



COMUNI DI ASCOLI SATRIANO,
CASTELLUCCIO DEI SAURI E ORDONA
PROVINCIA DI FOGGIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO
Numero aerogeneratori: 56

Richiesta Autorizzazione Unica
Dlgs. 387/2003

Procedura di valutazione di
impatto ambientale (VIA)

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO

PEGASO

DITTA

VITTORIA srl

AE 04

Titolo dell'allegato:

INDAGINE E VALUTAZIONE SUI CHIROTTERI

Pagg. 23+All.

REV	DESCRIZIONE	DATA
0	EMISSIONE	08/07/2013
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

Nome del file: PEGASO - AE04 - Indagine e valutazione sui chiroterri - Rev0.doc

Il proponente:

VITTORIA srl
P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
0882/393197
vittoriasrl@legalpec.net

Il progettista:

ATS Engineering srl
P.zza Giovanni Paolo II, 8
71017 Torremaggiore (FG)
0882/393197
atseng@pec.it
ISO 9001-2008

Il tecnico:

Ing. Eugenio Di Gianvito
atsing@atsing.eu

Il Naturalista:
OIKOS e degli
del Dott. Nat. LAURENTI
Lorenzo
Lorenzo laureato
PLACQUADRO
n° 160
FOGGIA



INDICE

INTRODUZIONE

MATERIALI E METODI

ANALISI DEL PAESAGGIO

RICERCA DEI RIFUGI

REGISTRAZIONI AL BAT DETECTOR

RISULTATI E COMMENTI

ANALISI DEL PAESAGGIO

RICERCA DEI RIFUGI

RILIEVI A TERRA

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI DEI SINGOLI AEROGENERATORI

MISURA DI MITIGAZIONE

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

ALLEGATI

- Carta della localizzazione dei contatti registrati durante i transetti
- Sistema di mitigazione degli impatti diretti sui chiroterteri CHIROTECH

INTRODUZIONE

L'energia eolica può rappresentare una fonte rinnovabile integrativa e potenzialmente interessante per il futuro energetico del Paese e potrebbe contribuire alla riduzione delle emissioni di CO₂ e degli inquinanti legati alla combustione degli idrocarburi.

Un aspetto fondamentale del concetto di "fonte rinnovabile" è che la sua accezione deve essere allargata a tutti gli aspetti biologici ed ecologici connessi con l'utilizzo del mezzo aereo, in quanto parte integrante e fondamentale dell'habitat di organismi vegetali e animali. Sappiamo che lo sfruttamento eolico a fini energetici può comportare per i chiroterri collisioni spesso mortali con le pale rotanti, come è stato evidenziato da numerosi studi svolti in Europa (Rodrigues et al., 2008).

Nella valutazione dei costi-benefici di un nuovo impianto occorre quindi considerare i costi ambientali da sostenere sia nella fase di installazione che di esercizio degli impianti eolici industriali. Per quanto riguarda i Chiroterri occorre tenere conto non solo delle potenziali collisioni, ma anche degli effetti della frammentazione degli habitat, dell'aumento del disturbo antropico e della modifica dell'ecologia alimentare della Chiroterro fauna dell'area.

Fin dagli inizi degli anni novanta del secolo scorso, con l'emergere delle prime evidenze sull'impatto generato dalle turbine eoliche sull'avifauna, il mondo scientifico, e Chiroterro fauna²co, ha rivolto sempre

maggiore attenzione al gruppo dei chiroterri, mammiferi che, per la loro peculiarità di spostarsi e alimentarsi in volo, sono potenzialmente esposti ad impatti analoghi a quelli verificati sugli uccelli. I primi lavori scientifici pubblicati in Europa risalgono al 1999 (Bach *et al.* 1999, Rahmel *et al.* 1999), poco dopo, Johnson *et al.* (2000) riportavano i primi dati per gli Stati Uniti d'America, evidenziando come, in più occasioni, il numero di chiroterri morti a causa di collisioni con le pale superasse quello degli uccelli.

Negli ultimi anni, con la straordinaria diffusione degli impianti eolici, sono stati realizzati numerosi studi di questo tipo, molti dei quali hanno messo in evidenza la presenza di impatti significativi, con il ritrovamento di molti soggetti morti a seguito di collisioni con le pale eoliche, soprattutto durante il periodo della migrazione (per l'Europa, cfr. Brinkmann *et al.* 2006, Rodrigues *et al.* 2008, Rydell *et al.* 2010; per gli USA cfr. Johnson *et al.* 2004, GAO 2005, Fiedler *et al.* 2007). L'entità dell'impatto risulta correlata con la densità di chiroterri presenti nell'area e mostra comunque una certa variabilità (Rodrigues *et al.* 2008).

Come nel caso degli uccelli, anche per i chiroterri, due sono i possibili impatti generati dalla presenza di un impianto eolico: un impatto di tipo diretto, connesso alla probabilità di collisione

con le pale, e uno di tipo indiretto, legato alle modificazioni indotte sull'habitat di queste specie.

Nella tabella che segue vengono riassunti, per i due casi sopra menzionati, l'entità dei possibili impatti, trattati considerando separatamente i due periodi di attività dei chiroteri (Rodrigues *et al.* 2008): quello estivo, comprendente la nascita dei piccoli e l'accoppiamento, e il periodo migratorio.

Tipo di impatto	Entità dell'impatto	
	Periodo estivo	Migrazione
<i>Indiretto</i>		
Perdita o modificazione di ambienti di foraggiamento causata dalla costruzione dell'impianto, comprese infrastrutture accessorie	Medio-bassa entità, dipende comunque dal sito e dalle specie presenti	Bassa
Perdita o modificazione di ambienti utilizzati come colonie o roost causata dalla costruzione dell'impianto, comprese infrastrutture accessorie	Probabilmente alta o molto alta, dipende comunque dal sito e dalle specie presenti	Alta o molto alta
<i>Diretto</i>		
Produzione di ultrasuoni da parte delle pale in movimento con possibile effetto di richiamo sulle specie che frequentano l'area	Probabilmente limitata	Probabilmente limitata
Cambiamenti nell'uso dell'habitat indotti dalla presenza degli aerogeneratori	Medio-alta	Probabilmente bassa durante il periodo primaverile, medio-alta durante il periodo autunnale
Perdita o spostamento dei corridoi preferenziali per lo spostamento	Media	Bassa
Collisione con le pale	Variabile, da bassa a alta, dipende comunque dalle specie	Alta o molto alta

Numerose sono le ipotesi avanzate per spiegare i motivi per cui avvengono le collisioni (per una review cfr. Kunz *et al.* 2007):

1. è stato ipotizzato che gli 3chiroterro fauna attraggono, soprattutto durante la migrazione, quelle specie che cercano negli alberi i rifugi in cui passare le ore del giorno. Strutture come le turbine eoliche, in particolare i modelli più alti, sembrerebbero quindi, agli occhi dei pipistrelli, costituire delle valide alternative agli alberi (Ahlen 2003, von Hensen 2004). Osservazioni analoghe sono state condotte anche in prossimità di torri o ripetitori, strutture che, per la loro altezza, spiccano prepotentemente nel paesaggio circostante;
2. come descritto nel punto precedente, gli aerogeneratori potrebbero attrarre i pipistrelli anche durante la fase dell'accoppiamento che, almeno nelle specie che migrano, avvengono durante la migrazione o nei quartieri di svernamento (Cryan 2008). Le turbine apparirebbero agli occhi dei pipistrelli come dei grossi alberi e quindi potenzialmente ricchi di cavità e fessure dove accoppiarsi;
3. le aree immediatamente prospicienti gli aerogeneratori, in seguito ai lavori di costruzione dell'impianto stesso, potrebbero divenire ottime aree di foraggiamento per i pipistrelli; è stato

infatti verificato come, solo per citare un esempio, a seguito dell'eliminazione di alberi con conseguente formazione di radure, si creino condizioni favorevoli alla presenza di elevate concentrazioni di insetti volanti (Grindal & Brigham 1998). Una maggiore presenza di prede sarebbe inoltre da ricollegarsi alla dispersione di calore generata dalle turbine, che raggiungono temperature più elevate rispetto all'aria circostante, richiamando molti più insetti e potenzialmente, chiroterri in caccia (Ahlen 2003);

4. le pale eoliche potrebbero attrarre i pipistrelli grazie all'emissione di ultrasuoni, aumentando di fatto la probabilità che questi animali entrino in collisione con le pale in movimento. Questa possibilità è stata ampiamente studiata, soprattutto in America, dove tuttavia, in un recente lavoro, Szewczak & Arnett (2006) sembrano escludere la presenza di un impatto significativo, poiché l'effetto sarebbe limitato all'area immediatamente prossima alle pale, e quindi con una ridotta capacità attrattiva su questi animali, limitata al più ai soggetti che già gravitano attorno a queste strutture;

5. esistono inoltre altre ipotesi legate alla possibilità che i chiroterri vengono risucchiati dal vortice di aria prodotto dal movimento rotatorio delle pale (Kunz *et al.* 2007°), o disturbati dalla produzione di campi magnetici, generati dalle pale stesse, che, interagendo con alcuni recettori situati nel corpo dei pipistrelli, andrebbe ad interferire con la loro capacità di percepire l'ambiente circostante, aumentando di fatto la probabilità di collisione (Holland *et al.* 2006). Sembra invece verificato che le luci posizionate sugli aerogeneratori non costituiscano un attrattiva per i chiroterri (Kerlinger *et al.* 2006, Arnett *et al.* 2008).

Questo studio si propone quindi di rilevare la chiroterro fauna presente nell'area e di valutarne la qualità utilizzando i necessari criteri di oggettività, misurabilità e quindi di validità scientifica, con lo scopo di fornire gli strumenti necessari per la corretta valutazione dell'aspetto ecologico perché possa essere conteggiato insieme ai benefici in termini di produzione energetica e riduzione delle emissioni.

MATERIALE E METODI

La scelta delle tecniche di campagna per lo studio della popolazione di Chiroterri di una data area deve sempre tenere conto delle diverse caratteristiche delle specie potenzialmente presenti. Le specie di pipistrelli sinora rilevate in Puglia sono 18 (BUX M., MARSICO A., RUSSO D., SCILLITANI G, 2003) e poiché ognuna di esse possiede abitudini ed esigenze ecologiche peculiari, lo studio deve necessariamente prevedere l'applicazione di diverse metodologie di indagine. Data poi la complessa fenologia di questo gruppo animale, le ricerche devono essere ripetute in stagioni diverse, in modo da ottenere un quadro esaustivo della loro reale frequentazione dell'area di studio.

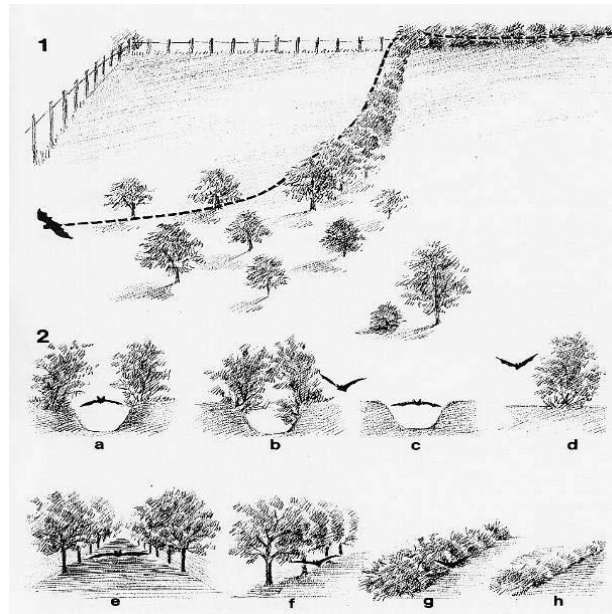
Il protocollo di indagine adottato prevede l'utilizzo di due diverse metodologie di ricerca: analisi del paesaggio, rilievi a terra con il bat-detector e ricerca dei rifugi, durante la stagione riproduttiva. E' stata inoltre consultata la scarsa bibliografia disponibile.

Il programma dei rilievi è stato fatto basandosi sulle indicazioni contenute nelle linee guida per il monitoraggio dei chiroterri elaborate da Eurobats (Rodrigues *et al.* 2008).

CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ PREVISTE DAL PROTOCOLLO DI INDAGINE		
mese	attività	
	rilievi bat detector	ricerca rifugi
giugno		*
luglio	*	*

ANALISI DEL PAESAGGIO

Per una proficua attività di campagna è stato necessario un preventivo studio della topografia dell'area che ha preso in esame la presenza di cavità sotterranee, edifici idonei (case rurali, isolate, con una buona connessione alla vegetazione arborea, in vicinanza di corpi d'acqua, ecc.). Ciò ha permesso un'analisi della struttura del paesaggio per l'individuazione delle potenziali aree di foraggiamento delle specie e dei corridoi utilizzati per l'attraversamento in volo notturno dell'area. In tal modo è stato possibile programmare a tavolino le aree su cui concentrare le ricerche e georeferenziare i punti di interesse per un più efficace riscontro durante i rilievi di campagna.



RICERCA RIFUGI

La ricerca dei rifugi ha comportato la ricerca e l'ispezione di edifici abbandonati nel raggio di 1 km dalla linea dei punti di impianto delle previste torri eoliche.

Gli edifici potenzialmente interessanti per la presenza di chiroteri sono stati individuati da indagini cartografiche e da rilievi di campagna.

REGISTRAZIONI AL BAT DETECTOR

La definizione delle specie di chiroteri in foraggiamento nell'area del previsto impianto eolico e la quantificazione della loro abbondanza, sono state ottenute con l'esecuzione di registrazioni al bat-detector la cui analisi ha poi permesso in molti casi la determinazione delle specie.

Per il monitoraggio, effettuato nell'area compresa in un buffer di 1 km dalla posizione degli aerogeneratori in progetto, è stato utilizzato un bat detector professionale modello ECHO METER EM3, un rilevatore e registratore di ultrasuoni di pipistrelli a tre funzioni (eterodina, divisione di frequenza ed espansione in tempo reale – RTE). Il rilevamento ultracustico è stato condotto nelle ore notturne, da circa mezz'ora dopo il tramonto fino a non oltre le ore 24,00, utilizzando, stante l'omogeneità ambientale, la metodologia del transetto (Parsons *et al.* 2007), percorrendo con un autoveicolo, a bassa velocità (15-20 km/h) una serie di strade precedentemente individuate (per una lunghezza complessiva di 27,3 km), in modo da garantire una copertura il più possibile completa di tutta l'area interessata dall'impianto. I suoni sono stati registrati direttamente dal *bat-detector* ECHO METER EM3 posizionando un

microfono ultrasonico omnidirezionale esterno ad elevata sensibilità (SMX-UT) sul tetto dell'autoveicolo. L'antenna esterna GPS Garmin ha permesso di localizzare i punti di contatto (UTM, WGS 84). I segnali ultrasonori registrati e georeferenziati sono stati successivamente analizzati. E' stato volutamente privilegiato il percorso con autoveicolo, sostanzialmente per due motivi: il primo, di ordine pratico, legato alla possibilità di massimizzare il tempo a disposizione coprendo distanze maggiori, la seconda, di ordine tecnico, come già accennato è legata al problema dei doppi conteggi che nei transetti in macchina è più contenuto anche se comunque presente rispetto ai transetti a piedi (Russo 2004). Percorrendo infatti un transetto a piedi, il rischio di registrare più volte uno stesso esemplare che, ad esempio, caccia proprio lungo la strada, caso non raro soprattutto quando le strade sono affiancate da alberature (Dietz *et al.* 2009), è molto maggiore che percorrendo la stessa strada in macchina perché la maggiore velocità di marcia riduce in maniera significativa questo rischio. Sebbene l'obiettivo di questo studio non sia quello di fornire una stima del numero di individui presenti, quanto più di descrivere la composizione e la struttura del popolamento, è evidente come informazioni sull'abbondanza relativa delle singole specie possano comunque fornire, se non falsate da conteggi multipli ascrivibili ad uno stesso individuo, interessanti indicazioni.

L'identificazione delle specie è sempre avvenuta sulle registrazioni in Real time expansion (RTE), in seguito ad analisi con l'utilizzo di specifico software (BatSound 4.1). I sonogrammi (sia la forma che i parametri misurati) sono stati confrontati con alcuni campioni riportati in letteratura (RUSSO & JONES, 2002; OBRIST *et al.*, 2004) oppure realizzati attraverso le registrazioni contenute in BARATAUD (1996).



Bat detector ECHO METER EM3



Antenna esterna GARMIN



microfono ultrasonico esterno (SMX-UT)



Localizzazione del transetto effettuato durante lo studio; la linea rossa indica il transetto percorso con autoveicolo, i pallini verdi le posizioni degli aerogeneratori in progetto; la linea tratteggiata blu delimita il buffer di 1 km dagli aerogeneratori.

RISULTATI E COMMENTI

ANALISI DEL PAESAGGIO

L'area non si presenta favorevole alla presenza di una 9hirottero fauna di alto valore 9hirottero fauna9co, intesa come quella composta da quelle specie di chiroterri, spesso rare, che sono legate ad un paesaggio di tipo agro-silvo-pastorale. Anche l'area di impatto locale (AIL), intesa come quella dell'impianto definita dai buffer di 1 km dai punti di impianto delle previste torri eoliche, si presenta completamente sfavorevole, caratterizzata com'è dalla esclusiva presenza di campi coltivati. Dalla fine della seconda guerra mondiale, i trattori e le altre macchine agricole hanno consentito la coltivazione rapida di vaste superfici di terreno. Siepi e boschetti residui, divenuti d'intralcio al movimento delle macchine, sono stati progressivamente eliminati, creando ampi spazi aperti che limitano gli spostamenti dei chiroterri (preferiscono volare costeggiando elementi strutturati dell'ambiente e varie specie evitano del tutto gli spazi aperti); assieme a tali formazioni di vegetazione sono scomparse o andate incontro a drastiche riduzioni demografiche numerose specie di insetti forestali, fino ad allora sopravvissute all'interno di quella sorta di ambienti forestali in miniatura. Contemporaneamente ha cambiato volto anche l'allevamento, sempre più orientato verso la stabulazione dei capi e la loro alimentazione con mangimi. L'assenza di bestiame al pascolo ha determinato la scomparsa o la drastica riduzione degli scarabei e di molte altre specie di insetti coprofagi, che nelle aree private degli ungulati selvatici erano divenute dipendenti dalla presenza di quelli domestici. Più in generale, l'entomofauna è stata sottoposta all'azione degli insetticidi, usati spesso in maniera assolutamente esagerata. Ciò ha portato alla scomparsa di specie di insetti, alla riduzione demografica delle specie sopravvissute e alla presenza, nell'ambiente, di insetti contaminati. Per i chiroterri si è trattato di un impoverimento quantitativo e qualitativo della loro base alimentare, nonché della comparsa di un nuovo fattore di mortalità: consumando insetti contaminati, da formidabili insettivori quali sono, possono accumulare nei loro corpi dosi di pesticidi dannose e talora addirittura letali. Il fenomeno ha riguardato anche gli ambienti acquatici: pesticidi e fertilizzanti hanno alterato la qualità idrica, condizionando la presenza e l'abbondanza degli invertebrati legati all'acqua e, conseguentemente, quella dei loro predatori. Per molte specie di chiroterri le zone umide rappresentano ambienti di foraggiamento importantissimi, presso le quali ricercano insetti fra la vegetazione di bordura o volando sull'acqua. L'attività della 9hirottero fauna risulta minore sopra gli ambienti acquatici alterati rispetto a quelli caratterizzati da maggior naturalità ed è ipotizzabile che tale discrepanza sia tanto maggiore quanto più gravi sono gli effetti degli inquinanti sugli invertebrati predati (Vaughan et al., 1996; Biological Conservation, 78 (3):

337-343; Wickramasinghe et al., 2003; Journal of Applied Ecology, 40: 984–993). I pesticidi, infine, causano distruzione e rarefazione delle prede dei pipistrelli e presenze nell'ambiente di prede contaminate (danni da bioaccumulo).

Per quanto riguarda l'area della pianura, dove è prevista l'installazione degli aerogeneratori, la monotonia delle coltivazioni, quasi esclusivamente erbacee, è interrotta da alcuni elementi del paesaggio importanti per i chiropteri, quali:

- Torrente Carapelle ed altri corsi d'acqua minori che costituiscono sia corridoi di volo che aree di foraggiamento e abbeverata;



Torrente Carapelle



Canale di bonifica

- raccolte d'acqua artificiali che costituiscono sia aree di abbeverata che di foraggiamento;



Raccolta d'acqua artificiale

- alberature di olmo siberiano (*Ulmus pumila* L.), pini (*Pinus* ssp.) cipressi (*Cupressus* ssp.) che costituiscono sia corridoi di volo che aree di foraggiamento.



Alberatura di olmo siberiano

RICERCA DEI RIFUGI

Una delle principali attività per lo studio dei pipistrelli consiste nella ricerca delle colonie riproduttive e dei siti di svernamento; in certi casi infatti, a seconda delle specie presenti e delle caratteristiche ambientali del sito stesso, in queste particolari situazioni si possono creare raggruppamenti molto consistenti, anche nell'ordine delle migliaia di esemplari (Dietz *et al.* 2009). La conoscenza di questi siti (e successivamente i conteggi degli esemplari presenti), consentono di ottenere informazioni, anche quantitative, sulle popolazioni di chiroteri presenti (Russo 2004). Sebbene esistano differenze, anche sostanziali, tra le varie specie nella scelta dei rifugi, questi ultimi possono genericamente essere suddivisi in due grandi categorie: rifugi naturali e artificiali. Tra i primi troviamo le cavità ipogee, particolarmente importanti come siti di svernamento, e le cavità all'interno degli alberi (in certi casi costituite semplicemente da pezzi di corteccia rialzata), particolarmente utilizzate invece come siti di riproduzione, soprattutto dalle specie più legate agli ambienti forestali. Tra i rifugi artificiali invece troviamo tutte le tipologie di edifici e costruzioni in generale, che presentino condizioni idonee ad ospitare questi animali; sostanzialmente vengono preferiti edifici vecchi, spesso caratterizzati dalla presenza di ampie soffitte, sottotetti e cantine, comunque dotati di vie di accesso che le rendano raggiungibili dall'esterno (Agnelli *et al.* 2008) ed anche cavità artificiali (cave in galleria, miniere), non di rado utilizzati al pari delle cavità ipogee naturali (Agnelli *et al.* 2004; Dietz *et al.* 2009).

Nel caso specifico di questo studio, è stata concentrata l'attenzione sui rifugi artificiali, di qualsiasi tipo e destinazione, mancando del tutto le cavità naturali; le speranze di successo nella ricerca di altre tipologie di rifugi ed in particolare di quelli posti all'interno di cavità negli alberi sono infatti praticamente nulle senza studi specifici e molto onerosi che richiedono tempi abbastanza lunghi e l'impiego di tecniche come il radio-tracking (Russo 2004; Parsons *et al.* 2007).

In una prima fase, per la ricerca dei rifugi sono stati individuati, dall'esame della cartografia e da ricognizione sul campo i siti potenzialmente idonei a ospitare chiroteri (edifici abbandonati). Per quanto riguarda le cavità ipogee, nell'area di studio non sono presenti.

La posizione dei potenziali rifugi è stata registrata mediante GPS; durante questa fase si è cercato di raccogliere più informazioni possibili. La seconda fase, quella di ricerca vera e propria è consistita nella realizzazione di specifici sopralluoghi finalizzati ad accertare la presenza degli animali, nel periodo estivo, sia mediante osservazione diretta, sia registrando eventuali segni indiretti di presenza (escrementi), sia registrando eventuali emissioni sonore che, nel caso delle colonie riproduttive, possono risultare di notevole aiuto per l'identificazione delle specie

presenti. La ricerca dei rifugi è stata effettuata all'interno di un'area compresa in buffer di 1 km intorno ai punti di localizzazione delle torri eoliche in progetto.

Edifici

Per quanto riguarda gli edifici rurali sono state controllate le strutture individuate compatibilmente con le esigenze irrinunciabili di sicurezza. I due sopralluoghi si sono svolti nel mese di giugno e luglio in orario diurno e all'ora dell'emergenza, ponendosi presso l'uscita del sito e attivando il rilevatore di ultrasuoni. La maggior parte di queste generalmente risultano poco idonee perché troppo danneggiate (crolli diffusi o mancanza del tetto) oppure perché mancanti di adeguate aperture di accesso per gli animali, o perché recentemente restaurate e ristrutturate, o perché utilizzate come abitazioni da lavoratori stagionali.

Durante i sopralluoghi effettuati Non è stata accertata la presenza di alcuna specie di chiroteri.

RILIEVI A TERRA

Il percorso del transetto è risultato essere pari a 27,3 sono stati ripetuti 2 volte, per un totale di 54,6 km: a giugno e luglio 2013. Considerando le metodologie di rilievo, sono state effettuate 2 uscite, suddivise come riportato in tabelle. I rilevamenti hanno avuto inizio circa mezz'ora dopo il tramonto, quando anche i Chiroteri che lasciano i rifugi a buio inoltrato hanno raggiunto i territori di caccia e sono hanno avuto termine entro le 24.00 circa. Questo lasso di tempo corrisponde in generale al periodo di massima attività dei pipistrelli, infatti verso metà notte si osserva generalmente un calo della loro attività.

Elenco delle giornate in cui sono stati effettuati i diversi tipi di rilievo

Data	Transetti	Rifugi
20/06/2013		✓
22/06/2013	✓	
24/06/2013		✓
27/06/2013		✓
3/07/2013	✓	

Di seguito si riportano I risultati per singola uscita, la localizzazione dei dati ottenuti nel complesso durante i transetti e la localizzazione delle singole specie.

Numero di contatti per specie registrati durante i rilievi (transetti)

Specie	22/06/2013	03/07/2013	totale
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	6	9	15
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	6	5	11
<i>Hypsugo savii</i>	2	3	5

Al fine di una corretta valutazione dei risultati raccolti occorre precisare che i numeri riportati si riferiscono al numero di contatti e non di individui e deve quindi essere considerato esclusivamente come un'indicazione sulla frequenza delle singole specie. La scelta di utilizzare come riferimento il numero di contatti e non quello degli individui, nasce dalla consapevolezza che la possibilità, tutt'altro che remota, di effettuare doppi conteggi (Russo 2004; cfr. Materiali e metodi) non permette di calcolare con certezza l'abbondanza delle singole specie. Si deve, inoltre, considerare che, al di là del numero di individui che frequentano una zona, il rischio di collisione con le pale eoliche aumenta in funzione della frequentazione dell'area stessa da parte delle diverse specie. In questo senso il numero di contatti permette di valutare meglio l'importanza che una determinata zona riveste per le specie che si sta studiando.

La chiroterro fauna dell'area di studio è costituita da 3 specie identificate nel corso dello studio. Le specie più frequenti risultano essere il pipistrello albolimbato e il p. nano, specie generalista e quindi molto adattabili a differenti condizioni ambientali, la componente "più forestale", qui rappresentata dal pipistrello di Savi, risulta molto meno frequente e tuttavia appare particolarmente importante.

E' stato calcolato, inoltre, l'indice di abbondanza chilometrica (IKA). Tale indice fornisce una stima attendibile dell'abbondanza delle popolazioni espressa come n° di tracce animali/ km percorsi (Meriggi 1989). Il numero di contatti risulta essere piuttosto basso. Il numero di contatti rilevati e conseguentemente gli indici di abbondanza chilometrica, vanno da un minimo di 4 contatti con *Hypsugo savii* (IKA=0,07) ad un massimo di 15 contatti con *Pipistrellus kuhlii* (IKA=0,27).

Pipistrellus pipistrellus è stato contattato in tutti i tipi i transetti. L'IKA è pari a 0,18. Tale valore è di gran lunga inferiore a quello calcolato (1,6) in media per tutto il territorio nazionale (Fornasari *et al.*, 1999).

Pipistrellus kuhlii è stato contattato in tutti i tipi i transetti. L'IKA è pari a 0,27. Tale valore è di gran lunga inferiore a quello calcolato (2,0) in media per tutto il territorio nazionale (Fornasari *et al.*, 1999).

Hypsugo savii è stato rilevato nelle vicinanze del torrente Carapelle. L'IKA è pari a 0,07. Tale valore è decisamente inferiore a quello medio per tutto il territorio nazionale (1,7) calcolato da Fornasari *et al.* (1999).

Specie	Numero di contatti con bat detector	KIA Indice chilometrico abbondanza
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	15	0,27
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	10	0,18
<i>Hypsugo savii</i>	4	0,07

Elenco delle specie censite nell'area di studio e che compaiono nella Lista Rossa degli Animali d'Italia (Vertebrati; Bulgarini *et al.* 1998), con indicata la categoria di vulnerabilità, quelle inserite nell'Allegato I della Direttiva Uccelli 79/479/CEE

Specie	Dir. Habitat	Lista Rossa nazionale
<i>Pipistrellus kuhlii</i>		LR: lc (Hutson <i>et al.</i> , 2001). A minor rischio (preoccupazione minima)
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>		LR: lc (Hutson <i>et al.</i> , 2001). A minor rischio (preoccupazione minima)
<i>Hypsugo savii</i>		LR: lc (Hutson <i>et al.</i> , 2001). A minor rischio (preoccupazione minima).

Comportamento delle specie di chiroterri rilevate in relazione ai parchi eolici (Rodrigues et alii, 2008)

Specie	Caccia in prossimità di elementi dell'habitat (alberature, corsi d'acqua..)	La specie effettua movimenti stagionali su lunghe distanze (migrazioni)	La specie riesce a volare a quote > 40 m	Possibile disturbo dei pipistrelli in volo, causato dalle turbine, attraverso la produzione di rumore ultrasonoro	La specie è attratta da luci artificiali	Rischio di perdita degli habitat di foraggiamento	Documentata in letteratura la collisione diretta con le turbine (Rodrigues <i>et al.</i> , 2008)
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X		X		X		X
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X		X		X		X
<i>Hypsugo savii</i>	X		X		X		X

Di seguito sono stati valutati i livelli di criticità generale per ogni specie rilevata, in funzione della sua ecologia e del suo status, del prevedibile impatto dovuto ad alterazione dell'habitat, del prevedibile impatto dovuto a collisione con le pale, della sua abbondanza relativa riscontrata nell'area di studio:

Specie	Impatto per alterazione habitat	Impatto per collisione con le pale	Numero di contatti con bat detector	IKA Indice chilometrico abbondanza	Numero di rifugi reali nell'area buffer di 1 km	Distanza minima dei rifugi	Colonia riproduttiva	Criticità
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	basso	medio	15	0,27	1	-	no	bassa
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	basso	medio	10	0,18	0	-	no	bassa
<i>Hypsugo savii</i>	nullo	medio	4	0,07	0	-	no	bassa

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI DEI SINGOLI AEROGENERATORI

Dalla localizzazione degli aerogeneratori in relazione ai contatti rilevati, agli elementi ecologici del paesaggio è stato possibile valutare gli impatti potenziali dei singoli aerogeneratori secondo le seguenti caratteristiche:

- ✚ aerogeneratore con impatto potenziale mitigabile : si tratta di aerogeneratore più vicino agli elementi ecologici del paesaggio importanti per i chiroteri (distanza < 200 m), quali alberature, corsi d'acqua e piccoli invasi artificiali; la sua installazione necessita di misura di mitigazione, quale l'applicazione di tecnologia capace di ridurre gli impatti diretti (collisioni) sui chiroteri (sistema CHIROTECH);
- ✚ aerogeneratori con impatto non significativo: si tratta degli aerogeneratori localizzati nelle aree in cui il rilievo ultrasonico ha evidenziato una nulla o scarsa presenza di chiroteri e distanti oltre 200 m dagli elementi ecologici del paesaggio importanti per i chiroteri (quali alberature, corsi d'acqua e piccoli invasi artificiali).

Aerogeneratori n. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53 54 e 55: aerogeneratore con impatto non significativo; localizzato in un'area in cui il rilievo ultrasonico ha evidenziato una nulla o scarsa presenza di chiroteri e distanti oltre 200 m dagli elementi ecologici del paesaggio importanti per i chiroteri (quali alberature, corsi d'acqua e piccoli invasi artificiali);

Aerogeneratori n. 19, 23 e 25 : aerogeneratore con impatto potenziale mitigabile, prossimi (distanza < 200 m) a piccoli invasi artificiali (vasconi) o corsi d'acqua (elementi ecologici del paesaggio importanti per i chiroteri); la loro installazione necessita di misura di mitigazione, quale l'applicazione di tecnologia capace di ridurre gli impatti diretti (collisioni).

MISURA DI MITIGAZIONE

Relativamente agli aerogeneratori con impatto potenziale mitigabile, per ridurre notevolmente (fino al 90,7%) le collisioni con i chiroteri verrà applicata la tecnologia CHIROTECH (Doc.EUROBATS.AC17.6, 2012; Lagrange H., E. Roussel, A.-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbirou, 2012) un sistema di mitigazione multifattoriale per ridurre gli impatti dei parchi eolici sui chiroteri, che consente di regolare l'attività degli aerogeneratori in base al rischio di collisione (calcolato tenendo conto della velocità del vento e di altri parametri legati all'attività dei chiroteri, quali: stagione, temperatura, direzione del vento, ora, ecc.). I dati rilevati in tempo reale vengono elaborati da un software che consentirà la gestione remota degli aerogeneratori, bloccando la loro attività nel momento in cui si configura una situazione di rischio di collisione con i chiroteri. Per maggiori dettagli si rimanda alla documentazione allegata.

CONCLUSIONI

I dati ottenuti per l'area dell'impianto, intesa come area buffer di 1 km intorno ai punti in cui è prevista la localizzazione dei generatori eolici, mostrano una chiroterofauna piuttosto scarsa (i rilievi con bat-detector hanno evidenziato un'attività notturna poco intensa con indici IKA molto bassi) e poco diversificata (3 specie contattate). L'unico rifugio reale, individuato nell'area buffer di 1 km, non risulta particolarmente importante in quanto non ospita una colonia riproduttiva ed è localizzato a distanza di sicurezza dall'impianto (1 km).

Le specie più frequenti sono risultate essere il pipistrello albolimbato e il pipistrello nano, specie generalista e quindi molto adattabili a differenti condizioni ambientali, la componente "più forestale", rappresentata dal pipistrello di Savi, risulta molto meno frequente e localizzata nelle vicinanze del torrente Carapelle.

Un aspetto importante da considerare sono alcuni elementi ecologici del paesaggio, quali alberature, corsi d'acqua e piccole raccolte d'acqua a scopo irriguo, che possono condizionare la presenza dei chiroteri, influenzando positivamente i livelli di attività. Le alberature sono utilizzate per il foraggiamento e come corridoi di volo anche durante i flussi migratori, mentre i corsi d'acqua e i bacini idrici sono utilizzati per le attività trofiche, essendo aree umide ad elevata concentrazione di insetti. Nell'area di studio sono presenti il torrente Carapelle, alcuni canali di bonifica ed alcune alberature e piccole raccolte d'acqua artificiali. Questi elementi ecologici del paesaggio costituiscono aree sensibili ad un eventuale impatto con gli aerogeneratori perché rivestono grande importanza per i pipistrelli, poichè facilitano i loro spostamenti dai potenziali rifugi alle aree di foraggiamento e tra le differenti aree trofiche utilizzate. Inoltre, durante i sopralluoghi effettuati negli edifici rurali abbandonati non è stata accertata la presenza di alcuna specie di chiroteri.

Per quanto riguarda le aree di foraggiamento, si rileva che tutti gli aerogeneratori sono localizzati in siti caratterizzati da seminativi, dove i chiroteri non troverebbero riserve alimentari a causa degli interventi effettuati per il controllo degli insetti attraverso l'uso di pesticidi. Pertanto si ritiene che i siti di ubicazione degli aerogeneratori siano poco frequentati dai chiroteri per l'attività trofica.

In considerazione di ciò si ritiene che, in accordo con EUROBATS serie 3 (*Guidelines for consideration of bats in wind farm projects, 2008*), per evitare l'impatto delle torri eoliche con i chiroteri è necessario installarle ad una distanza di almeno 200 m dagli elementi ecologici del paesaggio importanti per tale gruppo faunistico (filari di alberi, margini di bosco e di arbusteti corsi d'acqua e raccolte d'acqua). Alcuni studi (Christine Harbusch & Lothar Bach, 2005) affermano che secondo le attuali conoscenze, le turbine eoliche dovrebbe essere posizionate

lontano da corridoi di volo (buffer di almeno 200 m), aree di foraggiamento (buffer di almeno 200 m), rifugi estivi ed invernali (buffer di almeno 500 m) e margini di bosco (buffer di almeno 200 m). La realizzazione del parco eolico in progetto non risulta incompatibile con la tutela dei chiroteri, poichè quasi tutti gli aerogeneratori (nn. . 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53 54 e 55) sono localizzati in aree in cui il rilievo ultrasonico ha evidenziato una nulla o scarsa presenza di chiroteri e risultano distanti oltre 200 m dagli elementi ecologici del paesaggio importanti (quali alberature, corsi d'acqua e piccoli invasi artificiali) mentre sulle torri eoliche nn. 19, 23 e 25, più prossime (< 200 m) agli elementi ecologici del paesaggio importanti per i chiroteri quali piccoli invasi artificiali e corsi d'acqua, verrà applicato il sistema di mitigazione degli impatti diretti CHIROTECH.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2012. Doc.EUROBATS.AC17.6 17th Meeting of the Advisory Committee Dublin, Ireland, 15 – 17 May 2012 Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations

Agnelli P., 2005-b. Mammalia Chiroptera. [pp. 293-295]. In: Ruffo S., Stoch F. (eds.). Checklist e distribuzione della fauna italiana. Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2° serie, Sezione Scienze della Vita 16. 307 pp. + 1 Compact Disk.

Agnelli P., Martinoli A., Patriarca E., Russo D., Scaravelli D. Genovesi P. (a cura di). 2004. Linee guida per il monitoraggio dei Chiropteri: indicazioni metodologiche per lo studio e la conservazione dei pipistrelli in Italia. Quad. Cons. Natura, 19, Min. Ambiente – Ist. Naz. Fauna Selvatica.

Ahlén I. 2003. Wind turbines and bats: a pilot study. Report to the Swedish National Energy Administration. Eskilstuna, Sweden. [English translation by I Ahlén]. Dnr 5210P-2002-00473, O-nr

Arnett, E.B., Brown W.K., Erickson W.P., Fiedler J.K., Hamilton B.L., Henry T.H., Jain A., Johnson G.D., Kerns J., Koford R.R., Nicholson C.P., O'Connell T. J., Piorkowski M.D., Tankersley R.D. (2008). Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *The Journal of Wildlife Management* 72: 61-78.

Bach L. 2002. Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzungen von Fledermausen am Beispiel des windparks „Hohe Geest“, Midlum – Endbericht. Unpubl. report for Institut für angewandte Biologie, Freiburg/Niederelbe, 46 pp.

Bach L., Brinkmann R., Limpens H., Rahmel U., Reichenbach M. & Roschen A. 1999. Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten in Rahmen der Windkraftplanung. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 4: 162-170.

Barataud M., 1996. *The World of Bats*. Sittelle Publishers. France.

Brinkmann R., Schauer-Weisshahn H. & Bontadina F. 2006. Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermause im Regierungsbezirk Freiburg. Regierungspräsidium Freiburg. Referat 56, Naturschutz und Landschaftspflege, Stiftung. www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1158478/rpfwindkraft-fledermaeuse.pdf.

Bulgarini F., Calvario E., Fraticelli F., Petretti F., Sarrocco S. (eds.) 1998. *Libro rosso degli Animali d'Italia – Vertebrati*. WWF Italia. Roma, pp. 210.

Bux M., Russo D. e Scillitani G. 2003. La chiropterofauna della Puglia. *Hystrix, It. J. Mamm.* (n. s.) supp.: 150.

Cryan P.M. 2008. Mating Behavior as a Possible Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines. *Journal of Wildlife Management* 72(3):845–849.

Christine Harbusch & Lothar Bach, 2005. Environmental Assessment Studies on wind turbines and bat populations - a step towards best practice guidelines. *Bat news*

Dietz C., Heltersen von O. & Nill D. 2009. *Bats of Britain, Europe & North West Africa*. A & C Black Publisher, London

Fiedler J.K., Henry T.H., Tankersley R.D. & Nicholson C.P. 2007. Results of bat and bird mortality monitoring at the expanded Buffalo Mountain Windfarm, 2005. Tennessee Valley Authority, Knoxville. www.tva.gov/environment/bmw_report/results.pdf

Fornasari L., Violani C. e Zava B. 1997. *I chirotteri italiani*. Editore Epos, Palermo

FORNASARI L., BANI L., DE CARLI E., GORI E., FARINA F., VIOLANI C. & Zava B., 1999. Dati sulla distribuzione geografica e ambientale dei Chirotteri nell'Italia continentale e peninsulare. *Atti I Convegno Italiano sui Chirotteri, Castell'Azzara (Grosseto)*: 63- 81.

GAO (US Government Accountability Office) 2005. *Wind power: impacts on wildlife and government responsibilities for regulating development and protecting wildlife*. Washington, DC: US Government Accountability Office. www.gao.gov/new.items/d05906.pdf. Viewed 11 Jun 2007.

GIRC, 2004. The Italian bat roost project: a preliminary inventory of sites and conservation perspectives. *Hystrix It. J. Mamm.*, 15(2): 55-68.

Grindal S.D. & Brigham R.M. 1998. Short-term effects of small scale habitat disturbance on activity by insectivorous bats. *J. Wildlife Management* 62: 996–1003.

Holland R.A., Thorup K., Vonhof M.J., Cochran W.W. & Wikelski M. 2006. Navigation: bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature* 444: 702.

Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C. e Rodrigues L. 2005. *Bat migration. A review of Bandin Data e Literature*. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn.

Johnson G.D., Erickson W.P., Strickland M.D., Shepherd M.F., Shepherd D.A., Sarappo S.A. (2003). Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *American Midland Naturalist* 150 (2): 332-342.

Johnson G.D., Perlik M.K., Erickson W.P., Strickland M.D. (2004). Bat activity, composition, and collision mortality at a large scale win plant in Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* 32 (4): 1278-1288.

Johnson G.D., Young, D.P. Jr., Erickson W.P., Strickland M.D., Good R.E. & Becker P. 2000. Avian and bat mortality associated with the initial phase of the Foote Creek Rim Wind Power Project, Carbon County, Wyoming: November 3, 1998 - October 31, 1999. Technical report prepared for SeaWest Energy Corporation and Bureau of Land Management, pp. 32.

Kerlinger P., Curry R., Culp L., Jain A., Wilkerson C., Fischer B. & Hasch A. 2006. Post-construction avian and bat fatality monitoring study for the High Winds wind power project Solano County, California: two year report. Curry and Kerlinger, McLean, Va.

Kunz T.H, Arnett E.B., Cooper B.M., Erickson W.P., Larkin R.P., Mabee T., Morrison M.L., Strickland M.D. and Szewczak J.M. 2007a. Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: a Guidance Document. *J. Wild. Manag.*, 71(8): 2449-2486.

Kunz T.H, Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., Strickland M.D., Thresher R.W. & Tuttle M.D. 2007b. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front. Ecol. Environ.*, 5(6): 315-324.

Lagrange H., E. Roussel, A.-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbirou, 2012. Chirotech - Bilan de 3 années de régulation de parcs éoliens pour limiter la mortalité des chiroptères. Rencontres nationales é chauvessouris è de la SFEPM (France).

Lagrange H., E. Roussel, A.-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbirou, 2012. Chirotech, tres años de test de mitigaciòn para reducir las mortalidad de quiròpteros en parques eòlicos. Talk presented in I Congreso Ibèrico sobre EnergÉa Eèlica y Conservacièn de la Fauna. Jerez de la Frontera (Spain).

Lanza B., Agnelli P. (2002). Chiroterri. [pp. 44-142]. In: Spagnesi M., De Marinis A.M. (a cura di), disegni di Catalano U.; Mammiferi d'Italia. Quaderni di Conservazione della Natura; Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Conservazione della Natura e Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica "Alessandro Ghigi"; 311 pp. + 1 Compact Disk.

Limpens H. J. G. A., Kapteyn K., 1991. Bats, their behaviour and linear landscape elements. *Myotis*, 29: 39-48.

Meriggi A. (1989) Analisi dei metodi di censimento della fauna selvatica (Aves, Mammalia). Aspetti teorici e applicativi. *Ricerche di Biologia della selvaggina* 83: 1-59.

Oakeley S.F. & Jones G. 1998. Habitat around maternity roosts of the 45 kHz phonic type of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*). *J. Zool.* 245: 222-228.

Parsons K., Crompton R., Graves R., Markham S., Matthews J., Oxford M., Shepherd P. & Sawler S. 2007. Bat Surveys. Good Practice Guidelines. Bat Conservation Trust, London.

Rahmel U., Bach L., Brinkmann R., Dense C., Limpens H., Mascher G, Reichenbach M. & Roschen A. 1999. Windkraftplanung und Fledermause. Konfliktfelder und Hinweise zur Erfassungsmethodik. Bremer Beitrage fur Naturkunde und Naturschutz, Band 4: 155-161.

Reynolds D.S. (2006). Monitoring the potential impact of a wind development site on bats in the northeast. *Journal of Wildlife Management* 70 (5): 1219-1227.

Rodrigues, L., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, J. Goodwin & C. Harbusch, 2008. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects. EUROBATS Publication Series No. 3. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 51 pp.

Russo D. e Jones G. (2002). Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *Journal of Zoology*, London, 258: 91-103.

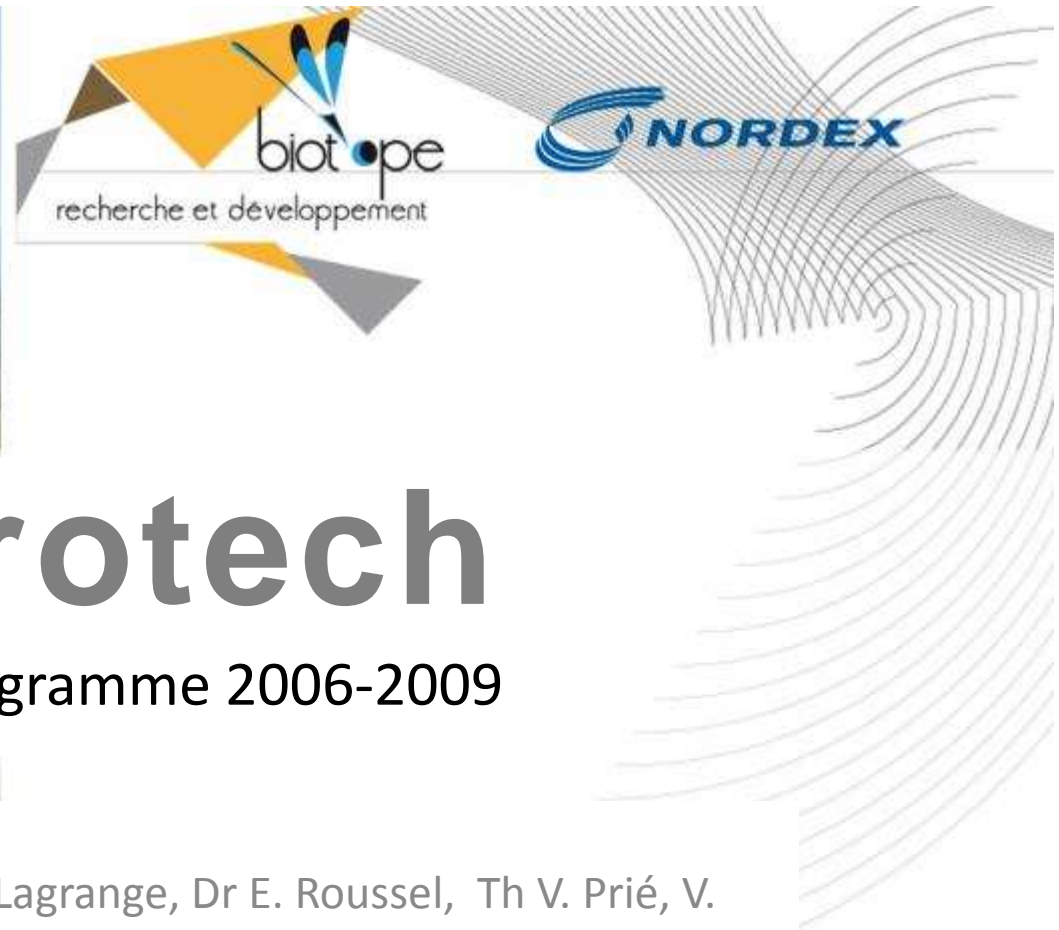
Russo D. e Jones G. (2003). Use of foraging habitats by bats (Mammalia: Chiroptera) in a Mediterranean area determined by acoustic surveys: conservation implications. *Ecography*, 26: 197-209.

Szewczak J.M. & Arnett E. 2006. ultrasound emissions from wind turbines as a potential attractant to bats: a preliminary investigation. Ph.D. Thesis. Humboldt State University. <http://www.batcon.org/UserFiles/Turbine%20Ultrasound%20Report.pdf>



ALLEGATO

***SISTEMA DI MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI SUI CHIROTTERI
CHIROTEC***



Chirotech

Bilan du programme 2006-2009

Equipe scientifique : Dr. H. Lagrange, Dr E. Roussel, Th V. Prié, V. Ruffray, A. Hacquart, F.

Sous la direction de : A-L Ughetto, Dr. F. Melki

Contrôle qualité : R. Boulnois,





Contexte



- Le développement des énergies renouvelables est l'un des challenges à mener pour nous émanciper des énergies fossiles. En France, sur l'année 2009 l'énergie éolienne fournit déjà 7,8 TW/h avec 2600 éoliennes installées. Il en faudra deux fois plus, en 2020 pour répondre aux objectifs du Grenelle de l'environnement. Ce développement peut poser des problèmes environnementaux, notamment vis-à-vis des chiroptères.
- **Chirotech a pour objectif de concilier la préservation des chauves-souris et le développement de la production d'énergie éolienne.**
- Ce programme de recherche a été initié en 2006 par Biotope, sur la base d'une idée formulée en 2003 par T. Dürr et validée économiquement par Armoise en 2005.

Chirotech : quatre phases de travail

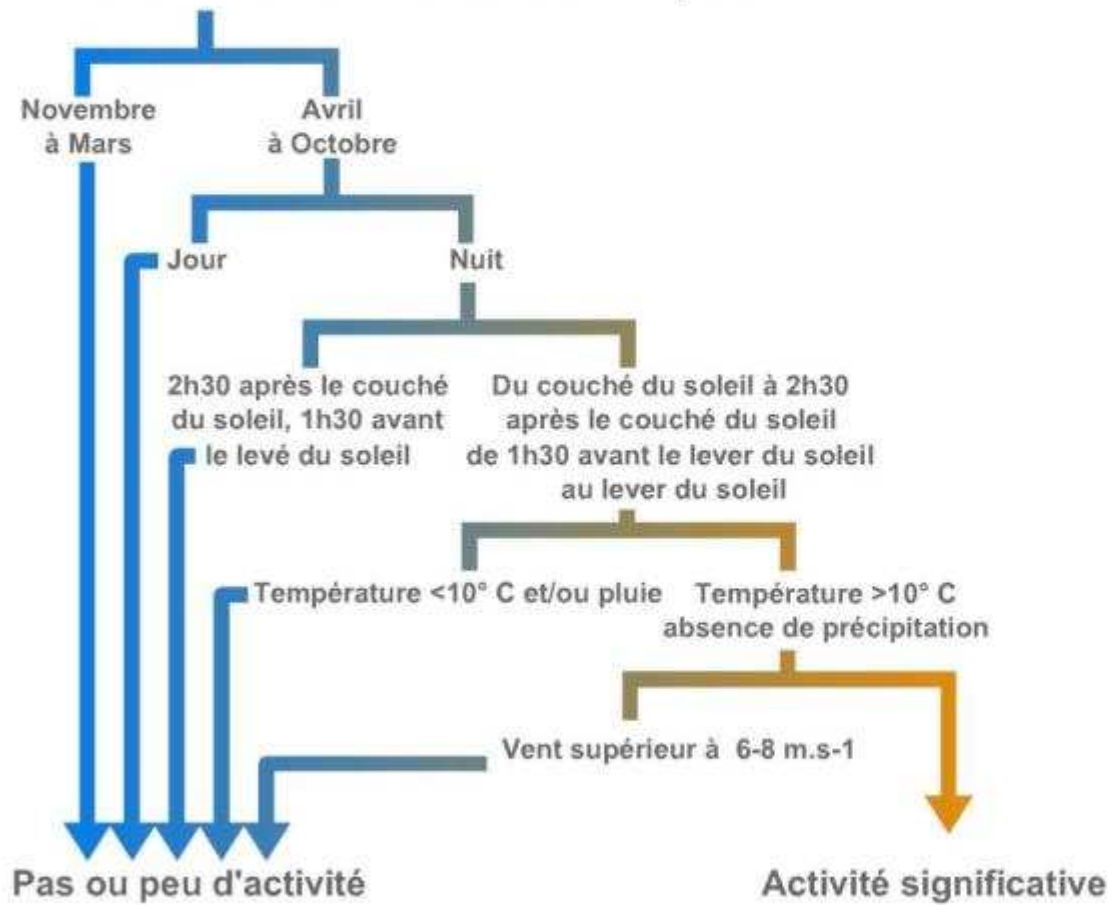
- **Hypothèses fondatrices**
- **Tests de faisabilité**
- **Modélisation multifactorielle du comportement des chiroptères**
 - Collecte des données
 - Modèles mathématiques
- **Asservissement des éoliennes**
 - Système de pilotage et protocole d'arrêt
 - Vérification de l'efficacité de Chirotech



Hypothèses



Période d'activité des chiroptères



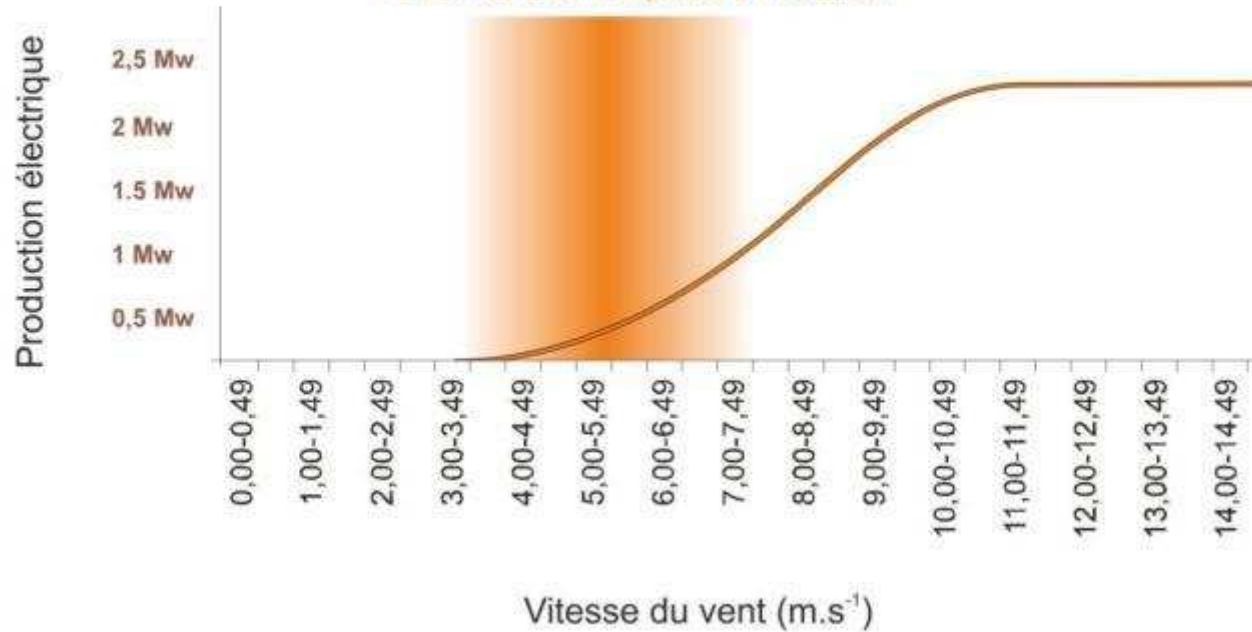


Hypothèses



Production électrique en fonction de la vitesse du vent

Zone possible de collision
chauves-souris / pales en rotation



Test de faisabilité



Date	Heure	Vitesse du vent à 80 m	T°	Production théorique	Vent	T°	Heure	Date	Synthèse	
10-juin	18	6,12	26,1	1,5 Kw	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	FAUX	1,5 Kw
10-juin	19	7,45	26	1,8 Kw	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	FAUX	1,8 Kw
10-juin	20	6,01	25,4	1,4 Kw	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	FAUX	1,4 Kw
10-juin	21	5,67	24,3	1,2 Kw	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	0 Kw
10-juin	22	4,98	24,2	1,1 Kw	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	0 Kw
10-juin	23	3,78	23,2	0,8 Kw	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	0 Kw
11-juin	0	2,21	22,7	0 Kw	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	FAUX	0 Kw

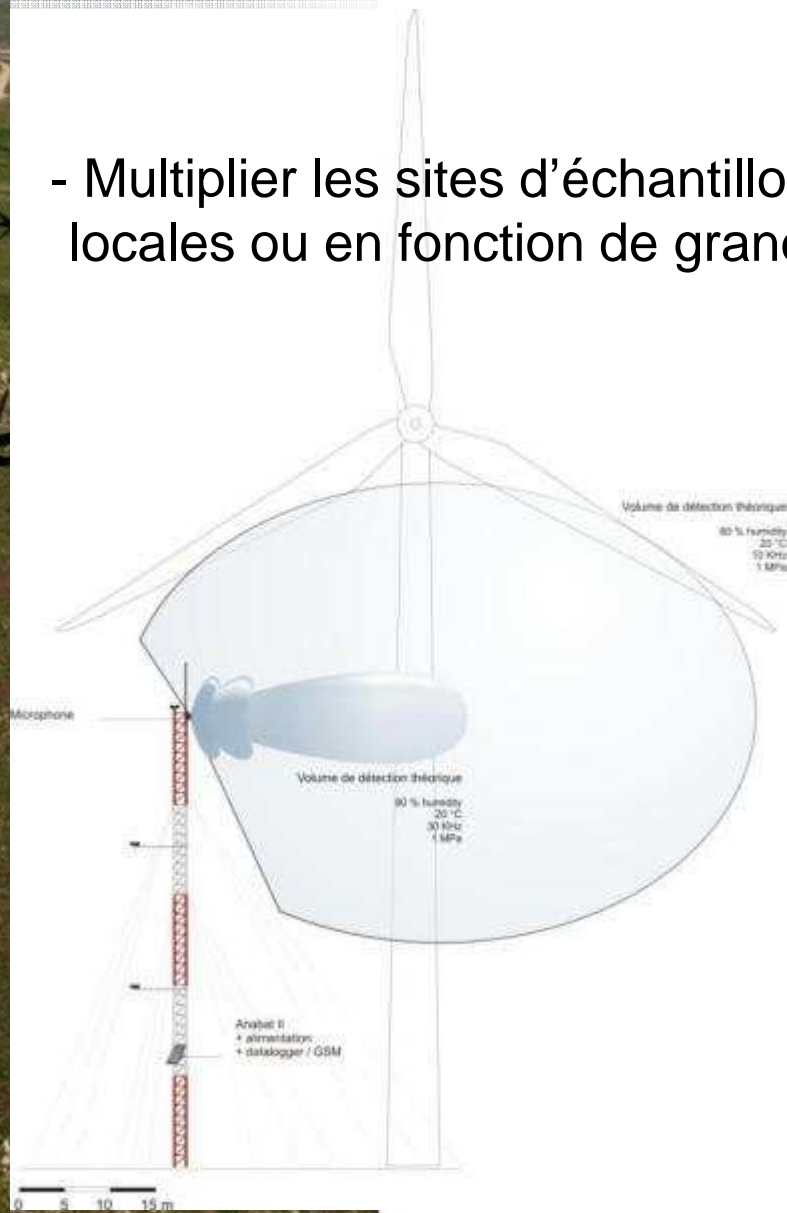
Collecte des données

- Enregistrement automatisé sur Anabat SD1
- Alimentation sur panneau solaire
- Microphone déporté, enregistrant l'indice d'activité à hauteur de fonctionnement des éoliennes
- Etude étalée sur une année entière pour couvrir tout le cycle d'activité



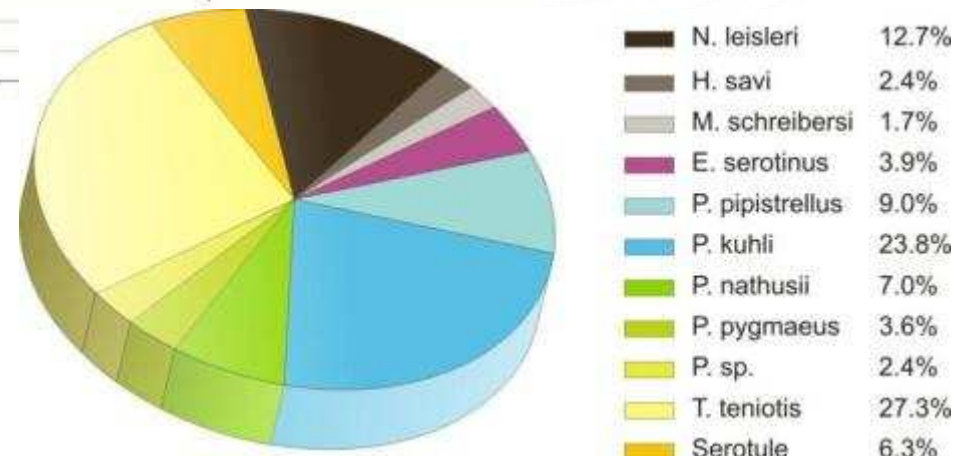
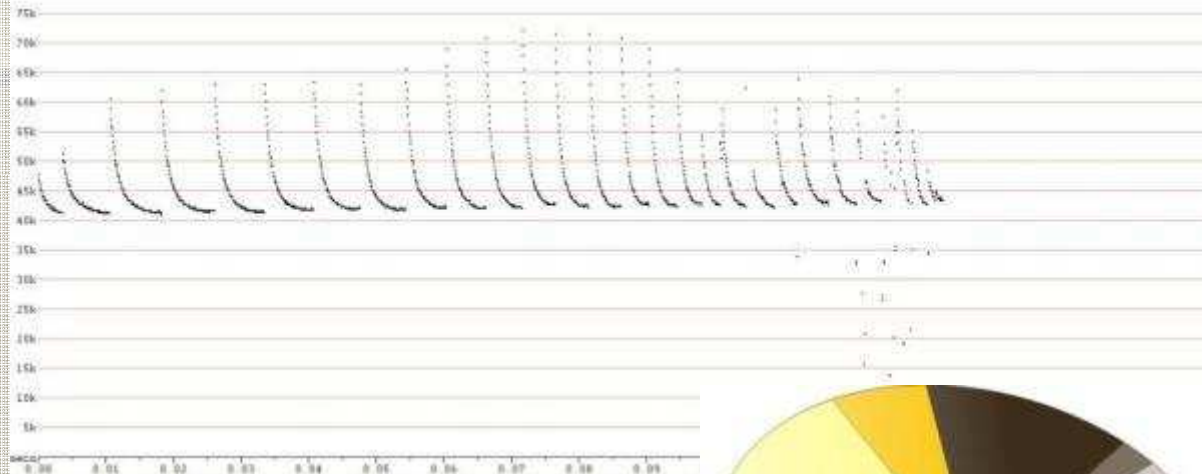
Collecte des données

- Multiplier les sites d'échantillonnage à la recherche de variations locales ou en fonction de grands ensembles bioclimatiques



Collecte des données

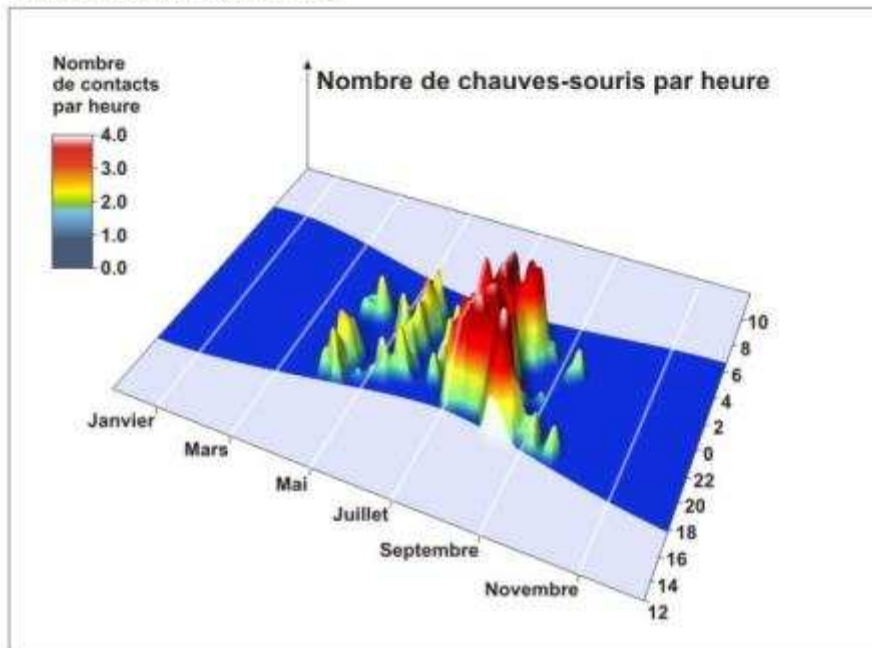
- Qualification et quantification relative des cortèges de chiroptères présents en altitude



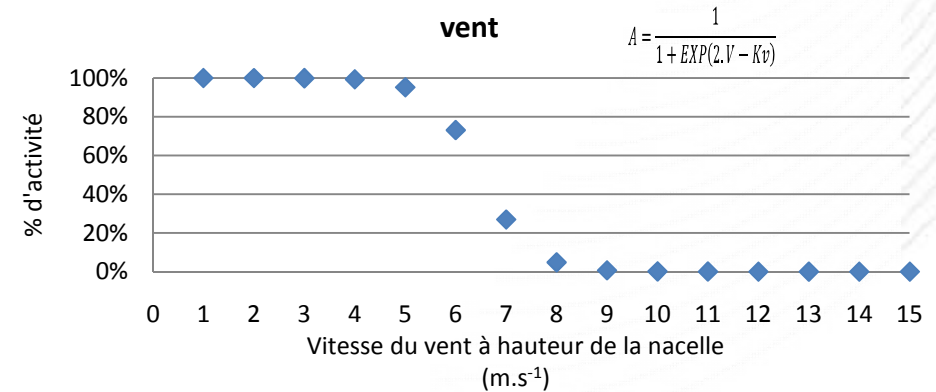
Modèles de comportement

- Réalisation des modèles comportementaux décrivant l'activité des chauves-souris en fonction de paramètres environnementaux

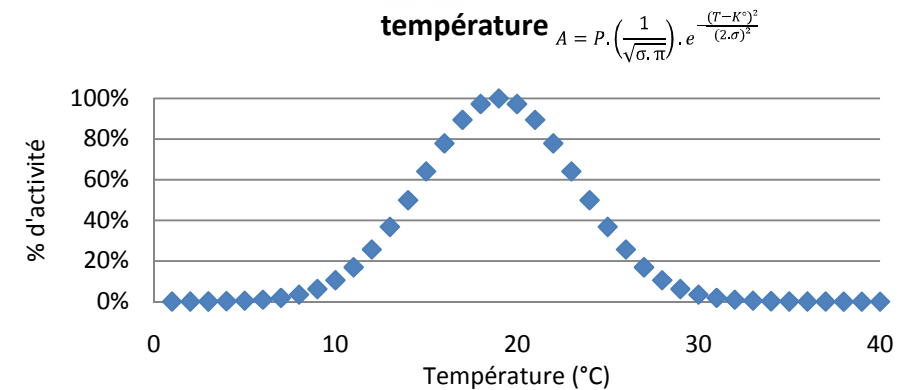
Activité des chauves-souris en fonction des cycles circadiens et annuels



Activité des chauves-souris en fonction de la vitesse du vent



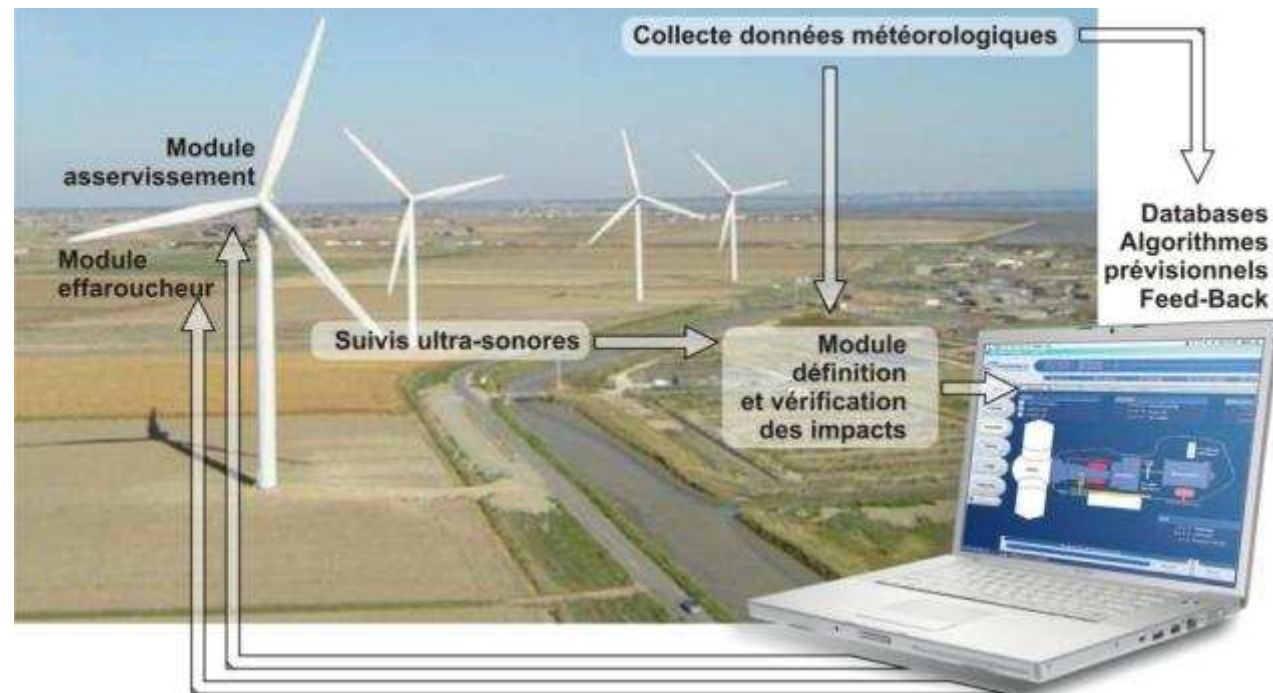
Activité des chauves-souris en fonction de la température



Systeme de pilotage

Asservissement des éoliennes

- Collecter en temps réel les données météorologiques sur les éoliennes
- Calculer le risque de collision en fonction des paramètres collectés et des modèles précédemment définis
- Asservir des machines si le risque calculé est élevé



Systeme de pilotage

Test d'efficacite Chirotech

- Parc en Vendée
- Suivi de mortalité - LPO Vendée
- Pertes de production - Nordex
- Dispositif d'asservissement et suivi informatique - Biotope
- Résultats de l'efficacité du système Biotope-Nordex

- Plan d'échantillonnage de 2009 :

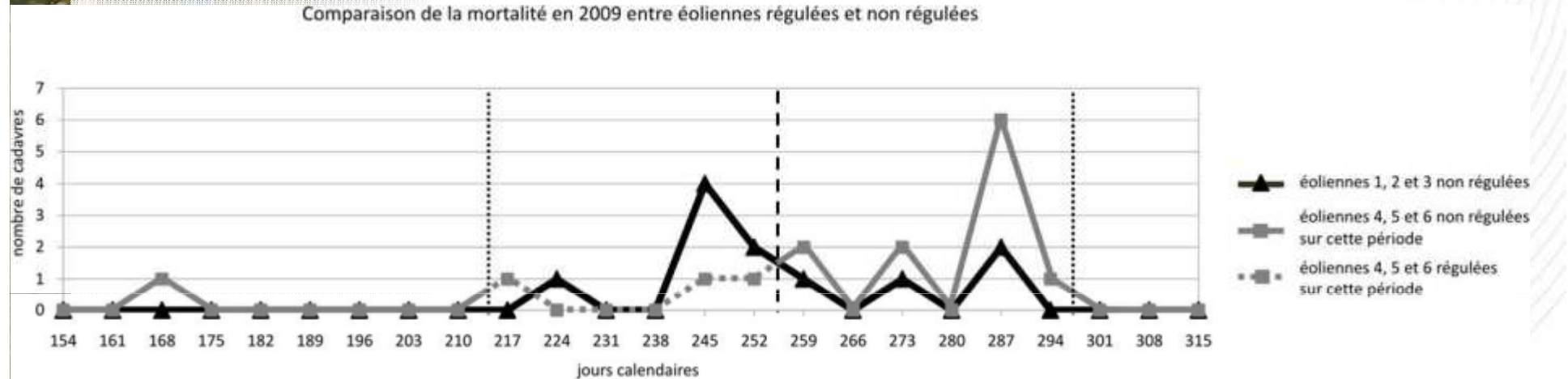
5 éoliennes asservies 4 mois (4-5-6-7-8)

3 éoliennes témoins (1-2-3)



Systeme de pilotage

Test d'efficacite Chirotech



	Valeur estimée	Erreur standard	Z-value	p-value	significativité
Traitement : Période	-1,8589	0,9039	-2,0560	0,0394	*

Les analyses statistiques montrent que la baisse de mortalité brute induite par la régulation du fonctionnement des éoliennes est significative. Des résultats identiques sont obtenus en analysant les variations du rapport mortalité/densité d'activité

Résultats du test d'asservissement 2009

Bilan des variations de mortalité

- La comparaison des variations de mortalité entre les machines témoins et les machines régulées, sur la période de régulation montre une baisse de mortalité de 54% sur les machines régulées.
- La comparaison de la mortalité sur les machines régulées et sur les mêmes machines après arrêt de la régulation montre une baisse de mortalité de 72 % sur les machines régulées.
- La comparaison de la mortalité/indice d'activité sur les machines régulées et sur les mêmes machines après arrêt de la régulation montre une baisse de mortalité de 74 % sur les machines régulées.
- **L'ensemble de ces résultats est cohérent et montre que le système Chirotech a permis de faire baisser la mortalité enregistrée sur le parc de Bouin de 54 à 74 % soit 86 à 118 chauves-souris épargnées sur 160.**



Résultats du test d'asservissement 2009

Pertes de production

Les pertes de production calculées par Nordex sont inférieures à 0,1 % sur l'ensemble de l'année (NORDEX). Les pertes financières pour 5 machines, au cours du mois d'août sont très faibles.

Les calculs réalisés en interne donnent des résultats similaires (+10 %)



Résultats du test d'asservissement 2009

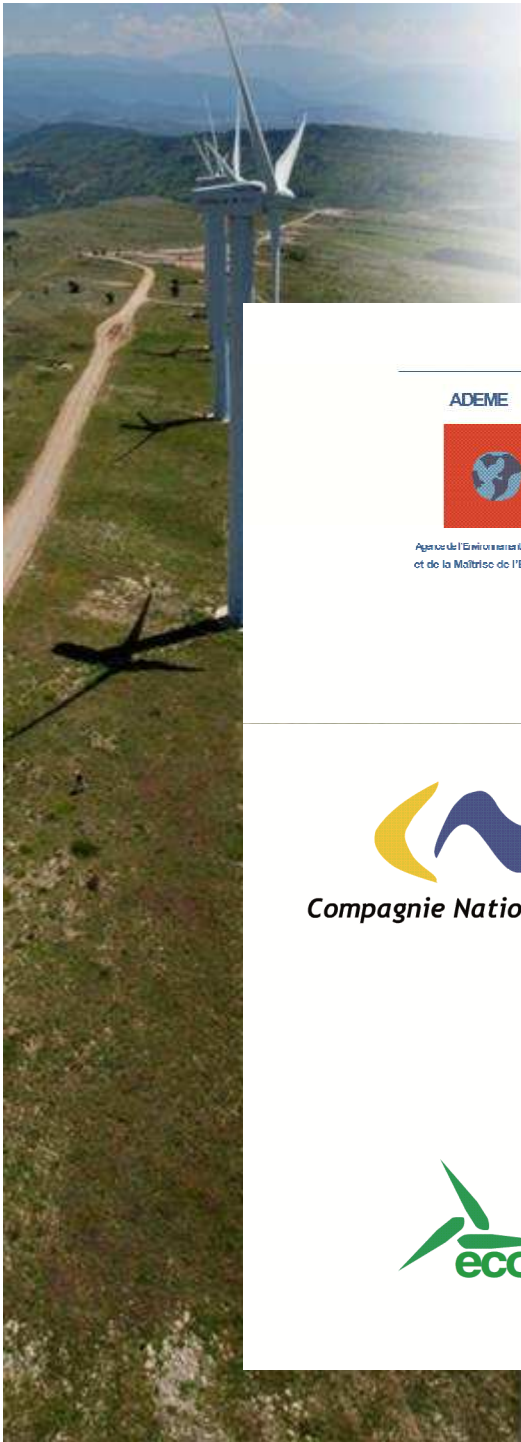
Comparaison avec les travaux en Amérique du Nord

Malgré le très faible nombre de cadavres retrouvés, l'emploi de méthodes statistiques puissantes (ANOVA, GLM) a permis de démontrer sans ambiguïté l'efficacité de l'asservissement.

Avec les mêmes limites méthodologiques et des nombre de cadavres similaires, les publications d'Arnett & Schirmacher et de Baerwald *et al.* décrivent des baisses de mortalité de 50 à 90 %. De manière comparable et avec les mêmes limites, nous pouvons affirmer que le dispositif Chirotech a induit une **baisse de mortalité de 57 à 74 %**, avec des **pertes de production 10 fois plus faibles (0,1%)** que ce qui a été décrit en Amérique du Nord.

Conclusions et Perspectives

- Le système Chirotech a prouvé son efficacité au cours de l'année 2009, tant sur la préservation des chauves-souris que sur la préservation de la production électrique.
- Une période de fiabilisation et d'industrialisation est planifiée sur 2010.
- Ce dispositif pourra amener de profondes modifications dans l'approche des mesures d'atténuation sur les projets de parcs éoliens et/ou sur les parcs en cours d'exploitation.
- Il pourra être complété par un système de suivi automatisé de la mortalité (DECAN) permettant d'éviter les biais de méthodologies induits par les comptages de cadavres au sol (premiers tests planifiés en 2010 sur la vallée du Rhône).



Merci !





22, bd Maréchal-Foch, BP 58
34 140 Mèze
T. : + 33 (0)4 67 18 46 20
Fax : + 33 (0)4 67 18 65 38
siegesocial@biotope.fr

Mèze, le 25 février 2011

COMMUNIQUE D'INFORMATION SUR LE PROJET CHIROTECH®

A travers ce communiqué, Biotope souhaite corriger certaines informations erronées qui ont circulé sur son projet Chirotech®.

Chirotech® est un dispositif expert breveté de régulation des éoliennes en vue de limiter strictement leur impact négatif sur les chauves-souris tout en répondant aux objectifs de production d'électricité renouvelable. Ce dispositif, développé depuis 2006, a fait l'objet d'une mise en service expérimentale sur le parc de Bouin en Vendée, en 2009 et 2010. Le caractère innovant du concept et les excellents résultats obtenus nous ont permis de gagner le très convoité prix « idée pour la biodiversité » du concours « Entreprises et environnement » co-organisé par l'ADEME et le ministère de l'Ecologie. Or, certaines personnes ont, sur la foi de calculs personnels, contesté la validité de nos résultats. Nous avons donc décidé de demander à un expert indépendant et reconnu dans le milieu de la chiroptérologie (Christian Kerbiriou du Muséum National d'Histoire Naturelle) d'expertiser nos résultats de la façon la plus détaillée et la plus critique possible. Nous venons de recevoir ses conclusions, **lesquelles confirment sans aucune ambiguïté l'efficacité significative de Chirotech® sur la diminution de la mortalité des chauves-souris**, validant ainsi l'approche qui a toujours été la nôtre (voir expertise de C. Kerbiriou en pièce jointe). Nos détracteurs se sont donc trompés et nous sommes heureux de les rassurer sur l'efficacité du dispositif, pour le plus grand bien des chauves-souris. Nous espérons qu'ils reconnaîtront publiquement leur erreur, clôturant ainsi un épisode qui ne peut que nuire à la conservation de la Nature.

Aujourd'hui Chirotech® a fait preuve de son efficacité et de son efficience. Cette solution peut apporter une réponse immédiate à la surmortalité des chauves-souris constatée sur certains parcs et nous encourageons vivement tous les acteurs impliqués dans la conservation de la Nature et tous les promoteurs éoliens responsables à la recommander. En 2011, nous poursuivons nos efforts d'optimisation du dispositif en menant des expérimentations scientifiques sur plusieurs parcs particulièrement impactants. Ces expérimentations se déroulent en collaboration étroite avec certains des meilleurs experts associatifs de la conservation des Chiroptères, en régions PACA et Rhône-Alpes. L'objectif de ces expérimentations est de vérifier l'hypothèse d'obtenir une innocuité quasi-totale des éoliennes sur les chauves-souris tout en garantissant une excellente production énergétique.

Frédéric MELKI
Directeur général

Pour de plus amples informations : chirotech@biotope.fr

ANNEXE TECHNIQUE

COMPARANT LES RESULTATS DIFFUSES SUR LE SITE www.eolien-biodiversite.com AVEC LES RESULTATS AUTHENTIFIES PAR BIOTOPE

1. Résultats diffusés sur le site internet www.eolien-biodiversite.com

Vous pouvez trouver ci-dessous le tableau diffusé sur www.eolien-biodiversite.com :

Relevés bruts de mortalité de chauves-souris effectués par la LPO Vendée sur le site éolien de Bouin						
						Régulation en fonctionnement (Test Chirotech [®])
Année	2003	2004	2005	2006	2008	2009
Durée du suivi	6 mois	1 an	1 an	1 an	3 mois	6 mois
Nombre de Chauves-souris	15	25	21	16	13	28

Fig. 1 : Tableau de la LPO publié sur le site « Eolien et Biodiversité »

28 chauves-souris ont été effectivement retrouvées par l'équipe de la LPO Vendée sous les éoliennes de Bouin au cours de l'année 2009.

L'intitulé de la légende peut prêter à confusion et les données ont ainsi mal été interprétées. Dans la colonne 2009 : « Régulation en fonctionnement », le lecteur pourrait comprendre qu'en période de régulation, la mortalité interannuelle augmente et que le système est inefficace.

La réalité est toute autre : le parc de Bouin compte 8 éoliennes dont 5 ont été régulées par Chirotech[®] du 17 juin au 9 septembre. 3 éoliennes n'ont jamais été régulées. La répartition des 28 chauves-souris mortes durant l'année 2009 est la suivante :

Eoliennes non régulées (3 éoliennes)	23 cadavres
Eoliennes régulées (5 éoliennes)	5 cadavres

On constate dans ce tableau que la grande majorité des chauves-souris tuées en 2009 l'ont été par des éoliennes non régulées. Nous regrettons qu'il y ait eu confusion dans la communication de ces chiffres.

2. Les résultats 2009 authentifiés par Biotope

Le tableau suivant (présent dans notre rapport) synthétise les résultats obtenus en 2009. Il compare, pendant une période de 12 semaines, la mortalité trouvée sous les 3 éoliennes non régulées à celle trouvée sous 3 des éoliennes partiellement régulées.

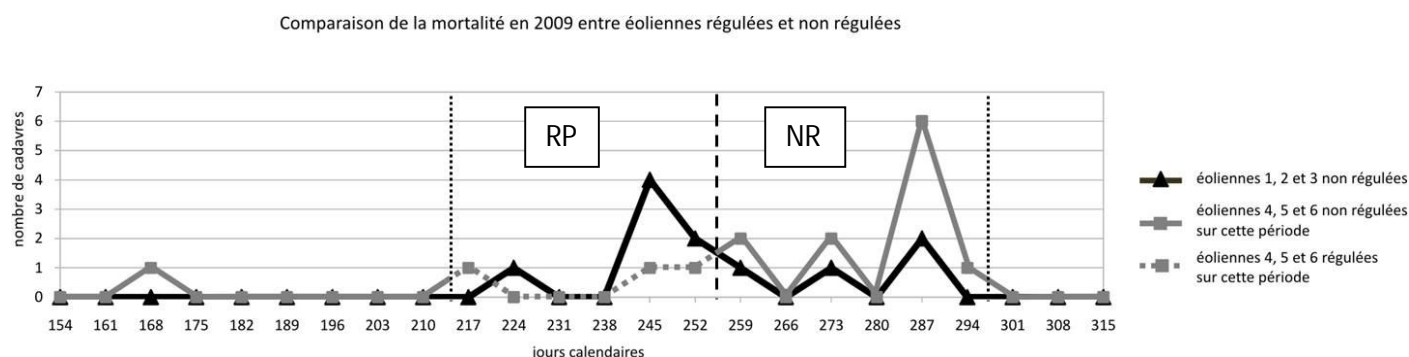


Fig. 2 : Comparaison de la mortalité en 2009 entre un groupe de 3 éoliennes en partie régulées (carrés gris) et un groupe de 3 éoliennes non régulées (triangles noirs).

- Les lignes verticales en pointillées fins correspondent aux limites de la période d'expérimentation.
- La ligne en tirets, indiquant l'arrêt de la régulation, sépare deux périodes :
 - La période RP (régulation partielle) ;
 - La période NR (non régulation).

Il apparaît sur le graphique qu'au cours de la période RP, **la mortalité des éoliennes non régulées est supérieure à la mortalité provoquée par les éoliennes régulées**, qui reste basse pendant les six semaines. Après l'arrêt de la régulation (période NR), la mortalité des éoliennes auparavant régulées augmente nettement, tandis qu'au cours de la même période, celle des éoliennes non régulées baisse.

Même pour un non-spécialiste, les effets de la régulation sont évidents sur ce graphique. Durant les 12 semaines étudiées, les éoliennes régulées n'ont tué que 3 chauves-souris sur 23. Notre rapport contient toutes les analyses statistiques ayant permis d'affirmer **que la régulation possède un effet significatif sur la diminution de la mortalité des chauves-souris (entre 57% et 74%).**

Dans le tableau diffusé des éléments d'information sont manquants, il convient ainsi de rappeler que le parc n'est que partiellement régulé.



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

Paris, 15 Février 2011,

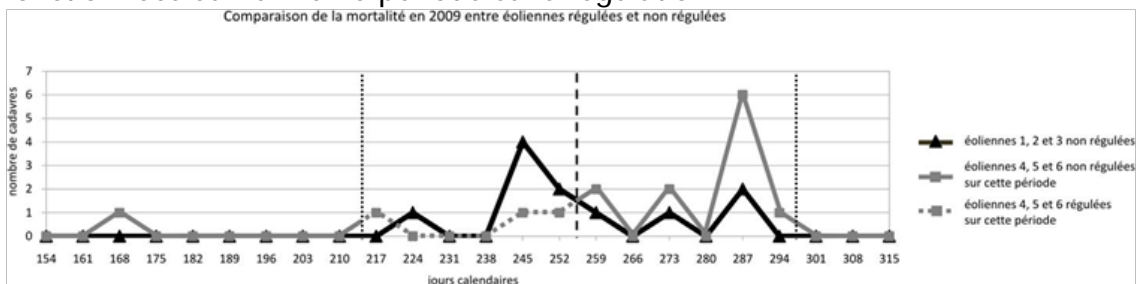
A l'attention de
Mr Hubert Lagrange
Bureau d'Etude Biotope
22, bd Maréchal-Foch
34140 Mèze

Monsieur,

Suite à votre demande d'expertise statistique concernant les tests d'asservissement sur le parc de Bouin en 2009, 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 sur la mortalité des chiroptères. La mortalité étant évaluée ici par le nombre de cadavres récoltés. Le protocole a consisté en la régulation de 3 éoliennes sur une période donnée, puis l'arrêt de cette régulation sur une période équivalente (cf. figure ci dessous extraite du rapport de Biotope de 2009 « *Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin. 2009. Lagrange, Roussel, Ughetto, Prié, Boulnois, Haquart & Melki* »). Ce lot de 3 éoliennes pouvant être comparée à un autres lot de 3 éoliennes ayant fonctionnées sur la même période sans régulation.





Données :

Les données brutes ainsi que les analyses statistiques déjà réalisées ont été transmises par Mr Lagrange.

Résultats :

Pour le lot d'éoliennes disposant d'un système de régulation on passe de 0,17 cadavres par éolienne et par semaine en période de régulation à 0,61 cadavre lors de la période sans régulation. Alors que pour le lot d'éolienne ne disposant pas de système de régulation on passe respectivement de 0,39 cadavres par éolienne et par semaine à 0,22. Cette différence apparaît significative que l'on utilise un test exact de Fisher, une modélisation de type modèle linéaire généralisée avec une loi de poisson (comme cela a été réalisé dans ce rapport) ou une loi négative binomiale (cf. annexe ci jointe). L'approche statistique proposée dans ce rapport apparaît donc correct. On détecte bien un effet sur la mortalité qui peut être attribué à la régulation mise en œuvre.

Si les résultats sont encourageant ils ne doivent pas masquer la faiblesse des effectifs (ici nombre de cadavre récoltés) qui se traduit par des tests certes significatifs mais à la limite de la significativité ($P \approx 0.04$). A cela s'ajoute la portée de l'étude (une seule année). On peut donc souhaiter au moins une répétition de cette expérimentation.

Annexe Scripts et résultats des analyses statistiques réalisées.

Une approche « rustique » peut tout d'abord consister à faire un test exact de Fisher, sur un tableau résumant l'ensemble des données

treatment	before	after
control	7	4
impact	3	11

```
> morta<-read.table("mortalite.txt", h=TRUE, row.names=1)
> attach(morta)
> fisher.test(morta)
Fisher's Exact Test for Count Data
data: morta
p-value = 0.04862
alternative hypothesis: true odds ratio is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.8364755 55.1992700
sample estimates:
odds ratio 5.88716
```

Une autre approche (celle utilisée par Biotope dans son rapport de 2009) pour analyser ce jeu de données est d'avoir recours à un modèle linéaire. Les données étant des comptages, un modèle linéaire généralisé avec loi de poisson semble effectivement le plus approprié.

```
> chirotech<-read.table("mortalitepermachineWeek.txt", h=TRUE)
> attach(chirotech)
> summary(chirotech)
  treatment   period week   machine   deadBats
control:36   after :36   W1:12  E1:12   Min. : 0.000
impact :36   before:36  W2:12  E2:12   1st Qu.: 0.000
                                     W3:12  E3:12   Median : 0.000
                                     W4:12  E4:12   Mean  : 1.879
                                     W5:12  E5:12   3rd Qu.: 5.411
                                     W6:12  E6:12   Max.  :16.234

> deadBats2 = deadBats/5.4112 #on travaille plutôt sur les données brutes, on supprime donc l'effet multiplicateur#
> regul2009.glm<-glm(deadBats2~treatment*period, family=poisson)
> summary(regul2009.glm)
Call:glm(formula = deadBats2 ~ treatment * period, family = poisson)
Deviance Residuals:
  Min    1Q  Median    3Q   Max
-1.1055 -0.8819 -0.6667  0.4552  2.2877

              Estimate Std. Error   z value    Pr(>|z|)
(Intercept)   -1.5041     0.5000   -3.008    0.00263 **
treatmentimpact  1.0116     0.5839    1.733    0.08317 .
periodbefore    0.5596     0.6268    0.893    0.37194
treatmentimpact:periodbefore -1.8589     0.9039   -2.056    0.03974 *
```

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
Null deviance: 67.799 on 71 degrees of freedom



Residual deviance: 61.750 on 68 degrees of freedom
AIC: 112.58

Number of Fisher Scoring iterations: 6

On ne peut pas dire qu'il y ait beaucoup de surdispersion (Residual deviance: 61.750 on 68 degrees of freedom). On peut cependant par précaution corriger toute éventuelle surdispersion avec la correction proposée par Faraway (2006)

```
> dp<-sum(residuals(regul2009.glm,type='pearson')^2)/regul2009.glm$df.res
```

```
> dp
```

```
[1] 1.091673
```

```
> summary(regul2009.glm, dispersion=dp)
```

```
Call:glm(formula = deadBats2 ~ treatment * period, family = poisson)
```

Deviance Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-1.1055 -0.8819 -0.6667 0.4552 2.2877
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.5041	0.5224	-2.879	0.00399 **
treatmentimpact	1.0116	0.6101	1.658	0.09727 .
periodbefore	0.5596	0.6549	0.855	0.39281
treatmentimpact:periodbefore	-1.8589	0.9445	-1.968	0.04904 *

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1.091673)

Null deviance: 67.799 on 71 degrees of freedom

Residual deviance: 61.750 on 68 degrees of freedom

AIC: 112.58

Number of Fisher Scoring iterations: 6

```
> anova(regul2009.glm, test='Chisq')
```

Analysis of Deviance Table

Model: poisson, link: log

Response: deadBats2

Terms added sequentially (first to last)

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL	71	67.799			
treatment	1	0.3609	70	67.438	0.54802
period	1	1.0068	69	66.431	0.31568
treatment:period	1	4.6817	68	61.750	0.03048 *

L'analyse des résidus comme le préconise (Azais & Bardet 2005 ou Crawley 2007) ne fait apparaître aucun signe de violation des hypothèses inhérentes au modèle linéaire. Les résultats peuvent donc être observés en confiance.

Avec des données de comptage, une troisième approche serait d'utiliser une distribution de type négative binomiale, plutôt qu'une loi de poisson. Cette approche, n'apparaît ici pas meilleure que glm poisson, et donne le même résultat.

```
> regul2009.glm.nb<-glm.nb(deadBats2~treatment*period)
```

```
> Anova(regul2009.glm.nb, test='F')
```

Anova Table (Type II tests)

Response: deadBats2

	SS	Df	F	P	r(>F)
treatment	0.329	1	0.3131		0.57765
period	0.950	1	0.9051		0.34480



atment:period 4.517 1 4.3021 0.04185 *
 siduals 71.389 68

> summary(regul2009.glm.nb)

Call: glm.nb(formula = deadBats2 ~ treatment * period, init.theta = 8.763445421,
 link = log)

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.0870	-0.8724	-0.6625	0.4373	2.2142

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.5041	0.5063	-2.971	0.00297 **
treatmentimpact	1.0116	0.5946	1.701	0.08890 .
periodbefore	0.5596	0.6368	0.879	0.37953
treatmentimpact:periodbefore	-1.8589	0.9179	-2.025	0.04284 *

(Dispersion parameter for Negative Binomial(8.7634) family taken to be 1)

Null deviance: 64.815 on 71 degrees of freedom

Residual deviance: 59.001 on 68 degrees of freedom

AIC: 114.52

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 8.8

Std. Err.: 37.4

2 x log-likelihood: -104.52

Référence

Azaïs J.M. & Bardet J.M. 2005. Le modèle linéaire par l'exemple. Dunod, 326pp.

Crawley M.J. 2007. The R book. Wiley 942pp.

Faraway J.J. Extending the linear Model with R. Chapman & Hall, 301pp.

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.

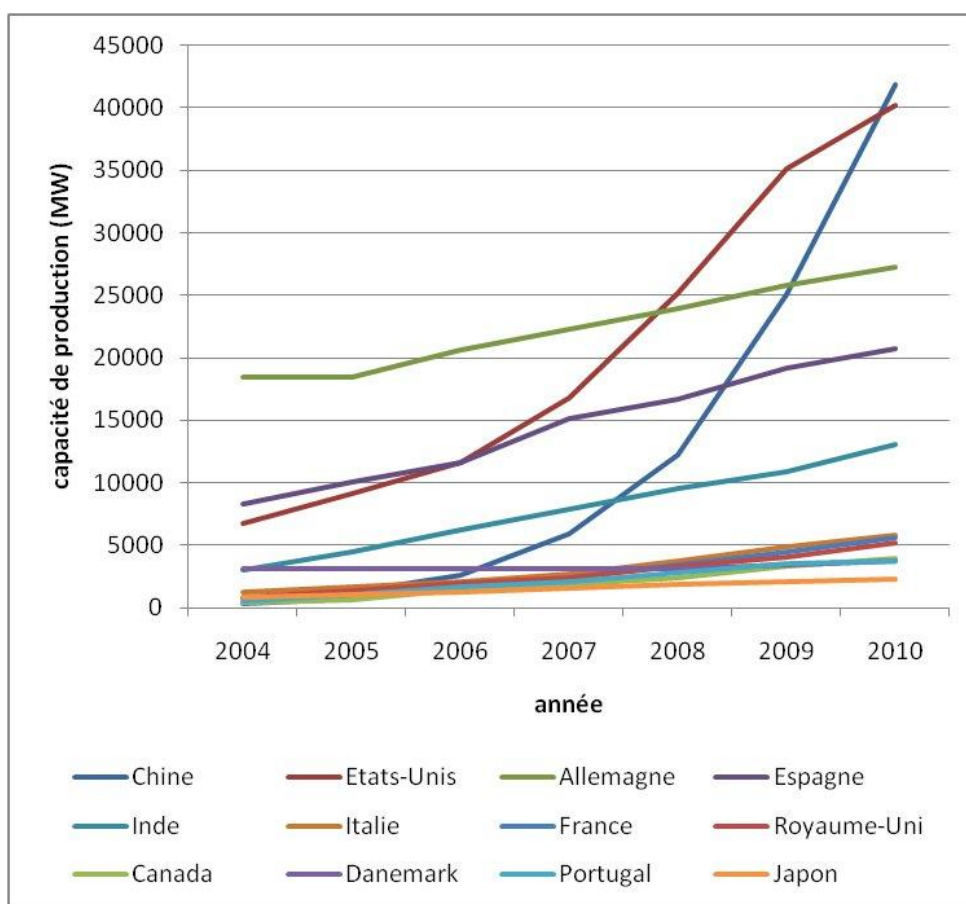


Fig. 1 : Les dix plus gros pays producteurs d'énergie éolienne en 2010 et l'évolution de leur parc depuis 2004.

© 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

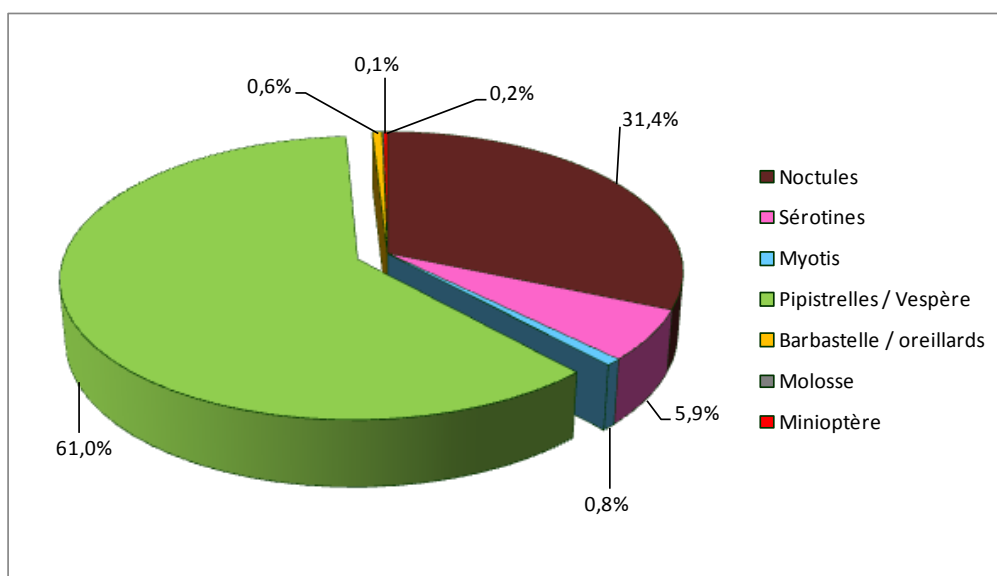


Fig. 2 : Mortalité avérée des chiroptères en Europe, proportion des groupes d'espèces impactés par l'éolien

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).

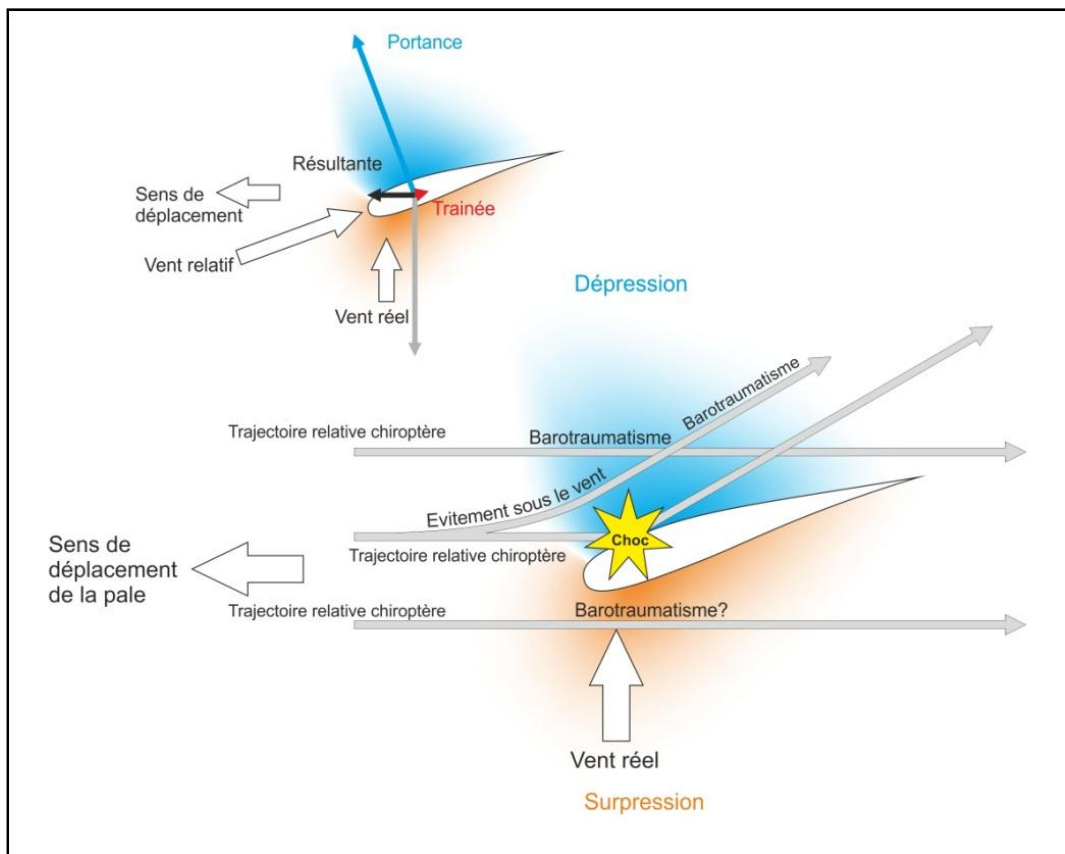


Fig. 3: Représentation schématique des trajectoires de chiroptère donnant lieu à une collision ou un barotraumatisme autour d'une pale en mouvement

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).

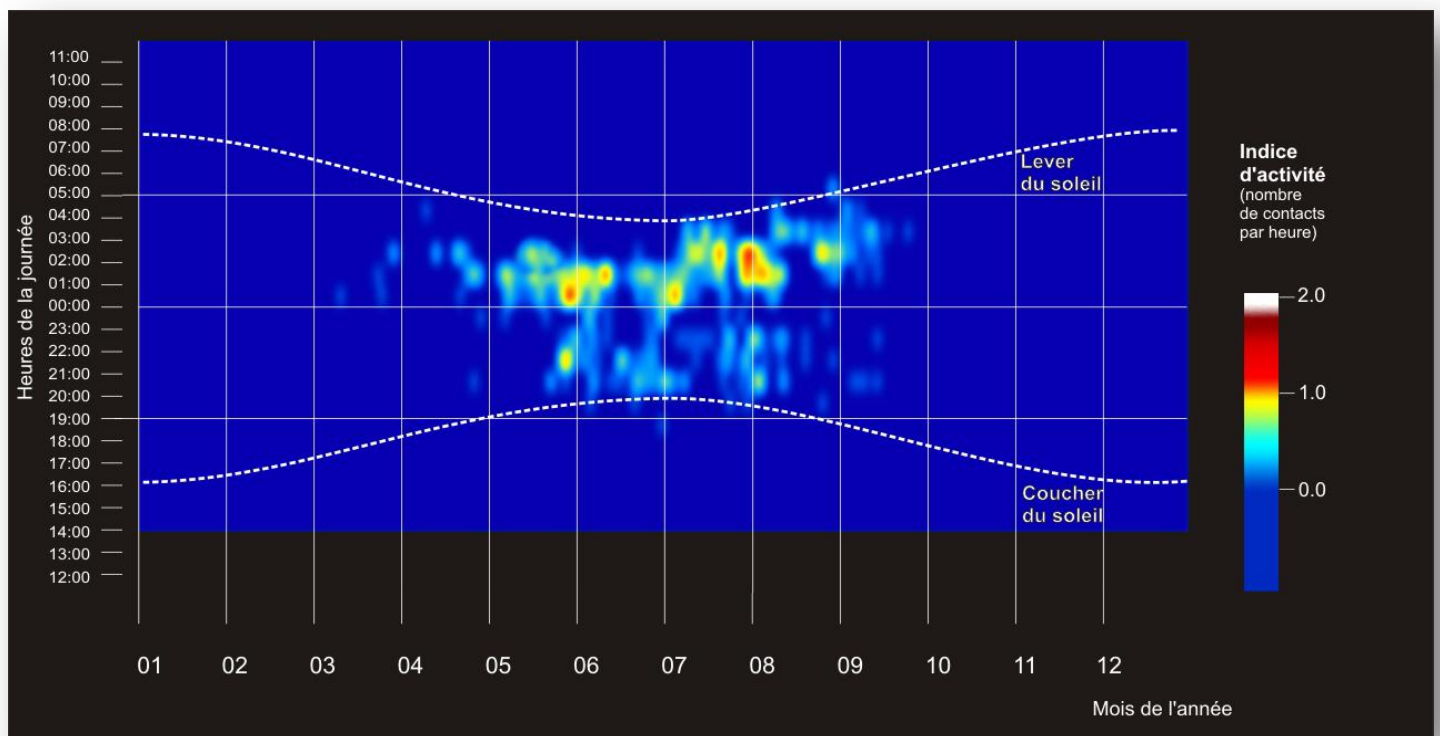


Fig. 5 : Représentation de l'activité des chauves-souris en fonction de la date et de l'heure

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).

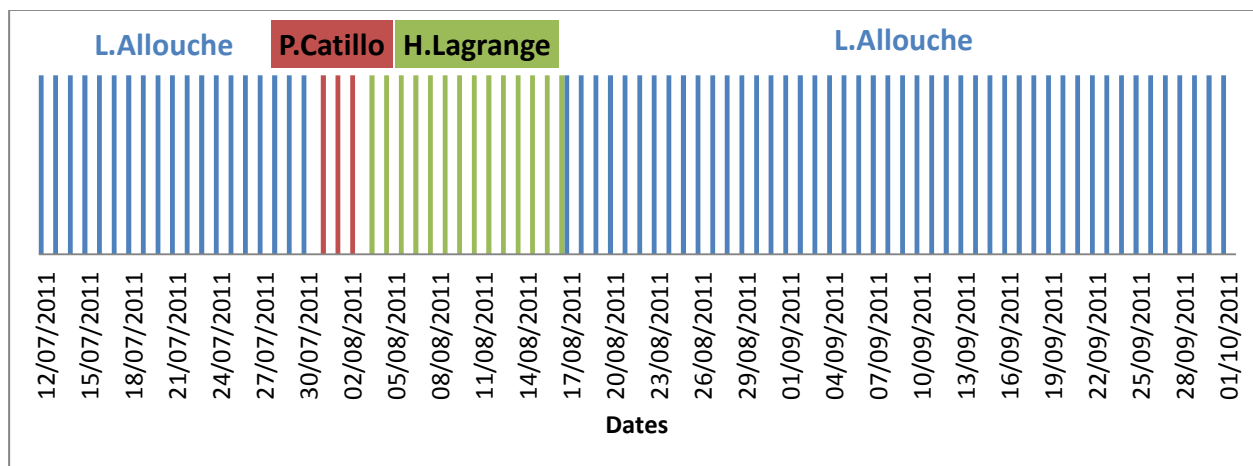


Fig. 6 : Date des relevés selon les observateurs

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.

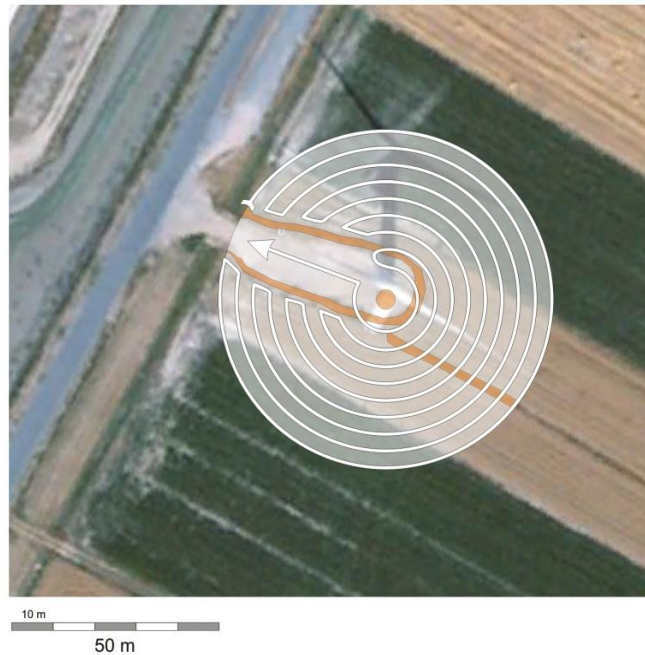


Fig. 7 : Aire et méthode de prospection

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 suivis 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).

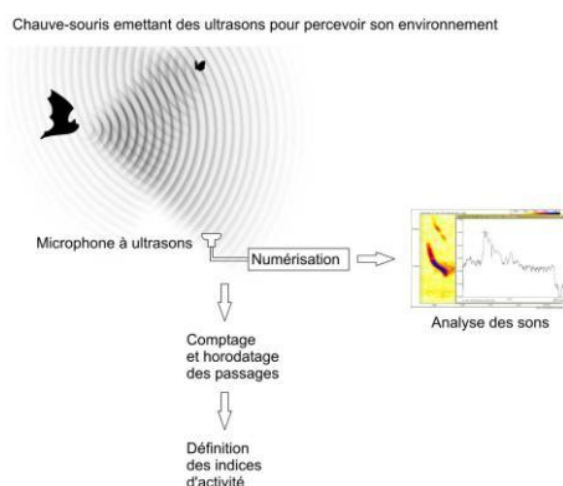


Fig. 8: Schéma principe de détection de chauves-souris et de définition de leur activité par suivi ultrasonore.

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

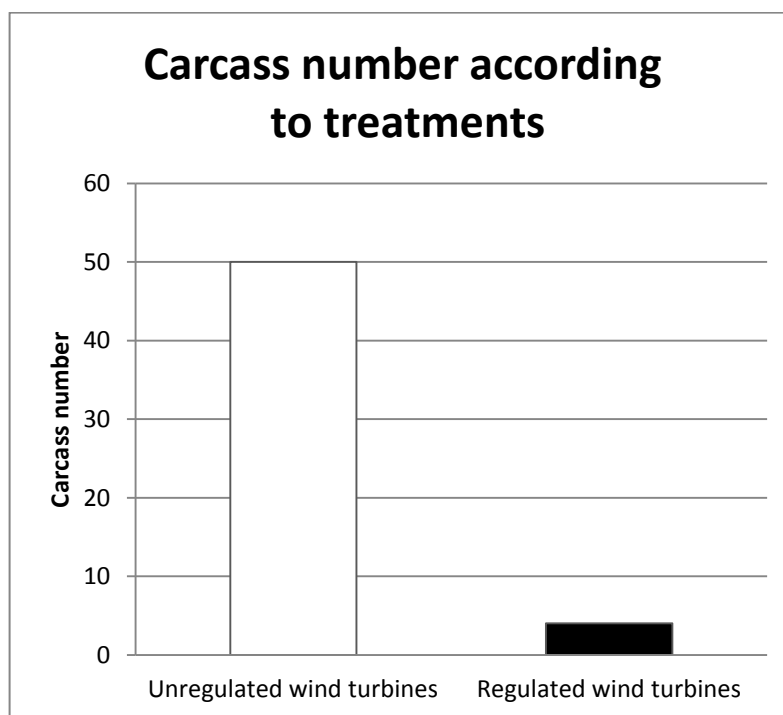


Fig. 9 : Mortalité constaté sous les éoliennes régulées ou non

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

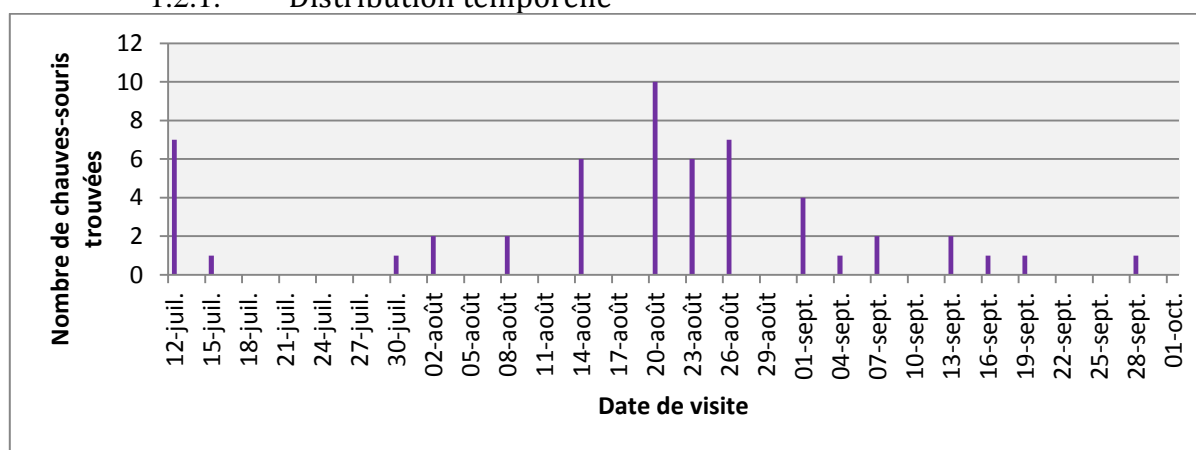


Fig. 10 : Répartition temporelle de la mortalité des chauves-souris

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

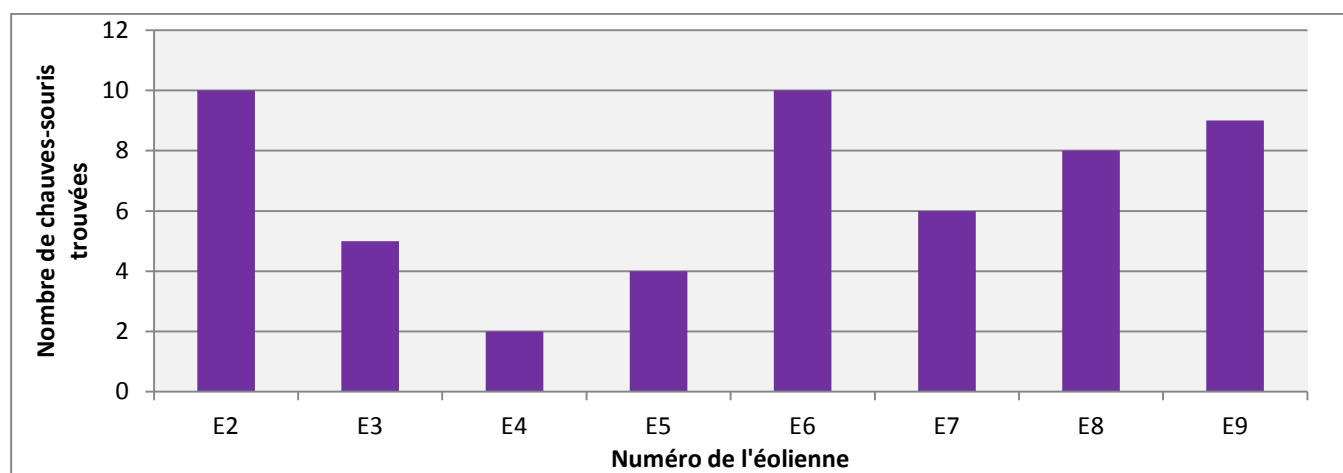


Fig. 11 : Répartition de la mortalité des chauves-souris en fonction du nombre de chauves-souris

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

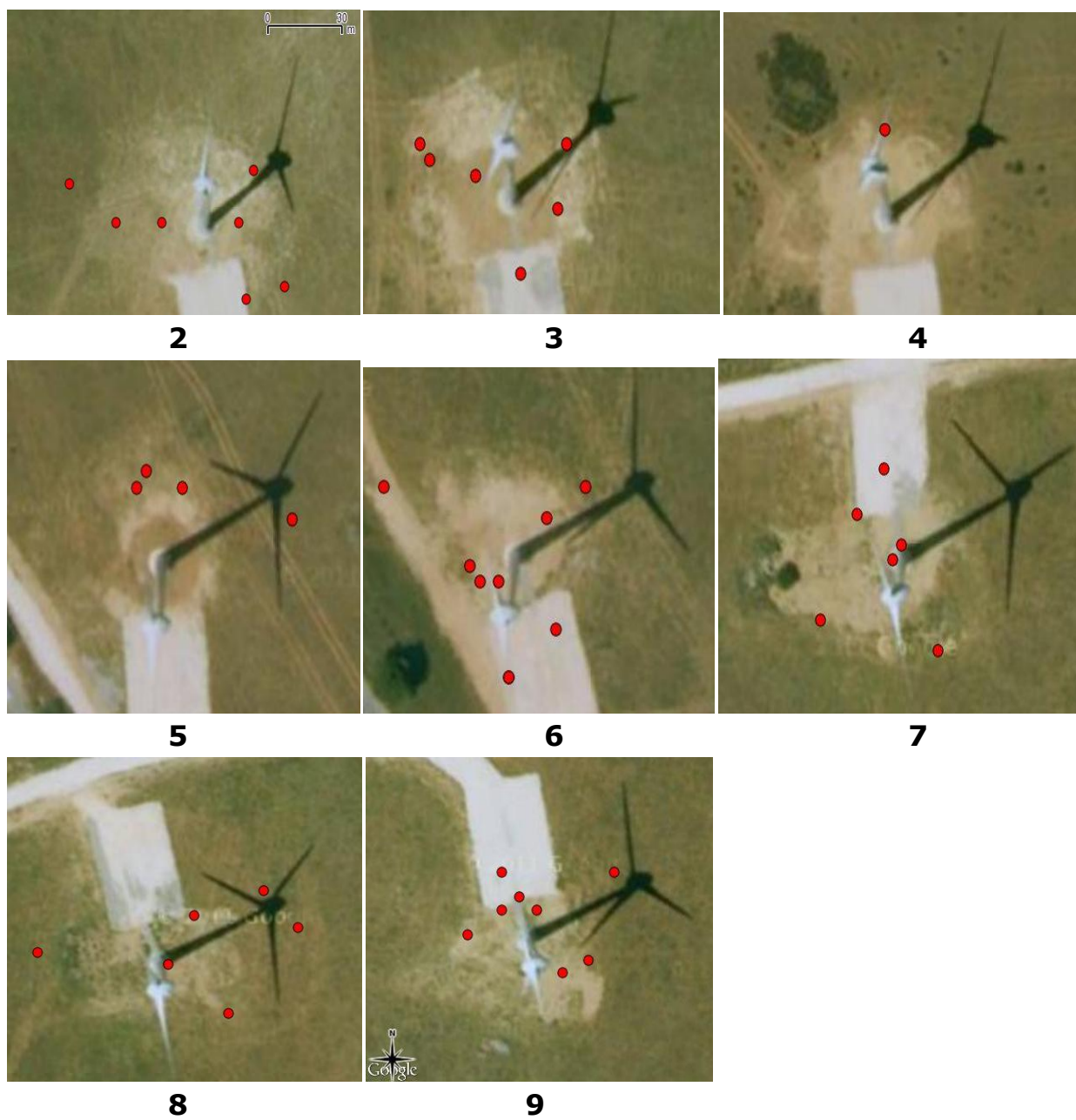


Fig. 13 : Répartition spatiale des cadavres de chauves-souris découverts sur le parc éolien du Mas de Leuze entre le 12 juillet et le 1er octobre 2011 selon le numéro de l'éolienne

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

1.2.3. En fonction de la direction du vent

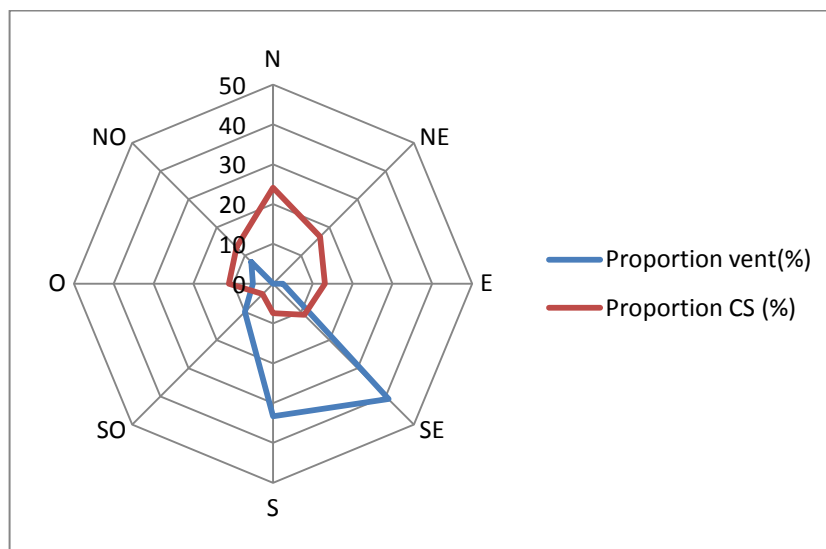
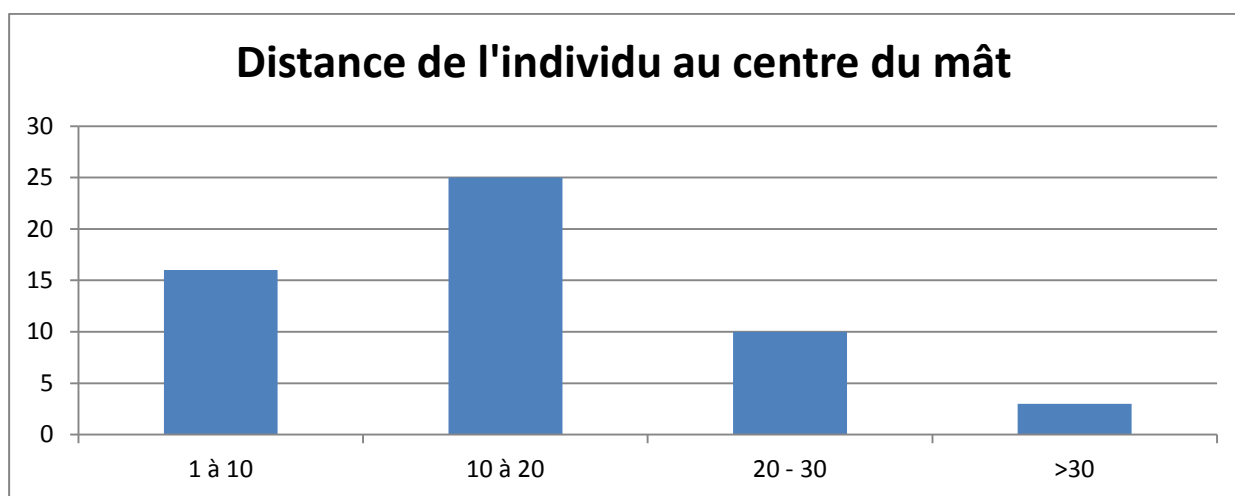


Fig. 14 : Proportion (en pourcentage) du nombre total d'individus trouvés (n=54) selon l'orientation du lieu de leur découverte par rapport au mât (pour l'ensemble de la période de suivi et la totalité des éoliennes) et la direction du vent

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.

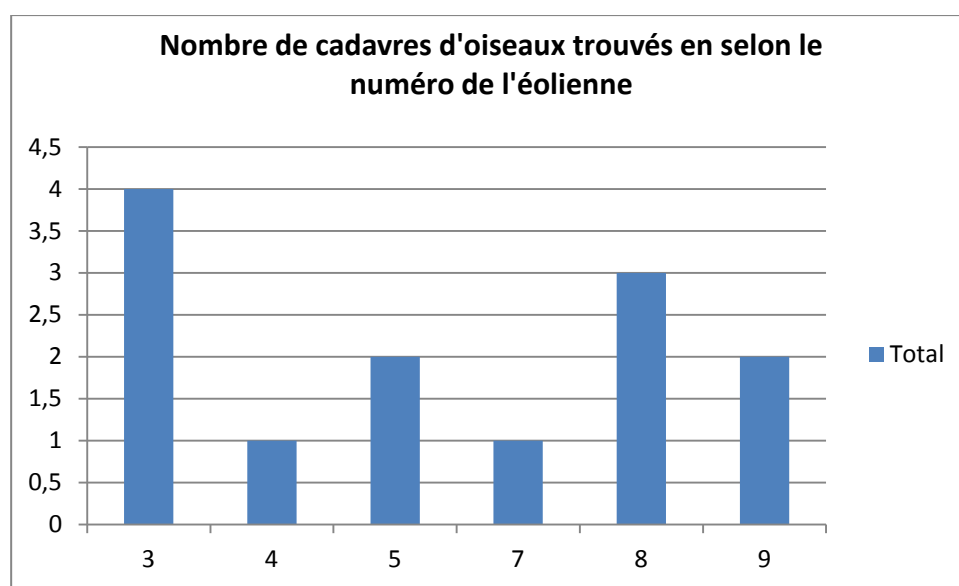


Fig. 17 : Nombre de cadavres d'oiseaux découverts selon le numéro de l'éolienne

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).

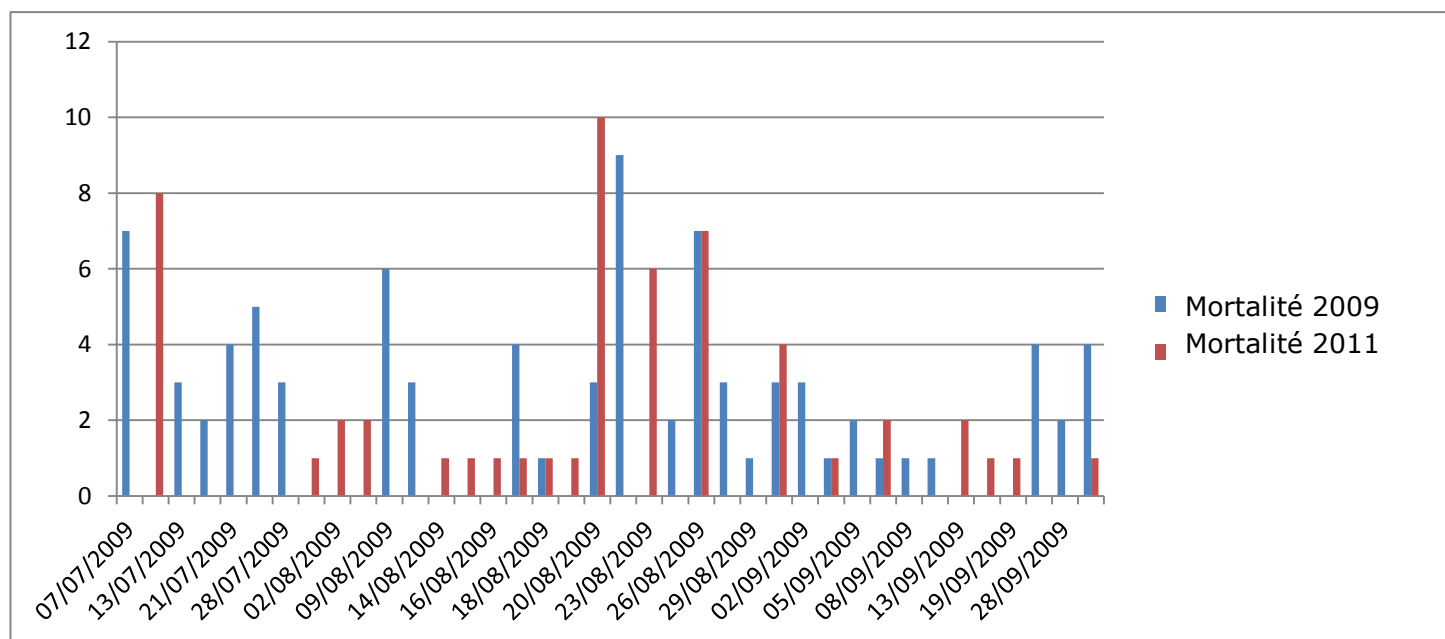


Fig. 18 : Comparaison des répartitions de la mortalité en 2009 et 2011

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

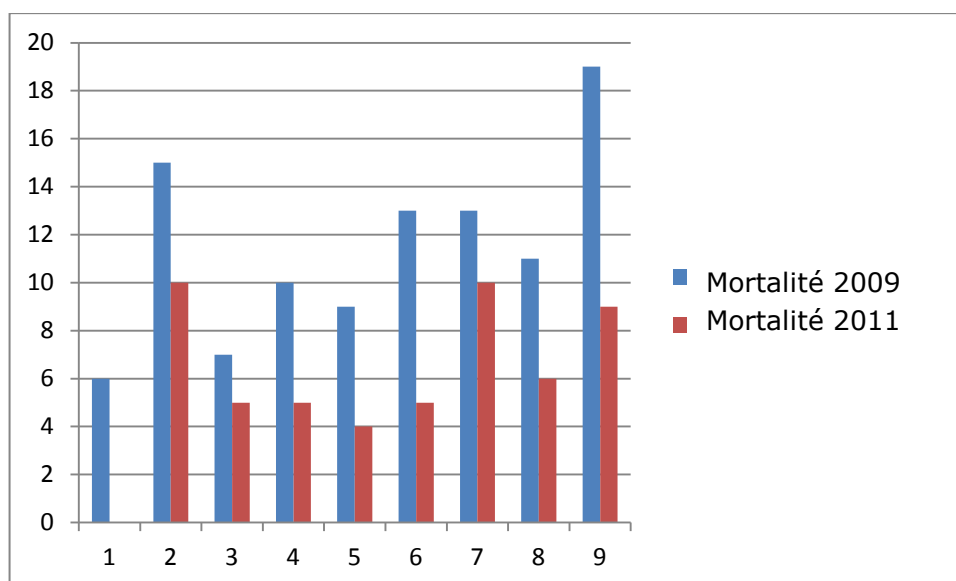


Figure 17 : Comparaison de la répartition spatiale de la mortalité en 2009 et 2011

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).

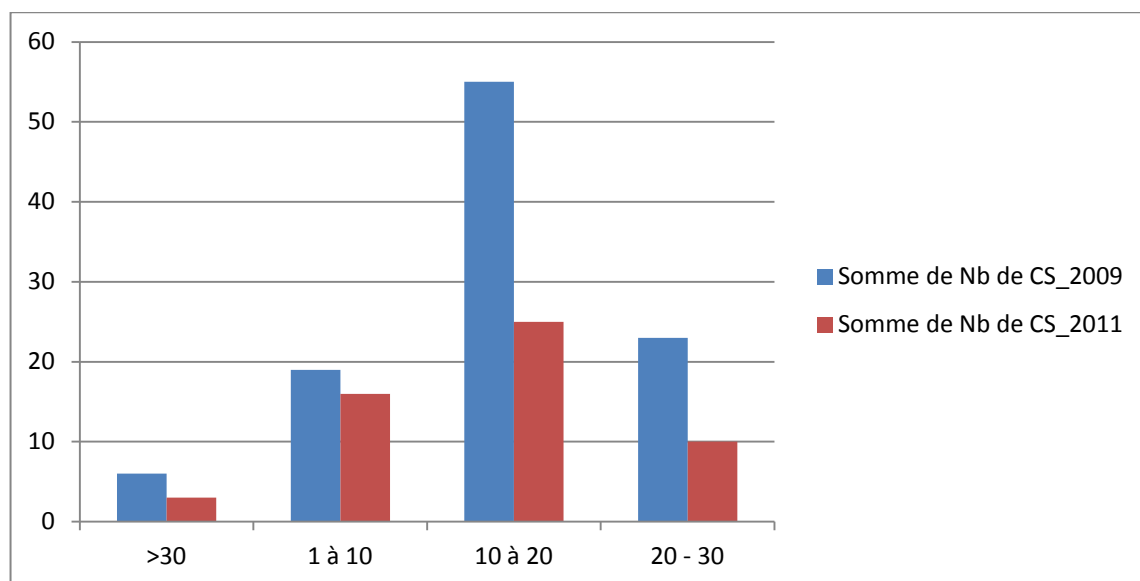


Fig. 18 : Distance entre les cadavres et le centre du mât de l'éolienne

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 échancrées	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 échancrée 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 éolienne suivis 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).

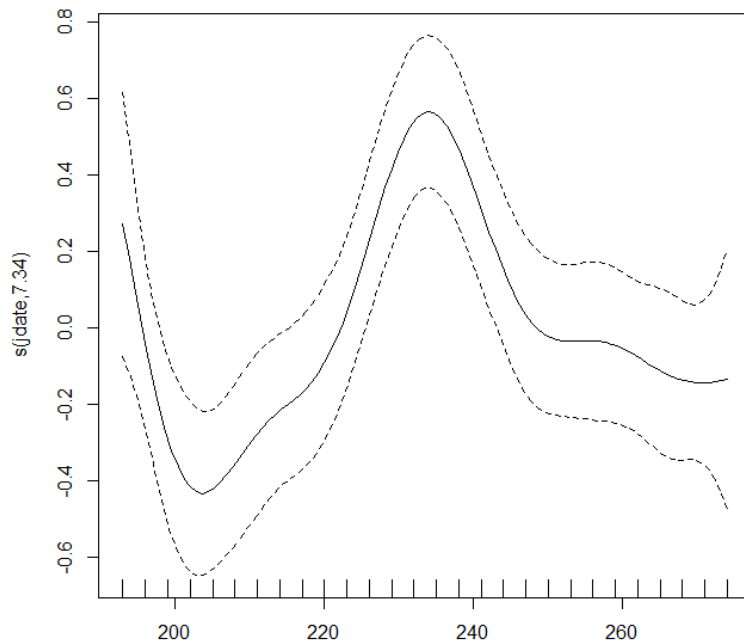
Christian Kerbiriou

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christian Kerbiriou', is placed over a light blue rectangular background.



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

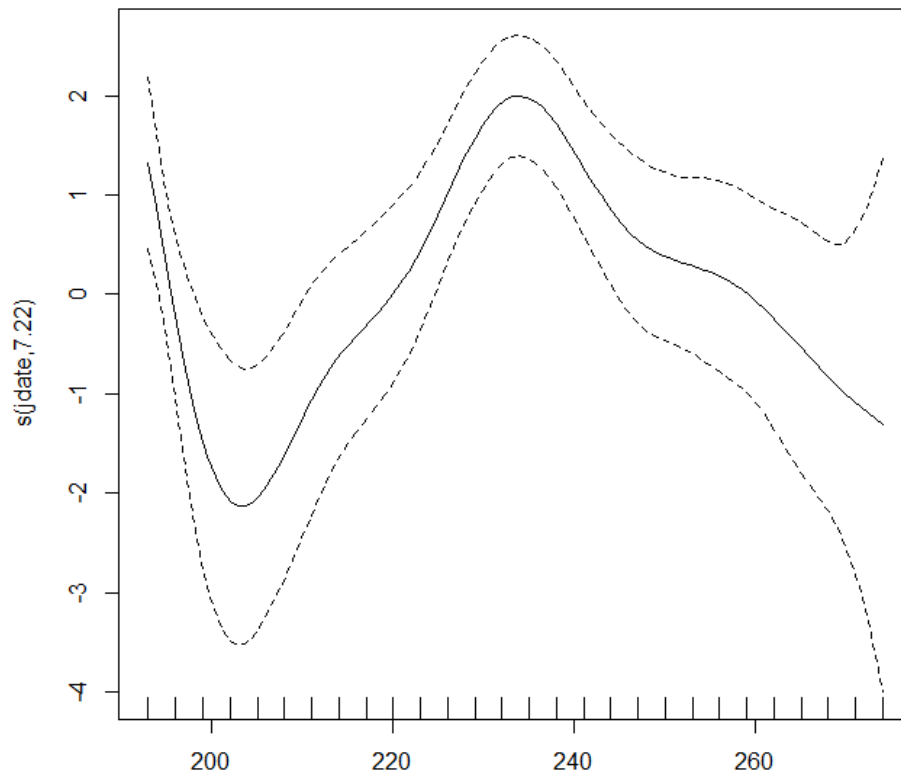
Approximate significance of smooth terms:

	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. Biotopie 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.