur (estimation de p)

Il varie à la fois selon l'observateur (le 31 mars) et la date de réalisation du test (tableau 3).

Date \ Observateur	31 mars (n = 20)	15 mai (n = 20)	10 août (n = 20)	30 oct. (n = 20)
SC	0,80			
LA	0,65	0,60	0,70	0,65

Tableau 3 : Taux de détection de l'observateur selon la date de réalisation du test (n est le nombre de leurres déposés pour chacun des deux observateurs)

3.2. Taux de disparition des cadavres et temps de séjour moyen (estimation de t_m)

Les cadavres de cailles, placés sur le terrain, ont généralement très vite disparu ; leur taux de disparition varie entre 50,0 % (juillet) et 90,9 % (mars-avril) le premier jour suivant leur dépôt (figure 6).

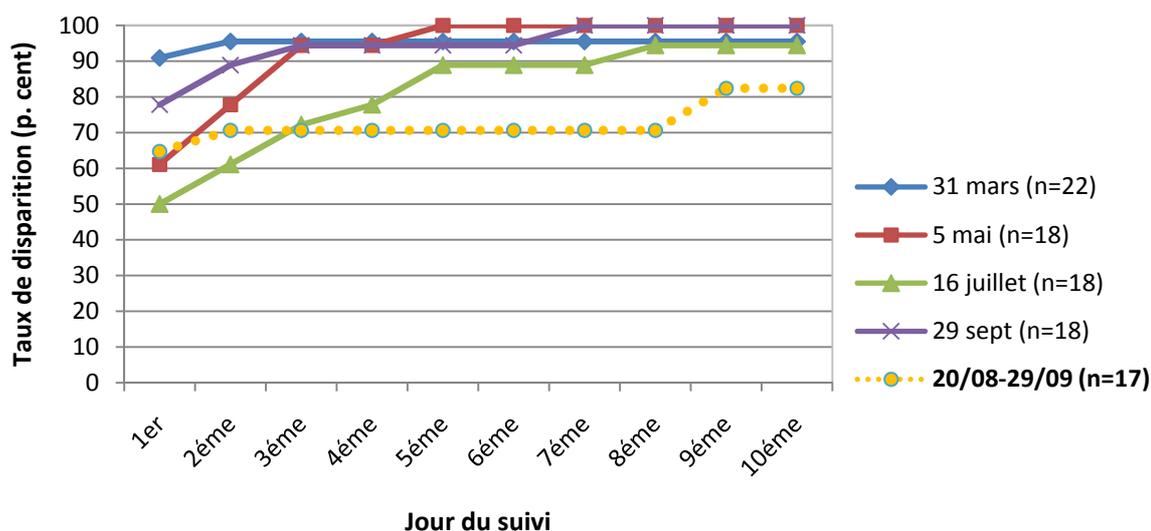


Figure 6 : Evolution du taux de disparition (en pourcentage) selon la date de dépôt des cadavres de cailles pour 10 jours de suivi (n = le nombre de cadavres déposés).

La courbe en pointillés jaunes illustre l'évolution du taux de disparition des 17 chauves-souris trouvées mortes sous les éoliennes entre le 20 août et le 29 septembre et dont les cadavres ont été suivis jusqu'à leur complète disparition.

Si la plupart des cadavres ont disparu très rapidement, certains sont restés visibles pendant des semaines (1 cadavre déposé au niveau de l'éolienne 6, le 31 mars, 1 autre, déposé sous l'éolienne 3, le 16 juillet).

Finalement, le temps moyen de séjour des cadavres sur le terrain, particulièrement faible en début et fin de saison, est le plus souvent inférieur à 1 jour (tableau 4).

Date de dépôt	31 mars	5 mai	16 juil.	29 sept.
Suivi	(n = 22)	(n = 18)	(n = 18)	(n = 18)
Sur 3 jours	0,18 (4,5)	0,67 (5,6)	1,17 (27,8)	0,39 (5,6)
Sur 7 jours	0,36 (4,5)	0,72 (0,0)	1,72 (11,1)	0,56 (0,0)

Tableau 4 : Valeur du temps moyen de séjour des cadavres de cailles déposés sur le terrain (t_m) selon la date de leur dépôt et la durée du suivi (n est le nombre d'individus déposés). Entre parenthèses : proportion (en pourcentage) du nombre d'individus retrouvés au bout de 3 et 7 jours.

Les 17 chauves-souris, trouvées mortes sous les éoliennes entre le 20 août et le 29 septembre et dont les cadavres ont été suivis, ont également vite disparu dans leur ensemble : 64,7% d'entre elles avaient disparu dans les 24 heures suivant leur découverte³. En revanche, par rapport aux cadavres de cailles, leur taux de disparition tend à croître de manière moins forte et même à se stabiliser les jours suivants (i.e., 70 % de cadavres disparus au 3^{ème} et 7^{ème} jour) (figure 6).

Les cadavres qui n'ont pas été emportés ou consommés sur place (vraisemblablement par des vertébrés) dès le lendemain ou le surlendemain de leur découverte ont été attaqués par des insectes (guêpes, fourmis, larves de mouches, différentes espèces de coléoptères, etc.) (figure 7, A). Leur état s'est alors très vite détérioré ; pour les 5 chauves-souris qui ont pu être suivies sur une longue période, il ne restait que le squelette et un peu de peau au bout de 1 à 6 jours ($m = 3,0 \pm 1,9$ j) et seulement le squelette des bras au bout de 2 à 7 jours ($m = 4,4 \pm 2,1$ j) indiscernable au milieu de la végétation (figure 7, B-C-D).

³ L'une d'entre elle a disparu en moins de quatre heures après sa découverte (le 10 septembre, éolienne 2).



Figure 7 : Une pipistrelle pygmée trouvée sous l'éolienne 7, le 2 septembre, attaquée par des guêpes (A). Une seconde pipistrelle pygmée découverte intacte le 26 août, sous l'éolienne 2 (B) ; le 29 août, il ne restait que le squelette et un peu de peau (C) et le 30, uniquement le squelette des bras (D)

Pour ces 17 cadavres, le temps de séjour moyen est égal à 0,94 jour pour 3 jours de suivi et à 2,12 jours pour 7 jours. Pour faciliter la comparaison avec les résultats obtenus lors des tests, il est possible de séparer les 4 individus trouvés le 29 septembre - et pour lesquels le suivi a été réalisé dans le même temps que celui du 4^{ème} test - des 13 autres découverts entre le 20 août et le 10 septembre. Pour les 4 individus, t_m est nul (i.e., aucun de ces individus n'a été retrouvé le lendemain de leur découverte) mais l'interprétation de ce résultat doit être réalisée avec prudence compte tenu de la faible taille de l'échantillon. Pour les 13 autres individus, t_m est égal à 1,23 jour pour 3 jours de suivi et à 2,77 jours pour 7 jours, ce qui est assez peu différent des résultats obtenus lors du test de juillet.

Quoi qu'il en soit, la vitesse de disparition des cadavres (de cailles ou de chauves-souris) est très élevée et est due à la présence d'une faune nécrophage riche et abondante sur le site : les Corvidés et le Milan noir notamment, chez les oiseaux, le Renard roux, le Hérisson d'Europe et diverses espèces de rongeurs, chez les mammifères, de nombreuses espèces d'insectes (voir ci-dessus) mais aussi plusieurs espèces de reptiles.

Il faut souligner le rôle vraisemblablement très important des chiens dans la disparition des cadavres, notamment les chiens de berger qui accompagnaient le troupeau de moutons noté sur le site de mi-mars à début juin et à partir de début octobre (i.e., deux chiens de conduite au printemps et à l'automne et d'un Patou uniquement au printemps) et les chiens de chasse présents sur le parc deux fois par semaine à partir du 13 septembre.

3.3. Estimation du nombre effectif de victimes

D'après la formule adaptée de celle préconisée par Erickson *et al.* (2000), le nombre effectif de victimes, calculée sur la base des 103 chauves-souris trouvées entre le 17 mars et le 27 novembre 2009 et en tenant compte des différents facteurs de correction, est estimé à 714 chauves-souris (tableau 5), ce qui correspond à un taux de mortalité de 79,3 individus par éolienne et par an.

L'application de la formule employée par Winkelman (1989) donne des résultats identiques.

Période	Périodicité des contrôles (en jours) [I]	Nombre de chauves-souris trouvées [C]	Proportion de victimes qui restent entre deux contrôles (en %) [x] (1)	Temps de séjour moyen des cadavres (en jour) [t _m] (2)	Taux d'efficacité de l'observateur [p] (3)	Facteur correctif de surface	Nombre effectif de victimes estimé
17 mars – 15 mai							
17 mars - 5 mai	3	2	0,9	0,18	0,80 (SC)	1,03	42,49
	3	2	1,6	0,18	0,65 (LA)	1,03	52,03
6 mai – 15 mai	3	2	1,1	0,67	0,80	1,03	11,41
16 mai – 31 juillet							
16 mai – 9 juin	7	5	0,0	0,72	0,60	1,03	83,45
10 juin – 5 juil.	7	2	4,4	1,72	0,60	1,03	13,34
6 juil. – 31 juil.	7	26	3,3	1,72	0,70	1,00	146,16
1^{er} août – 30 sept.							
1 ^{er} août – 15 août	7	9	3,3	1,72	0,70	1,00	50,58
16 août – 12 sept.	3	42	8,3	1,17	0,70	1,00	141,03
13 sept. – 30 sept.	3	10	2,0	0,39	0,65	1,00	115,98
1^{er} oct. – 27 nov.							
1 ^{er} oct. – 27 nov.	7	3	0,0	0,56	0,65	1,00	57,69
TOTAL		103					714,16

Tableau 5 : Estimation du nombre effectif de victimes calculée sur la base des 103 chauves-souris trouvées entre le 17 mars et le 27 novembre 2009 et en tenant compte des différents facteurs de correction.

(1) Calculée à partir de la proportion du nombre de cadavres encore présents au bout de 3 ou 7 jours et de la proportion du nombre d'individus non découverts par l'observateur.

(2) Les résultats du 3^{ème} test, réalisé courant juillet, sont appliqués aux chiffres obtenus dès le 10 juin, date à partir de laquelle les chiens de berger ne sont plus notés sur le parc. Ceux du 4^{ème} test, réalisé fin septembre-début octobre, sont appliqués aux chiffres obtenus dès le 13

septembre, date à partir de laquelle des chiens de chasse sont régulièrement observés sur le site.

(3) Les périodes pendant lesquelles sont appliquées les différentes valeurs obtenues lors des tests dépendent non seulement de la date de réalisation des tests (31 mars, 15 mai, 10 août, 30 octobre) mais aussi de l'importance constatée de la couverture végétale, c'est-à-dire forte de mi-mai à début juillet, faible de début juillet à mi-septembre et modérée entre mi-mars et mi-mai et entre mi-septembre et fin novembre.

4. Les oiseaux

15 cadavres d'oiseaux ont été trouvés sous les éoliennes du Mas de Leuze entre le 17 mars et le 27 novembre 2009 dont une majorité en avril, juin et juillet.

Parmi les 7 espèces concernées, deux constituent 60 % du nombre total de cadavres : le Milan noir et le Martinet noir avec respectivement 26,7% et 33,3% des individus trouvés (tableau 6).

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Total	P. cent
Héron garde-bœufs	-	-	-	(1)	-	-	-	-	-	1	6,7
Canard colvert	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	6,7
Milan noir	-	1	-	2	-	1	-	-	-	4	26,7
Perdrix rouge	-	(1)	-	-	-	-	-	-	(1)	2	13,3
Martinet noir	-	-	-	1	4	-	-	-	-	5	33,3
Hirondelle rustique	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	6,7
Corneille noire	-	(1)	-	-	-	-	-	-	-	1	6,7
Total	0	4	0	4	4	1	1	0	1	15	100,0
P. cent	0	26,7	0	26,7	26,7	6,7	6,7	0	6,7	100	

Tableau 6 : Nombre d'oiseaux trouvés morts sous les éoliennes du Mas de Leuze entre le 17 mars et le 27 novembre 2009 selon l'espèce et le mois (entre parenthèses : victimes possibles mais non certaines des éoliennes)



Martinet noir trouvé le 9 juin
sous l'éolienne 7



Hirondelle rustique trouvée le 5 septembre
sous l'éolienne 6

Figure 8 : Deux des quinze individus découverts morts sous les éoliennes du parc éolien du Mas de Leuze entre le 17 mars et le 27 novembre 2009.

Plus de la moitié des oiseaux ont été trouvés au niveau des trois éoliennes situées au nord du parc (éoliennes 7 à 9) (figure 9).

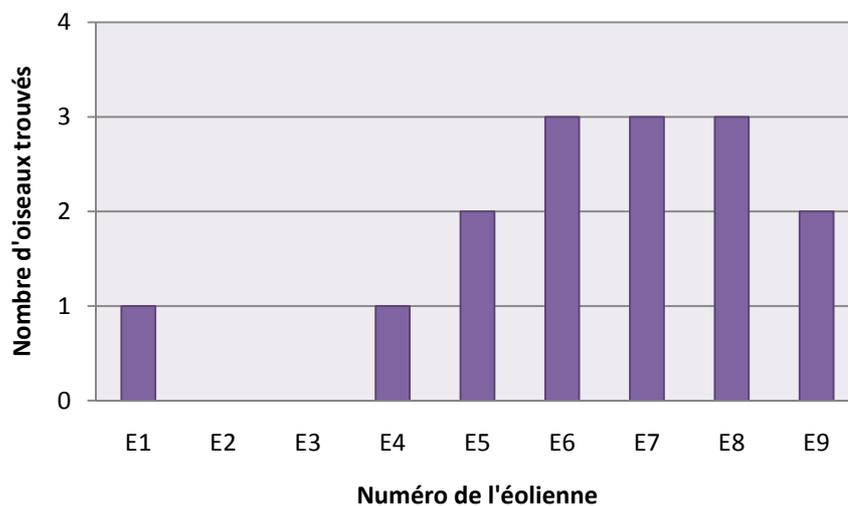


Figure 9 : Nombre de cadavres d'oiseaux découverts selon le numéro de l'éolienne

III. DISCUSSION

1. Nombre de chauves-souris victimes des éoliennes

1.1. Nombre d'individus trouvés

Le nombre d'individus découverts sous les éoliennes du Mas de Leuze est particulièrement élevé.

La comparaison avec des études similaires effectuées sur d'autre parc éolien 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 obtenus (tableau 7).

Site	Période d'étude	Périodicité des contrôles	Nombre d'éoliennes échantillonnées	Nombre d'individus trouvés	Références
Mas de Leuze	17 mars-27 nov. 2009	3 ou 7 jours	9	103	Cette étude
Bouin (France)	2004	7 jours	8	25	Dulac 2008
Bouin (France)	2005	7 jours	8	21	Dulac 2008
Bouin (France)	2006	7 jours	8	16	Dulac 2008
District de Fribourg (Allemagne)	Fin juillet-fin oct. 2004	5 jours	16	40	Brinkmann <i>et al.</i> 2006
District de Fribourg (Allemagne)	Début avril-mi-mai et mi-juillet-mi-oct. 2005	5 jours	8	10	Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Buffalo Mountain Windfarm (Etats-Unis)	1 ^{er} avril-31 déc. 2005	7 jours sauf en déc. (15 j) et du 23 août au 13 sept. (2-5 j)	18	243	Fiedler <i>et al.</i> 2007

Tableau 7 : 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 103 individus découverts au Mas de Leuze est toujours nettement supérieur à ceux obtenus à Bouin (nombre comparable d'éoliennes mais fréquence des contrôles plus faible). Il en est de même si l'on se réfère au nombre d'individus trouvés sous les éoliennes du district de Fribourg pour lesquelles, le chiffre de 2004 était alors le chiffre le plus important enregistré en Allemagne (Brinkmann *et al.* 2006) (nombre d'éoliennes deux fois plus élevé mais durée du suivi plus court). Ramené au même nombre d'éoliennes, le résultat de notre

étude est peu éloigné de celui obtenu pour le parc éolien de Buffalo Mountain qui présente, pour les chauves-souris, le taux de mortalité le plus élevé des Etats-Unis selon les données de la littérature consultée (durée du suivi et fréquence des contrôles comparables).

1.2. Facteurs de correction

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.

Le taux de disparition des demi-cailles, déposées pour la réalisation des tests, est très élevé sur le site du Mas de Leuze puisque, selon la saison, 50 à 91 % des cadavres ont disparu dès le premier jour ; au bout de 3 jours, c'est 72 à 96 % d'entre eux et au bout de 7 jours de suivi, 89 à 100 %.

Brinkmann *et al.* (2006) qui ont utilisé des souris de laboratoire obtiennent, avec 16 %, un taux de disparition beaucoup plus faible le premier jour du suivi ; ensuite l'écart tend à se resserrer : 62 % au 3^{ème} jour et 94 % au 7^{ème} jour.

Leuzinger *et al.* (2008), qui ont employé des demi-campagnols, ont estimé à 45 % le taux de disparition au 1^{er} jour ; il serait de plus de 80 % au 3^{ème} jour et près de 100 % au 7^{ème} jour.

Le taux de disparition de cadavres frais de chauves-souris sur les sites éoliens de Mountainer et de Meyersdale aux Etats-Unis est respectivement de 24 et 3 % au cours des 24 premières heures (Arnett 2005) ; sur le Mas de Leuze, 65 % des chauves-souris laissées sur place avaient disparu dans le même laps de temps.

On note que le taux de disparition est très différent d'une étude à l'autre et qu'il pourrait être moins lié au type de cadavres employé pour la réalisation des tests qu'aux caractéristiques du site en termes de composition spécifique et d'abondance de la faune nécrophage ainsi que de structure du milieu dont pourrait dépendre la disponibilité des cadavres (milieu ouvert vs milieu fermé).

En ce qui concerne la validité des tests réalisés au moyen des cailles dans cette étude, les résultats acquis sont à rapprocher de ceux obtenus avec les chauves-souris laissées sur place. Pour la période concernée, les valeurs de t_m calculés à partir des cadavres de cailles et de chauves-souris sont assez peu différentes. On note toutefois un temps de séjour moyen un peu plus grand avec ces dernières. Dans le cas où ce résultat serait généralisable à l'ensemble du suivi, les différentes valeurs de t_m pourraient être sous estimés par rapport à la réalité.

Pour obtenir des temps de séjour les plus fiables possibles, il serait bien de laisser et de suivre toutes les chauves-souris découvertes sous les éoliennes pendant la totalité de la période de

l'étude. Cette façon de pratiquer présenterait deux inconvénients majeurs : le premier serait d'avoir, à certaines périodes du suivi, des échantillons de trop faible taille pour autoriser la généralisation des données collectées (cas du début de saison) ; le second serait une perte d'informations, notamment en ce qui concerne l'origine de la mort des individus, puisque les cadavres trouvés ne pourraient pas être soumis à des analyses ultérieures en laboratoire.

1.3. Résultats de l'estimation

Selon les données de la littérature consultée, le taux de mortalité estimé de 79 victimes par éolienne et par an, s'avère être un chiffre très élevé (tableau 8).

Site	Période d'étude	Nombre de victimes/ éolienne/an ou nombre de victimes/éolienne pour la période d'étude*	Références
Buffalo Ridge, MN P1 (Etats-Unis)	1999	0,07	Erickson <i>et al.</i> 2002
Vansycle, OR (Etats-Unis)	1999	0,74	Erickson <i>et al.</i> 2002
Foot Creek Rim, WY (Etats-Unis)	1998 - 2001	1,04	Erickson <i>et al.</i> 2002
Stateline Wind Proj. (Etats-Unis)	2002 - 2003	1,12	Western Ecosystems Technology, Inc. et Northwest Wildlife Consultants, Inc. 2004
Buffalo Ridge, MN P2 (Etats-Unis)	1998 - 2001	2,02	Erickson <i>et al.</i> 2002
Buffalo Ridge, MN P3 (Etats-Unis)	1999 - 2001	2,32	Erickson <i>et al.</i> 2002
Nine Canyon (Etats-Unis)	09/2002 – 08/2003	3,21	Erickson <i>et al.</i> 2003
Steinberg (Autriche)	09/2003 – 09/2004	5,33	Traxler <i>et al.</i> 2004 in Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Top of Iowa (Etats-Unis)	15/04 – 15/12/2003	5,91*	Koford <i>et al.</i> 2005 in Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Bouin (France)	2006	6,0 à 9,3	Dulac 2008
Prellenkirchen (Autriche)	09/2003 – 09/2004	8,00	Traxler <i>et al.</i> 2004 in Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Cantons de Berne et de Lucerne (Suisse)	06 – 10/2007	8,2	Leuzinger 2008
Top of Iowa (Etats-Unis)	24/03 – 15/12/2004	10,17	Koford <i>et al.</i> 2005 in Brinkmann <i>et al.</i> 2006
District de Fribourg (Allemagne)	Début 04 – mi-05 et mi-07 – mi-10/2005	11,8*	Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Navarre (Espagne)	03/2000 – 03/2001	13,3	Lekuona 2001
Bouin (France)	2004	20,3 à 21,6	Dulac 2008
Buffalo Mountain Windfarm, TN (Etats-Unis)	09/2000 – 09/2003	20,8	Fiedler <i>et al.</i> 2007
District de Fribourg (Allemagne)	fin 07 – fin 10/2004	20,9*	Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Bouin (France)	2005	21,5 à 26,7	Dulac 2008
Meyersdale, P (Etats-Unis)	31/07 – 11/09/2004	25*	Kerns <i>et al.</i> 2005 in Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Mountaineer, WV (Etats-Unis)	31/07 – 11/09/2004	38*	Kerns <i>et al.</i> 2005 in Brinkmann <i>et al.</i> 2006
Mountainer, WV (Etats-Unis)	04/04 – 11/11/2003	47,5	Kerns et Kerlinger 2004
Buffalo Mountain Windfarm, TN (Etats-Unis)	04 – 12/2005	63,9	Fiedler <i>et al.</i> 2007

Tableau 8 : Taux de mortalité estimé des Chiroptères (exprimé en nombre de victimes par éolienne et par an ou, pour les valeurs marquées d'un astérisque, en nombre de victimes par éolienne pour la période d'étude) pour différents parcs nord-américains et européens par ordre croissant d'importance.

Dans toutes les études citées, le calcul de l'estimation prend en compte la vitesse de disparition des cadavres, la capacité de l'observateur à les détecter et éventuellement la surface lorsque les prospections n'ont pu porter que sur une fraction de l'aire de recherche théorique.

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 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.

2. Répartition saisonnière de l'importance 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 2008).

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'ajoute des jeunes dans le courant du mois de juillet, au moment de la phase de dispersion des colonies.

3. Résultats selon l'éolienne

Il est difficile de tirer une conclusion des différences observées dans le nombre de victimes découvertes selon l'éolienne.

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.

4. Comparaison avec les résultats de 2008

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. En 2009, les recherches effectuées sous ces machines, pendant la même période et au moyen d'un protocole identique, nous ont permis de découvrir 17 chauves-souris. Si nous extrapolons l'un et l'autre de ces deux résultats à l'ensemble des éoliennes du parc, nous obtenons 27 victimes pour 2008 et 51 pour 2009 (ce dernier chiffre étant, par ailleurs, quasiment le total des individus effectivement trouvés sous les 9 éoliennes au cours de cette période en 2009, $n = 52$). Plusieurs raisons peuvent expliquer cet écart :

- les victimes étaient réparties de manière différente sur le parc en 2008 et 2009 (i.e., une proportion beaucoup moins grande de victimes sous les éoliennes 3, 6 et 8 en 2008 qu'en 2009),
- l'efficacité de l'observateur était moindre et/ou la vitesse de disparition des cadavres était plus grande en 2008 qu'en 2009,
- l'importance de la mortalité des chauves-souris sur le Mas de Leuze était plus basse en 2008 qu'en 2009, au moins pendant cette période.

La première hypothèse ne peut être écartée ; en revanche, la deuxième ne peut vraisemblablement pas expliquer l'écart observé puisque la valeur du coefficient multiplicateur inhérent aux deux paramètres considérés obtenue lors des tests est du même ordre en 2008 qu'en 2009 (respectivement, 1,5 et 1,6) ; quant à la troisième hypothèse, elle est tout à fait plausible puisque d'autres études similaires ont montré que le nombre de victimes pouvait varier fortement d'une année à l'autre (par exemple, Brinkmann *et al.* 2006, Dulac 2008). En 2008, une mortalité plus faible, **pendant cette période**, pourrait être associée à une moindre fréquentation du site par les Chiroptères, elle-même en relation à des conditions météorologiques (température et vent, notamment) différentes de celle de 2009.

Si l'on considère les résultats de l'estimation, la proportion d'individus victimes des éoliennes pendant cette période serait de l'ordre de 35 % en 2009, ce qui est assez nettement en-dessous de la valeur de la borne inférieure de l'intervalle (45 % à 80 %) utilisé dans l'étude de 2008 pour déterminer par extrapolation, à partir des données de la littérature, l'importance de la mortalité des chauves-souris sur un cycle complet d'activité (AVES environnement et GCP 2008). Cela pourrait signifier que l'importance de la mortalité des Chiroptères sur le Mas de Leuze serait relativement dispersée dans le temps avec, notamment, des valeurs assez élevée en juillet et non négligeables d'avril à juin.

5. Espèces concernées, protections et statuts de menace et de conservation

Statuts de protection

Toutes les espèces de chiroptères sont protégée en droit français. L'arrêté du 27 avril 2007 protège les individus et les gîtes de reproduction ainsi que tout espace réputé nécessaire à la reproduction.

Nom français	Convention de Berne (annexe)	Convention de Bonn (annexe)	Directive Habitats-Faune-Flore (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

Statut de menaces

Deux espèces sont considérées comme quasi-menacées : la noctule de Leisler et la pipistrelle de Nathusius.

Nom français	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 échanquées	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

Légende Liste rouge : CR (en danger critique d'extinction), EN (en danger), VU (vulnérable), NT (quasi menacée), LC (préoccupation mineure), DD (Données insuffisantes), NA (non applicable)

Rareté et enjeu locaux

Localement en paca et dans les bouches-du-Rhône, les enjeux régionaux de conservation sont fort à très faible pour les espèces considérées.

Tableau du livre Arthur & Lemaire 2009 actualisé en déc 2009 par le GCP (E Cosson, T Stoecklé, G Kapfer) avec les dernières données BDD GCP 2009

Espèce	Enjeu Régional	B. du Rhône	Var	Alp Mar	Vaucluse	Alp Hte Prov	Htes Alpes
<i>M. emarginatus</i>	F						
<i>N. leisleri</i>	M						
<i>P. nathusii</i>	M						
<i>P. pygmaeus</i>	M						
<i>E. serotinus</i>	f						
<i>T. teniotis</i>	f						
<i>P. pipistrellus</i>	tf						
<i>P. kuhlii</i>	tf						

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	absente

La présence du Murin à oreilles échancrées démontre à lui seul la menace de l'impact éolien. La grande quantité de femelles des espèces les plus fréquentes localement interroge. En effet, ces machines affectent la reproduction des espèces locales.

6. Type de vol, causes de la mort et proportions des sexes

La majorité des individus découverts appartiennent à des espèces pouvant pratiquer de haut vol en milieu ouvert. Le Murin à oreilles échancrées quand à lui n'est pas connu pour pratiquer des vols en altitude. Soit cette donnée témoigne de nos connaissances limitées sur le comportement des chiroptères, soit l'animal attiré par la machine est monté le long du mât et a été tué à cette occasion. La faible distance au mât lors de sa découverte au sol plaide pour cette dernière hypothèse (8,4m). 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.

Les causes de la mort sur Leuze sont des chocs directs de pression, mais évaluer la fréquence reste difficile. Très certainement le barotraumatisme est prépondérant pour expliquer la mortalité.

Peu de fractures ont été lises en évidence.

PERSPECTIVES

Les résultats partiels obtenus en 2008 et ceux, beaucoup plus complets, acquis en 2009, montrent que l'importance de la mortalité des chauves-souris engendrée par les éoliennes du parc du Mas de Leuze est très élevée.

Face à ce constat, deux problèmes se posent :

- celui des effets dommageables du parc sur l'importance des populations (locales ?) de Chiroptères dont on connaît le niveau de fragilité, voire de vulnérabilité pour certaines d'entre elles ;
- celui de la destruction d'espèces protégées par la loi aussi bien au niveau national qu'au niveau européen.

Des situations sensiblement similaires observées sur des parcs nord-américains ont conduit les chercheurs à étudier des solutions visant à réduire la mortalité due aux éoliennes.

Une première solution consiste à tenter de dissuader les individus de voler dans la zone balayée par les pâles. Cette voie semble d'autant plus intéressante à explorer que les Chiroptères paraissent être attirés par les éoliennes. Cependant, les premières études menées aux Etats-Unis utilisant des méthodes de dissuasion acoustique donnent, pour le moment, des résultats mitigés (Horn *et al.* 2008, Szewczak et Arnett 2006, Szewczak et Arnett 2008).

Une seconde solution repose sur la limitation du fonctionnement des éoliennes lorsque le risque pour les chauves-souris d'en être victimes est le plus élevé. Les études réalisées sur les relations entre la mortalité des chiroptères engendrée par les éoliennes et les conditions météorologiques ont montré que la plupart des individus sont tués pendant les nuits au cours desquelles la vitesse du vent est faible, i.e., < 6 m/s (Arnett *et al.* 2008). Réduire le fonctionnement des éoliennes pendant les nuits peu ventées, aux heures de fortes activités des individus (début et fin de nuit, notamment) et durant la période de l'année où le risque pour les Chiroptères est le plus grand, pourrait diminuer de manière conséquente l'importance de la mortalité des chauves-souris.

Les rares études réalisées sur cette problématique donnent des résultats plutôt encourageants (Arnett *et al.* 2009, Baerwald *et al.* 2009) ; les auteurs ont montré qu'une légère augmentation du seuil de déclenchement du démarrage des pâles à une vitesse de vent supérieur à ce qu'elle est normalement pour les éoliennes actuellement installées (i.e., 5 m/s et 6,5 m/s pour les uns et 5,5 m/s pour les autres au lieu de 3,5-4 m/s) entraînait une forte diminution de l'importance de la mortalité des chauves-souris (i.e., de 56 à 92 % pour les uns et 60 % pour les autres). Ces études ont également montré que ces modifications de fonctionnement des éoliennes n'entraînaient qu'une faible perte dans la production annuelle d'électricité (1 % au maximum pour Arnett *et al.* 2009).

Suite à ces premiers résultats, une modification du fonctionnement des éoliennes pour réduire le niveau de mortalité des chauves-souris sur le Mas de Leuze pourrait être envisagée au moins à titre expérimental. La mise au point de cette méthode pourrait se faire en deux temps :

➤ La première année

- Mise en relation de certains paramètres météorologiques (notamment, la vitesse du vent) avec l'importance de la fréquentation du site par les chauves-souris et plus particulièrement de la zone balayée par les pâles : surveillance acoustique (utilisation de détecteurs et d'enregistreurs d'ultrasons) et visuelle (enregistrement d'images infrarouge) ;
- Mise en relation de l'importance de la fréquentation avec celle de mortalité (recherche de victimes sous les éoliennes et enregistrement d'images infrarouge) ;
- Modélisation de la modification de fonctionnement des machines et évaluation de la perte de production d'électricité.

➤ La deuxième année :

- Modification du fonctionnement de certaines éoliennes selon les résultats obtenus la première année ;

- Comparaison de l'importance de la mortalité enregistré sous ces éoliennes et les machines au fonctionnement non modifié (suivi de la mortalité : recherche sous les éoliennes et enregistrement d'images infrarouge).

L'étude pourrait se faire sur une période de courte durée (août-septembre) et ne concerner qu'un nombre restreint d'éoliennes. En revanche, il serait bien d'envisager, pour la recherche des victimes, la réalisation d'un contrôle quotidien afin de limiter au minimum le niveau d'incertitude.

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSON R.L., DAVIS H., KENDALL W., MAYER L.S., MORRISON M., SINCLAIR K., STRICKLAND D. et UGORETZ S.L. (1997). Standart 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.

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.

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.

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.

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).

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.

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.

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.

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.

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. Direccion General de Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, Ordonacion del Territorio y vivienda, Gobierno de Navarra. 147 p.

LEUZINGER Y., LUGON A. et BONTADINA F. (2008). Eoliennes en Suisse, mortalité de chauves-souris. Natura biologie appliquée. 34 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. EUROBATS Publication Series N°3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 55 pp.

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.