



Bureau de coordination énergie éolienne  
Koordinierungsstelle Windenergie

**Traduction du Bureau de coordination énergie éolienne/  
Koordinierungsstelle Windenergie e.V.**

**Études sur les impacts potentiels liés au fonctionnement des éoliennes  
sur les chauves-souris du district de Fribourg**



## Études sur les impacts potentiels liés au fonctionnement des éoliennes sur les chauves-souris du district de Fribourg

Donneur d'ordre :



**Regierungspräsidium  
Freiburg - Referat 56  
Naturschutz und  
Landschaftspflege (District  
de Fribourg - Section 56 -  
Protection de la Nature et  
Conservation du Paysage)**  
avec le soutien de la fondation  
**Stiftung Naturschutzfonds  
Baden-Württemberg  
(Fondation pour la  
Protection de la Nature du  
Bade-Wurtemberg)**  
(projet 0410 L)

Commanditaire :

Bureau d'études  
**Dr Robert Brinkmann**  
Holunderweg 2  
D-79194 Gundelfingen  
Tél. : +49 761-5932580  
Fax : +49 761-5932581  
[www.buero-brinkmann.de](http://www.buero-brinkmann.de)

Réalisation :

**Dr Robert Brinkmann**  
Horst Schauer-Weissahn

en collaboration avec : **Dr Fabio Bontadina**  
SWILD, Zurich

Gundelfingen, le 31/01/2006

<b>Sommaire</b>	<b>Numéro de page</b>
<b>1 Introduction et objectifs</b>	<b>5</b>
<b>2 Collectes de chauves-souris sous les éoliennes</b>	<b>6</b>
2.1 Introduction et problématique .....	6
2.2 Méthodes.....	7
2.2.1 Choix des sites d'étude et des périodes de contrôle .....	7
2.2.2 Détermination de la taille et de la structure des surfaces de recherche.....	13
2.2.3 Recherches et enregistrement des données sur le terrain .....	14
2.2.4 Détermination du taux de disparition des cadavres .....	15
2.2.5 Détermination de l'efficacité de recherche.....	15
2.2.6 Statistiques.....	16
2.3 Résultats .....	16
2.3.1 Nombre, espèces et statut des chauves-souris trouvées.....	16
2.3.2 Répartition saisonnière des victimes .....	19
2.3.3 Influence du site d'implantation et du type d'éolienne .....	20
2.3.4 Lieux de découverte des cadavres par rapport au pied du mât .....	22
2.3.5 Efficacité de la recherche.....	27
2.3.6 Taux de disparition des cadavres .....	27
2.3.7 Estimation du nombre effectif de victimes de collision .....	30
2.3.8 Nombre et espèces des oiseaux trouvés.....	32
2.4 Discussion .....	33
2.4.1 Espèces et statut des chauves-souris victimes de collision .....	33
2.4.2 Nombre de chauves-souris victimes de collision .....	34
2.4.3 Variation du nombre de victimes de collision selon les années .....	38
2.4.4 Répartition saisonnière des victimes .....	39
2.4.5 Influence du site d'implantation et du type d'éolienne .....	39
<b>3 Examen des victimes de collision</b>	<b>40</b>
3.1 Introduction et problématique .....	40
3.2 Méthodologie .....	40
3.3 Résultats .....	41
3.3.1 Fractures du crâne et blessures apparentes .....	41
3.3.2 Résultat des autopsies.....	42
3.4 Discussion et bilan provisoire sur les causes de mort.....	42
<b>4 Observation de l'activité des chauves-souris près des éoliennes à l'aide d'une caméra thermique</b>	<b>43</b>
4.1 Introduction et problématique .....	43



<b>4.2</b>	<b>Méthodologie .....</b>	<b>44</b>
4.2.1	Sélection des sites et des périodes d'observation.....	44
4.2.2	Démarche adoptée et équipement technique.....	45
4.2.3	Tests visant à déterminer la profondeur d'observation, ainsi que le type des objets observés et à développer un système de classification des observations .....	47
<b>4.3</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>49</b>
4.3.1	Nombre et répartition des objets observés pendant la période d'étude .....	49
4.3.2	Comportement de regroupement ou d'inspection.....	50
4.3.3	Activité sur les différents sites d'étude.....	51
4.3.4	Répartition de l'activité pendant les phases d'observation nocturnes .....	52
4.3.5	Activité en fonction de la vitesse du vent.....	54
<b>4.4</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>56</b>
4.4.1	Identification des objets volants et détermination de la profondeur d'observation ....	56
4.4.2	Observations comportementales à proximité des éoliennes .....	57
4.4.3	Comparaison de l'activité sur les différents sites d'étude .....	57
4.4.4	Activité et vitesse du vent .....	58
<b>5</b>	<b>Évaluation environnementale des résultats de l'étude .....</b>	<b>59</b>
5.1	Réglementations relatives à la protection des espèces .....	59
5.2	Évaluation des impacts des éoliennes sur les chauves-souris selon les espèces .. .....	60
5.3	Mesures destinées à évaluer l'importance des préjudices dus aux collisions des chauves-souris avec les éoliennes .....	62
<b>6</b>	<b>Recommandations pour le respect de la réglementation relative à la protection des espèces dans les procédures de planification et d'autorisation .....</b>	<b>64</b>
6.1	Situation dans le district de Fribourg .....	64
6.2	Études préliminaires relatives au site d'implantation permettant de déterminer les préjudices éventuels.....	64
6.3	Mesures pour éviter les impacts liés au fonctionnement des éoliennes .....	66
6.3.1	Choix du site .....	66
6.3.2	Prévention des impacts par limitation des heures d'exploitation.....	66
<b>7</b>	<b>Résumé .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>71</b>
<b>Annexe</b>	<b>.....</b>	<b>74</b>

# 1 Introduction et objectifs

La découverte de cadavres de chauves-souris retrouvés sous différentes installations éoliennes en Allemagne a dernièrement attiré l'attention de l'opinion publique sur un nouveau terrain de conflit entre l'utilisation de l'énergie éolienne et la protection des espèces. Les collectes de cadavres de chauves-souris dans les parcs éoliens du land de Brandebourg (DÜRR 2002) ont notamment prouvé que ces dernières pouvaient entrer en collision avec les éoliennes. Les premières recherches systématiques réalisées dans les parcs éoliens de la Saxe indiquent même qu'un nombre de victimes assez important est à déplorer dans certains cas (TRAPP *et al.* 2002). Au vu de ces résultats, la question de la protection des chauves-souris, de même que celle de la protection des oiseaux, prend de plus en plus d'importance dans les procédures d'autorisation relatives à la construction d'installations éoliennes.

De nouvelles études (cf. ARNETT 2005) montrent de plus en plus clairement que les effets sur les chauves-souris et leurs biotopes sont liés, dans l'ensemble, à l'implantation, ainsi qu'à l'exploitation d'installations éoliennes. Le niveau actuel des connaissances permet de supposer que les effets mortels, notamment les collisions<sup>1</sup> entre les chauves-souris et les éoliennes, ont des répercussions nettement plus importantes sur les populations que les effets non mortels (dérangements, désertions ou pertes d'habitat) accompagnant la construction, les installations ou l'exploitation d'éoliennes (cf. BACH & RAHMEL 2004, BRINKMANN 2004, HÖTTKER *et al.* 2005). Ainsi, l'étude présentée ici aborde exclusivement la question de ce risque de collision et ses conséquences.

Toutes les recherches systématiques sur les collisions entre les chauves-souris et les éoliennes qui ont été réalisées avant le début de cette étude au mois de juillet 2004 se réfèrent essentiellement à des sites d'implantation sur des exploitations agricoles du nord et de l'est de l'Allemagne. Étant donné que les éoliennes du district de Fribourg ont été implantées en priorité sur les hauteurs boisées de la Forêt-Noire et ses contreforts en raison d'un régime des vents caractéristique, la question s'est posée de savoir s'il était possible de transposer les résultats obtenus dans le nord et le centre de l'Allemagne aux conditions indiquées ici.

En premier lieu, l'objectif de cette étude consiste donc à contrôler si les chauves-souris entrent en collision avec les éoliennes existantes dans le district de Fribourg. Si tel est le cas, le nombre de collisions et leurs causes devront ensuite être déterminés, dans la mesure du possible.

C'est en poursuivant cet objectif qu'une recherche à grande échelle de cadavres de chauves-souris a d'abord été effectuée à la fin de l'été et à l'automne 2004 sous 32 éoliennes du district de Fribourg. Les résultats de cette cartographie d'ensemble ont déjà été présentés de façon exhaustive dans le cadre d'un rapport intermédiaire datant du mois de novembre 2004 (BRINKMANN & SCHAUER-WEISSHAHN 2004). Le district de Fribourg a publié en 2005 un résumé de ce rapport sur Internet.

---

<sup>1</sup> Plusieurs études ont largement démontré que la mort des chauves-souris retrouvées au pied des éoliennes était due à une collision avec ces dernières ou aux remous générés dans leur environnement immédiat. Par la suite, nous emploierons le terme « collision » (et par extension « victime de collision » pour les animaux trouvés morts).pour ces deux causes de mortalité qu'il est parfois difficile de distinguer.

En 2005, la recherche de victimes de collision s'est poursuivie sous huit éoliennes sélectionnées lors des périodes allant du début du mois d'avril à la mi-mai et de la mi-juillet à la mi-octobre. De plus, plusieurs tests ont été réalisés afin de déterminer l'efficacité de la recherche et le taux de disparition des cadavres, et permettre une estimation du nombre réel des victimes de collision. En 2004 et en 2005, Madame le Docteur Ursel Häußler a examiné de plus près l'ensemble des cadavres de chauves-souris dans son laboratoire afin d'obtenir des informations plus précises sur le statut des animaux et notamment sur la cause de leur mort.

Toujours dans le but de récolter des renseignements complémentaires sur le lieu et la raison des collisions, le comportement des chauves-souris autour d'éoliennes préalablement sélectionnées a été observé à l'aide d'une caméra à images thermiques. Ces observations devaient venir compléter et confirmer les enseignements fournis par les collectes de cadavres au regard des divers taux de collision enregistrés sur des sites de différents types dans des conditions atmosphériques variées.

La deuxième partie de l'étude proposera, en s'appuyant sur les résultats obtenus, une évaluation du risque d'impact lié à l'implantation et à l'exploitation d'éoliennes pour les chauves-souris qui sont particulièrement protégées dans le district de Fribourg en vertu du droit de la protection des espèces. Ce travail de recherche permet en outre de formuler une série de recommandations destinées à éviter et réduire les impacts éventuels, liés au fonctionnement des éoliennes, pour les chauves-souris. Cette section présente également divers conseils pour une prise en compte de la réglementation de la protection des espèces dans le cadre des procédures d'autorisation.

## 2 Collectes de chauves-souris sous les éoliennes

### 2.1 Introduction et problématique

Les premières recherches datant du milieu des années 90 avaient pour objectif d'analyser les éventuels dérangements causés aux chauves-souris sur leurs habitats de chasse ou leurs routes de vol (BACH *et al.* 1999, 2001). Bien que les observations de chercheurs australiens (HALL & RICHARDS 1972) et américains (OSBORN *et al.* 1996) aient prouvé en principe que les chauves-souris étaient également susceptibles d'entrer en collision avec des éoliennes, il aura fallu attendre l'an 2000 pour que débutent les collectes de cadavres en Allemagne. Les résultats des collectes publiés jusqu'à présent concernent le plus souvent des chauves-souris retrouvées par hasard (p. ex. VIERHAUS 2000, DÜRR 2002, 2004) qui ne permettent aucune interprétation quant au type et au nombre de collisions.

Il n'existe ni étude systématique ni découverte fortuite de cadavres de chauves-souris sous des éoliennes dans tout le sud de l'Allemagne (Bavière, Bade-Wurtemberg) (cf. DÜRR 2004). Les rares recherches effectuées à ce jour de façon relativement systématique sont presque toujours consacrées aux sites éoliens implantés dans les paysages ruraux dégagés du nord-est et du centre de l'Allemagne (p. ex. Brandebourg DÜRR 2004, Saxe ENDL 2004). À l'exception de l'étude du parc éolien de Puschwitz (*Vorwaldstadien in der Kulturlandschaft des Oberlausitzer Gefildes* [Stades préforestiers dans le paysage culturel de l'Oberlausitzer Gefilde] cf. TRAPP *et al.* 2002), les recherches menées en forêt font largement défaut.

La présence et l'étendue du phénomène dans le sud de l'Allemagne, et plus particulièrement dans le district de Fribourg, étaient donc totalement incertaines au début de l'étude. Étant donné que les paysages du sud-ouest de l'Allemagne, notamment ceux de la Haute Forêt-Noire, présentent des espèces de chauves-souris différentes et revêtent également une toute autre importance que les paysages ruraux du nord et du centre de l'Allemagne, à l'échelle suprarégionale pour les espèces migratrices au long cours, les résultats obtenus dans ces zones ne pouvaient de toute évidence être transposés tels quels à la situation observée dans le district de Fribourg.

La recherche systématique de victimes sous des éoliennes déjà en service constitue donc la méthode la plus simple et la plus claire permettant de prouver les collisions. C'est cette dernière qui a été choisie pour contribuer à répondre aux questions suivantes :

- ▶ Les chauves-souris entrent-elles en contact avec les éoliennes dans le district de Fribourg ? Autrement dit, découvre-t-on des chauves-souris mortes sous les éoliennes existantes ?
- ▶ Si oui, quelles sont les espèces de chauves-souris concernées ?
- ▶ Les résultats peuvent-ils varier selon les régions, les périodes ou les types d'éoliennes ?
- ▶ Quelle est l'ampleur des collisions de chauves-souris avec les éoliennes ?

## 2.2 Méthodes

### 2.2.1 Choix des sites d'étude et des périodes de contrôle

#### Année 2004

L'objectif de la première phase de recherche de la fin de l'été et de l'automne 2004 était en premier lieu d'obtenir une vue d'ensemble des victimes de collision survenues dans le district de Fribourg. Par conséquent, 16 éoliennes ont fait l'objet d'une sélection afin d'effectuer un contrôle systématique au cours de la période de recherche. En outre, 16 éoliennes supplémentaires ont été seulement contrôlées à deux ou trois reprises<sup>2</sup>. Dans l'ensemble, les contrôles ont été réalisés sous des éoliennes de types différents (hauteur du moyeu, diamètre du rotor) implantées dans divers espaces naturels (contreforts, Haute Forêt-Noire, plateau de la Baar). Le tableau 1 propose une vue d'ensemble des éoliennes contrôlées à intervalles réguliers. Les données exactes relatives aux autres éoliennes contrôlées (caractéristiques, contrôle) figurent dans le tableau A-2 en annexe. L'illustration 1 présente l'emplacement de tous les sites contrôlés.

Les recherches de victimes sous les 16 éoliennes sélectionnées pour un contrôle systématique ont été effectuées à intervalles de cinq jours pendant la période allant du mois d'août au mois

<sup>2</sup> Hornberg 1+2, Schweighausen 1+2, Herbolzheim, Reichenbach-Windkapf 1-3, Schonach 1+2, Rohrhardsberg, Neueck 1+2 et Gutenbach-Kaisersebene 1-3

d'octobre 2004. Les contrôles ont été réalisés sur deux journées consécutives<sup>3</sup>. Les éoliennes de Schillinger Berg 1+2, Hohe Eck, Brudergarten 1-3 et Mahlberg 1-3 (groupe 1) ont été contrôlées le premier jour puis celles de Plattenhöfe 1-4, Fürstenberg et Holzschlägermatte 1+2 (groupe 2)<sup>4</sup> l'ont été le lendemain. Le premier contrôle date du 03-04/08/04 et le dernier a été effectué le 28/10/04. Ainsi, dans le cadre des contrôles systématiques, le programme se compose au total de 18 dates pour les éoliennes du groupe 1 et de 17 pour celles du groupe 2. Plusieurs de ces éoliennes ont également fait l'objet, certains jours, de contrôles supplémentaires réalisés en dehors du pas de temps habituel (Brudergarten 1 : 01/08/04 ; Schillinger Berg 1 : 21/09 + 24/10/04 ; Hohe Eck : 24/10/04).

Tabl. 1 : Caractéristiques des éoliennes contrôlées à intervalles réguliers

(contrôles en 2004 de fin juillet à fin octobre sous l'ensemble des 16 éoliennes, contrôles en 2005 de début avril à mi-mai, puis de mi-juillet à mi-octobre sous les 8 éoliennes figurant en caractères gras dans le tableau).

Site/ désignation de l'éolienne	Type	Hauteur du moyeu (m)	Ø du rotor (m)	Milieu	Altitude (m)
Ettenheim Mahlberg 1	Nordex N 80	80	80	Ventis	470
Ettenheim Mahlberg 2	Nordex N 80	80	80	Forêt	470
<b>Ettenheim Mahlberg 3</b>	Südwind S 77	90	77	Forêt	500
<b>Ettenheim Brudergarten 1</b>	Nordex N 62	69	62	Forêt	470
<b>Ettenheim Brudergarten 2</b>	Nordex N 62	69	62	Forêt	470
<b>Ettenheim Brudergarten 3</b>	Nordex N 62	69	62	Forêt/ventis	470
<b>Freiamt Hohe Eck</b>	Enercon E 66	86	70	Forêt	600
<b>Freiamt Schillinger Berg 1</b>	Enercon E 66	86	70	Forêt	720
Freiamt Schillinger Berg 2	Enercon E 66	86	70	Prairie	710
St. Peter Plattenhöfe 1	Enercon E 40	78	44	Prairie/forêt	1 000
Simonswald Plattenhöfe 2	NEG Micon 60/1000	70	60	Prairie/forêt	1 000
Simonswald Plattenhöfe 3	NEG Micon 60/1000	70	60	Prairie/forêt	1 000
Simonswald Plattenhöfe 4	NEG Micon 60/1000	70	60	Prairie	1 000
<b>Horben Holzschlägermatte 1</b>	Enercon E 66	98	70	Forêt	920
<b>Horben Holzschlägermatte 2</b>	Enercon E 66	98	70	Forêt	920
Fürstenberg	REpower MD 77	90	77	Prairie	920

## Année 2005

Les résultats des recherches menées en 2004 avaient principalement prouvé l'existence de collisions de chauves-souris avec les éoliennes dans la zone d'étude. Par conséquent, les recherches devaient permettre de contrôler :

- ▶ si des victimes de collision peuvent être également observées sous les éoliennes à d'autres saisons, notamment lors de la migration des chauves-souris au printemps ou au début de l'été, et

<sup>3</sup> Il a fallu décaler d'un jour les dates de contrôle du 02-03/09/2004 pour les groupes 1+2 et du 27/10/2004 pour le groupe 1.

<sup>4</sup> Lors du contrôle (groupe 2) du 04/09/2004, les éoliennes de Plattenhöfe 1-4 n'ont pas été inspectées (herbes trop hautes), ce qui a permis d'approfondir les recherches sous les installations de Kaisersebene 1-3 et Neueck 1+2. Le dernier contrôle du groupe 2 n'a pas eu lieu en raison de mauvaises conditions météorologiques persistantes.



- ▶ s'il existe des différences entre les années au niveau du nombre de victimes.

D'après des études réalisées par d'autres chercheurs, les collisions sont relativement rares au printemps (cf. DÜRR 2004). Par conséquent, les éoliennes présentant un nombre important de victimes ont été sélectionnées afin de vérifier l'hypothèse liée à la saison. Ces sites se sont également révélés pertinents pour répondre à la seconde problématique car la totalité des éoliennes se trouvait en milieu forestier, ce qui permettait des recherches systématiques et relativement aisées, contrairement à celles situées dans les prairies.

Lors de l'analyse des résultats obtenus en 2005, il est par conséquent nécessaire de prendre en considération que les éoliennes choisies ne sont en aucun cas représentatives de toutes les installations du district de Fribourg. Il s'agit plutôt des éoliennes qui ont enregistré les taux de mortalité les plus élevés en 2004. Elles ont été sélectionnées de façon ciblée pour des raisons de méthodologie en s'inscrivant dans la perspective d'une vérification des hypothèses.



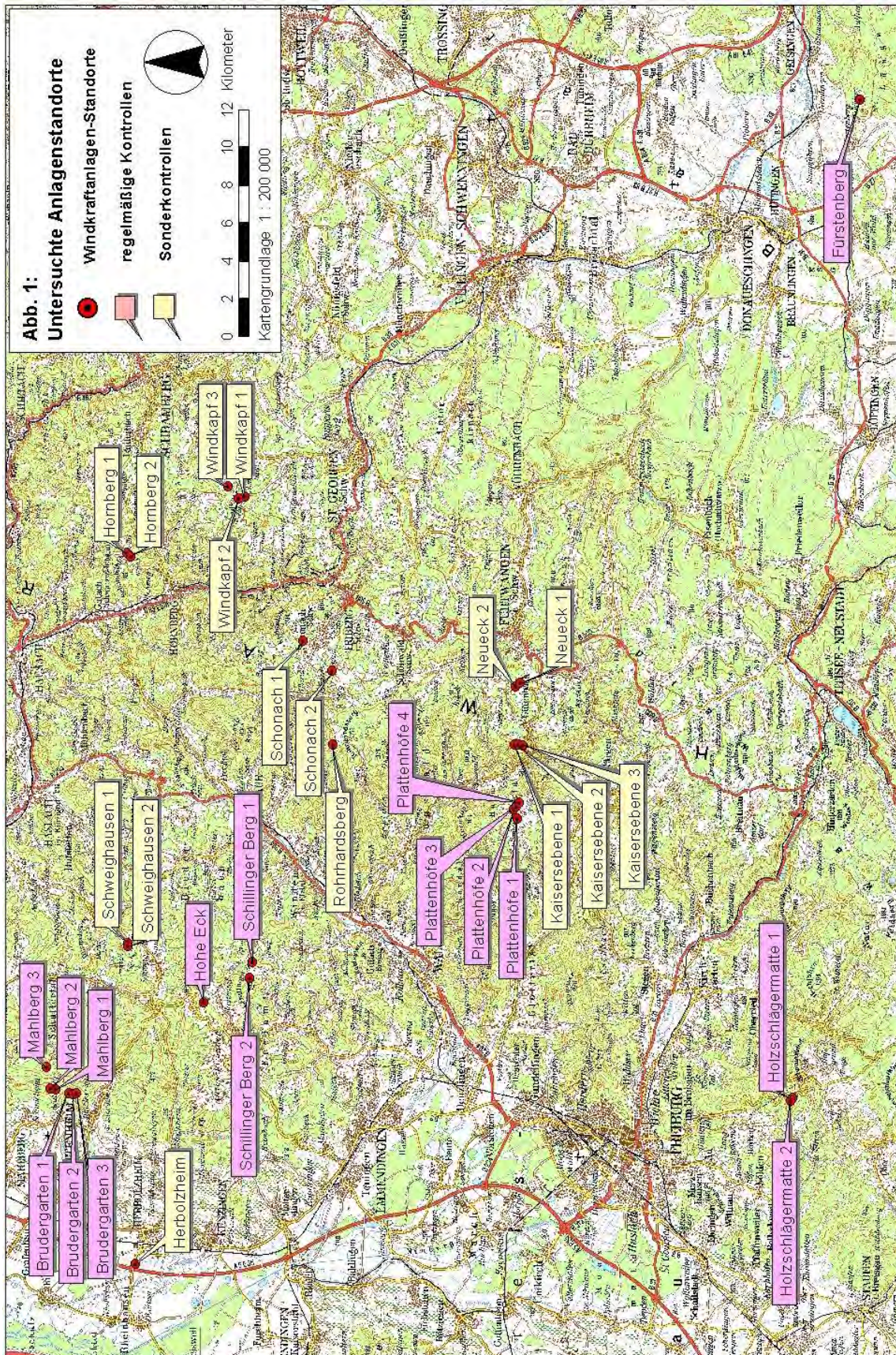


Abb.1: Fig.1 :

Untersuchte Anlagenstandorte	Sites d'étude
Windkraftanlagen-Standorte	Sites des éoliennes
regelmäßige Kontrollen	Contrôles réguliers
Sonderkontrollen	Contrôles occasionnels
0 2 4 6 8 10 12 Kilometer	0 2 4 6 8 10 12 kilomètre(s)
Kartengrundlage 1 : 200 000	Échelle de la carte 1/200 000
Brudergarten 1	Brudergarten 1
Brudergarten 2	Brudergarten 2
Brudergarten 3	Brudergarten 3
Herbolzheim	Herbolzheim
Mahlberg 3	Mahlberg 3
Mahlberg 2	Mahlberg 2
Mahlberg 1	Mahlberg 1
Schillinger Berg 2	Schillinger Berg 2
Schillinger Berg 1	Schillinger Berg 1
Hohe Eck	Hohe Eck
Schweighausen 1	Schweighausen 1
Schweighausen 2	Schweighausen 2
Schonach 1	Schonach 1
Schonach 2	Schonach 2
Rohrhardsberg	Rohrhardsberg
Plattenhöfe 1	Plattenhöfe 1
Plattenhöfe 2	Plattenhöfe 2
Plattenhöfe 3	Plattenhöfe 3
Plattenhöfe 4	Plattenhöfe 4



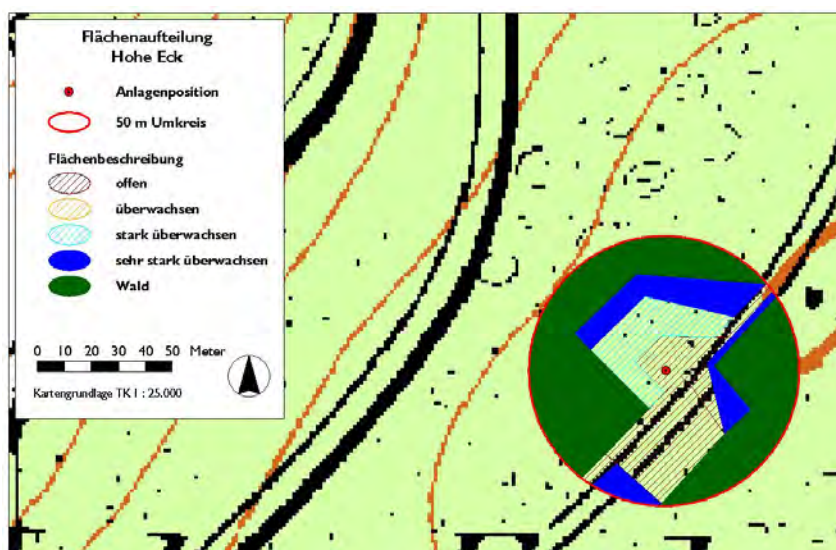
Kaisersebene 1	Kaisersebene 1
Kaisersebene 2	Kaisersebene 2
Kaisersebene 3	Kaisersebene 3
Holzschlägermatte 1	Holzschlägermatte 1
Holzschlägermatte 2	Holzschlägermatte 2
Neueck 1	Neueck 1
Neueck 2	Neueck 2
Hornberg 1	Hornberg 1
Hornberg 2	Hornberg 2
Windkapf 1	Windkapf 1
Windkapf 2	Windkapf 2
Windkapf 3	Windkapf 3
Fürstenberg	Fürstenberg

Les 8 éoliennes suivantes ont été sélectionnées pour l'étude de 2005 : Holzschlägermatte 1+2, Schillinger Berg 1, Hohe Eck, Brudergarten 1-3 et Mahlberg 3 (cf. aussi tabl. 1). Pour la recherche des victimes de collision, les éoliennes ont été contrôlées à intervalles réguliers de 5 jours du début du mois d'avril à la mi-mai et de la mi-juillet à la mi-octobre. Trois autres contrôles occasionnels ont également été réalisés de façon aléatoire (28 mai, 20 juin et 30 juin). Le premier contrôle a été effectué le 02/04/05 et le dernier le 16/10/05. Au total, 30 contrôles ont donc été réalisés sur ces 8 éoliennes en 2005.

## 2.2.2 Détermination de la taille et de la structure des surfaces de recherche

La recherche a été menée dans un rayon de 50 m autour du pied du mât car, d'après les travaux de TRAPP *et al.* (2002), des cadavres de chauves-souris ont été retrouvés à cette distance sous des éoliennes de type comparable. Pour les éoliennes situées en forêt, il était néanmoins impossible de contrôler la totalité de la superficie en raison de l'absence de pertinence d'une recherche effectuée en forêt ou dans d'épais buissons de ronces et de genêts. Afin de déterminer la surface contrôlable dans le rayon choisi de 50 m et de fournir une documentation relative à l'environnement des sites où les cadavres de chauves-souris ont été découverts (cf. rapports des découvertes en annexe), la structure de la végétation a été classée en fonction de son degré de densité. Cette classification a permis de distinguer cinq unités de végétation dont la superficie a ensuite été déterminée sur le terrain :

- ▶ végétation ouverte : sans végétation, principalement des surfaces recouvertes de pierraille et des chemins ;
- ▶ végétation clairsemée : surfaces légèrement recouvertes d'une végétation herbacée ;
- ▶ végétation abondante : peuplement herbacé et jonchaie denses ;
- ▶ végétation très abondante : buissons de ronces et de genêts ;
- ▶ forêt.



**Fig. 2** : Détermination de la proportion des surfaces contrôlées sous l'éolienne « Hohe Eck »

Flächenaufteilung	Zonage
Hohe Eck	Hohe Eck
Anlagenposition	Emplacement de l'éolienne
50 m Umkreis	Rayon de 50 m
Flächenbeschreibung	Légende
offen	Végétation ouverte
überwachsen	Végétation clairsemée
stark überwachsen	Végétation abondante
sehr stark überwachsen	Végétation très abondante
Wald	Forêt
0 10 20 30 40 50 Meter	0 10 20 30 40 50 mètre(s)
Kartengrundlage TK 1 : 25 000	Échelle de la carte 1/25 000

Seules les trois premières unités de végétation ont donné lieu à une recherche des victimes de collision (de « Végétation ouverte » à « Végétation abondante »). Leurs surfaces ont été cartographiées dans un rayon de 50 m puis définies dans un SIG (ArcView 3.2, cf. fig. 2). Dans le cas des éoliennes situées en terrain ouvert, principalement dans des prairies, la décision a été prise en accord avec le propriétaire du terrain d'abandonner les recherches à partir d'une certaine hauteur de végétation afin d'éviter de causer tout dommage. Les prairies ont donc toutes été classées dans la catégorie « Végétation abondante » en raison de leur couverture végétale globalement élevée.

### 2.2.3 Recherches et enregistrement des données sur le terrain

La surface contrôlable a été parcourue de façon systématique en suivant des parcours espacés d'au maximum 6 m (l'écart pouvant être inférieur en fonction de la couverture et de la densité de la végétation) afin d'obtenir un corridor de recherche pouvant atteindre 3 m de chaque côté. Selon la taille et les spécificités de la surface contrôlable, des périodes d'environ 30 à 50 minutes ont été nécessaires afin de mener les recherches sous chaque éolienne.



La procédure suivante a été appliquée à chaque découverte d'une victime de collision : tout d'abord, l'animal a été photographié *in situ* à des fins de documentation relative au lieu où la victime a été découverte. Afin de fournir des indications précises sur ce lieu, le chercheur a ensuite mesuré la distance par rapport au mât de l'éolienne et déterminé la direction de ce dernier à l'aide d'une boussole. Il a ensuite identifié sur place l'espèce trouvée et réalisé une première description superficielle de l'état du cadavre (p. ex. blessures apparentes, degré de momification, etc.) avant de consigner toutes les données relatives aux circonstances de la découverte dans un compte rendu (cf. rapports des découvertes en annexe). Les cadavres ont été congelés pour un examen ultérieur plus précis. La même procédure a été poursuivie en cas de découverte d'oiseaux sauf que les chercheurs ont alors laissé les cadavres sur le site (exception : l'oiseau découvert le 27/08/05 sur le site de Holzschlägermatte 1 a été transféré au Musée national d'Histoire naturelle de Karlsruhe pour une identification plus précise).

#### 2.2.4 Détermination du taux de disparition des cadavres

Au cours de la période allant du 17/08 au 27/08/05, cinq des huit éoliennes régulièrement contrôlées ont fait l'objet d'expériences destinées à déterminer le temps de persistance des cadavres. Dix souris de laboratoire mortes ont été déposées au pied de chacune de ces éoliennes tout en répartissant les cadavres entre les zones de végétation ouverte, clairsemée et abondante. Leur présence a été contrôlée pendant dix jours consécutifs. La date et l'heure de la disparition des cadavres ont été également mentionnées dans le compte rendu. Dans certains cas, les traces au sol ont permis de trouver la cause éventuelle de leur disparition. Dans le cas d'insectes nécrophages (le plus souvent des Silphidés), la visibilité du cadavre a été contrôlée jusqu'au moment où seule la marque du transect permettait encore de le repérer. C'est uniquement à ce moment-là que le cadavre a été classé dans la catégorie des « disparus ».

Les cadavres ont été déposés le long de transects linéaires (en général deux pour tenir compte des différents types de couverture de végétation) à une distance comprise entre 2 et 40 m du pied du mât. Un cordeau a été tiré sur le transect où plusieurs rubans de couleurs différentes (destinées à distinguer les cinq éoliennes) ont été disposés afin de repérer l'emplacement des cadavres. Le nombre de nœuds (de 1 à 10) sur ces rubans a permis une approche individualisée des différents cadavres. Grâce à cette méthode, un contrôle rapide et efficace a été réalisé sans laisser de traces persistantes au sol à l'emplacement du cadavre.

Les souris de laboratoire choisies pour l'expérience avaient été préalablement congelées et leur taille (longueur tête-tronc jusqu'à 80 mm) était en règle générale légèrement supérieure à celle d'une Noctule de Leisler (longueur tête-tronc : 50 à 65 mm). Leur couleur était identique à celle du pelage chauves-souris. Les cadavres de souris ont été déposés avec des gants de laboratoire afin de réduire toute influence de l'odeur corporelle humaine sur l'acceptation des cadavres par les charognards.

#### 2.2.5 Détermination de l'efficacité de recherche

Le 11/10/05, dix chauves-souris artificielles (fabriquées en fausse fourrure brun foncé et de la taille d'une Noctule de Leisler) ont été disséminées sous 6 des 8 éoliennes régulièrement

contrôlées pour tester l'efficacité des recherches<sup>5</sup>. Les « animaux » ont été placés dans les zones habituellement contrôlées sous les éoliennes en tenant compte de la couverture de végétation. La répartition a donc été réalisée de façon équitable entre les surfaces ouvertes et celles recouvertes d'une végétation clairsemée ou abondante (20 fausses chauves-souris pour chacune des trois zones).

Ces fausses chauves-souris ont été lâchées à hauteur du bassin pour qu'elles prennent une position au sol similaire à celle des victimes de collision. Le test a eu lieu au cours d'un contrôle régulier des éoliennes. Une fois les « animaux » dispersés par un accompagnant, la recherche a été menée de façon classique tout en veillant à ce que le temps de recherche habituel ne soit pas dépassé.

## 2.2.6 Statistiques

En général, le nombre d'échantillons utilisés au cours des recherches s'est révélé insuffisant pour mettre en œuvre une méthode d'analyse statistique visant à vérifier les résultats obtenus. Lorsqu'il a été possible de réaliser des analyses statistiques, les différents chapitres font référence de manière distincte aux méthodes employées qui ont été développées à l'aide des logiciels standard SPSS 11 et JMP 5.1, ainsi qu'au moyen du programme Actus 2.0 pour la randomisation.

## 2.3 Résultats

### 2.3.1 Nombre, espèces et statut des chauves-souris trouvées

Au total, 45 chauves-souris appartenant à 3 espèces différentes ont été trouvées mortes ou gravement blessées<sup>6</sup> au cours des 18 contrôles réalisés sous 16 éoliennes (2004) et des 30 contrôles effectués sous 8 éoliennes (2005). Les deux à trois contrôles occasionnels réalisés sous 16 autres éoliennes (2004) ont en outre permis de découvrir cinq autres chauves-souris, dont une d'une autre espèce.

Le nombre de chauves-souris trouvées lors des contrôles varie fortement entre les deux années de recherche mais également selon la période de contrôle allant du printemps et de la fin de l'été jusqu'à l'automne (cf. tabl. 2). Avec 35 animaux au total, la majorité des cadavres trouvés sous les 16 éoliennes régulièrement contrôlées a été enregistrée à la fin de l'été et à l'automne 2004. Cinq autres cadavres ont été comptabilisés lors des contrôles occasionnels effectués sur les 16 autres éoliennes (cf. tabl. A-2 en annexe), soit un total de 40 victimes en 2004.

En 2005, les contrôles se sont poursuivis sur huit éoliennes sélectionnées. Lors des recherches menées entre le début du mois d'avril et la mi-mai, aucun cadavre de chauve-souris n'a été retrouvé au cours des douze contrôles effectués tous les cinq jours (cf. tabl. 2). En revanche, seuls dix cadavres ont été trouvés pendant la période de recherche légèrement avancée entre la mi-juillet et la mi-octobre où l'intensité des contrôles fut semblable à celle connue à la fin de

<sup>5</sup> Éoliennes sélectionnées : Schillinger Berg 1, Hohe Eck, Brudergarten 1-3 et Mahlberg 3.

<sup>6</sup> Une Pipistrelle commune très grièvement blessée a reçu des soins appropriés mais elle est décédée le lendemain.

l'été et à l'automne 2004. Ce chiffre équivaut à environ un tiers des 31 victimes trouvées sous ces huit éoliennes en 2004.

Tabl. 2 : Fréquence d'inspection et nombre de victimes trouvées sous les éoliennes contrôlées à intervalles réguliers à la fin de l'été et à l'automne 2004, ainsi qu'au printemps et en été-automne 2005 (2005 : 12 contrôles de début avril à mi-mai et 18 contrôles de mi-juillet à mi-octobre)

Site et désignation de l'éolienne	Type d'éolienne	2004		2005	
		Nb de contrôles	Nb de cadavres	Nb de contrôles	Nb de cadavres
Ettenheim Mahlberg 1	Nordex N 80	18	1	-	-
Ettenheim Mahlberg 2	Nordex N 80	18	1	-	-
Ettenheim Mahlberg 3	Südwind S 77	18	2	12/18	0/0
Ettenheim Brudergarten 1	Nordex N 62	18	3	12/18	0/1
Ettenheim Brudergarten 2	Nordex N 62	18	2	12/18	0/0
Ettenheim Brudergarten 3	Nordex N 62	18	2	12/18	0/2
Freiamt Hohe Eck	Enercon E 66	18	7	12/18	0/4
Freiamt Schillinger Berg 1	Enercon E 66	18	9	12/18	0/2
Freiamt Schillinger Berg 2	Enercon E 66	18	0	-	-
St. Peter Plattenhöfe 1	Enercon E 40	16	0	-	-
Simonswald Plattenhöfe 2	NEG Micon 60/1000	16	1	-	-
Simonswald Plattenhöfe 3	NEG Micon 60/1000	16	1	-	-
Simonswald Plattenhöfe 4	NEG Micon 60/1000	9	0	-	-
Horben Holzschlägermatte 1	Enercon E 66	17	5	12/18	0/1
Horben Holzschlägermatte 2	Enercon E 66	17	1	12/18	0/0
Fürstenberg	REpower MD 77	17	0	-	-
<b>Total</b>			<b>35<sup>7</sup></b>		<b>10</b>

Avec 39 animaux au total, la Pipistrelle commune est l'espèce la plus fréquemment touchée (15 adultes, 21 subadultes, 3 indéterminés). Tandis qu'en 2004, les animaux juvéniles sont représentés en nombre un peu plus important (11 adultes contre 17 subadultes, l'âge de 3 cadavres n'ayant pu être déterminé), le rapport s'est équilibré pour les 8 animaux trouvés en 2005 (cf. tabl. 3). Avec 11 animaux de chaque sexe sur 31 individus, le sex-ratio des Pipistrelles communes est également parvenu à l'équilibre en 2004 (l'identification du sexe s'est avérée impossible pour 9 cadavres). En 2005, les mâles étaient plus nombreux (6 contre seulement 1 femelle et un cadavre indéterminé).

Sur les deux années, le nombre de mâles et de femelles, ainsi que celui d'individus adultes et subadultes est pratiquement le même en ce qui concerne les Pipistrelles communes. Le nombre relativement faible d'échantillons ne permet toutefois pas de déterminer de manière pertinente si le risque de collision est différent selon l'âge ou le sexe des animaux.

<sup>7</sup> Cinq autres cadavres ont été découverts lors de contrôles occasionnels sous les éoliennes des sites Neueck 1 (1 *Pipistrellus pipistrellus*) et Rohrhardsberg (1 *Eptesicus serotinus*, 3 *Pipistrellus pipistrellus*).





Fig. 3 : Femelle de Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) présentant des doubles fractures des avant-bras. L'animal a été trouvé peu de temps après sa mort sous une éolienne au cours d'une observation nocturne à l'aide d'une caméra à images thermiques. Photo de droite : Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) morte trouvée sous une éolienne dans le sud de la Bade. Toutes les photos ont été prises dans le cadre de l'étude.

Aucune différence notable de sexe ou d'âge n'a été constatée pour les cadavres de Noctule de Leisler, deuxième espèce la plus fréquemment touchée avec huit individus trouvés morts (cf. tabl. 3). En raison notamment du faible nombre total de victimes, il convient toutefois de n'accorder qu'une importance relative à la pertinence de cette analyse.

Outre les Pipistrelles communes et les Noctules de Leisler, seules des Sérotines bicolores (un spécimen par année d'étude) et une Sérotine commune (en 2004) ont été trouvées. Dans les deux cas, il s'agissait de mâles adultes (le bas du corps d'une Sérotine bicolore manquant, il fut donc impossible de définir le sexe et l'âge du cadavre).

Tabl. 3 : Vue d'ensemble du nombre, de l'espèce, du sexe et du statut des cadavres

Espèce		Nb de cadavres		Sexe			Statut		
		abs.	en %	♂	♀	?	ad	sub	?
Sérotine bicolore <i>Vespertilio murinus</i>	2004	1	2,5			1	1		
	2005	1	10,0	1			1		
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	2004	1*	2,5	1			1		
	2005								
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	2004	7	17,5	3	4		4	3	
	2005	1	10,0		1		1		
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2004	31*	77,5	11	11	9	11	17	3
	2005	8	80,0	1	6	1	4	4	
Total	2004	<b>40*</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>3</b>
		(% n=40)		<b>37,5</b>	<b>37,5</b>	<b>25,0</b>	<b>42,5</b>	<b>52,5</b>	<b>5,0</b>
Total	2005	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	
		(% n=10)		<b>20,0</b>	<b>70,0</b>	<b>10,0</b>	<b>60,0</b>	<b>40,0</b>	
Total cumulé		<b>50</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>11</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>3</b>
		<b>En % (n=50)</b>		<b>34,0</b>	<b>44,0</b>	<b>22,0</b>	<b>46,0</b>	<b>48,0</b>	<b>6,0</b>

\*Chiffre comprenant les cadavres découverts sous les éoliennes contrôlées en sus (Rohrhardsberg et Neueck)



### 2.3.2 Répartition saisonnière des victimes

Au cours des deux années de recherche, les chauves-souris ont été trouvées mortes sous les éoliennes uniquement de la mi-juillet à la mi-octobre. Les contrôles effectués à intervalles de 5 jours entre le début du mois d'avril et la mi-mai 2005 sous les huit éoliennes sélectionnées n'ont donné aucun résultat. Toutefois, aucun contrôle n'ayant été effectué de la fin du mois d'octobre au début du mois d'avril ainsi que de la mi-mai à la mi-juillet, il est impossible d'émettre un quelconque avis pour ces périodes. Les figures 4 et 5 donnent un aperçu de la répartition des découvertes de cadavres suivant les périodes.

Au cours des deux années, la majorité des animaux a été retrouvée entre la fin du mois de juillet et le début du mois de septembre. Tandis que les découvertes sous les huit éoliennes s'étalent sur toute la durée de l'étude en 2005, des variations importantes se manifestent en termes de fréquence en 2004. Ces dernières peuvent être clairement corrélées à certaines conditions météorologiques.

En 2004, 70 % des cadavres de chauves-souris ont été trouvés sous les éoliennes entre la fin du mois de juillet et la mi-août (31/07 au 18/08/2004) (cf. fig. 4). Les nuits étaient très chaudes avec des vents faibles, en particulier au début du mois d'août. En revanche, les nuits de la deuxième quinzaine d'août ont été fraîches et pluvieuses, souvent avec des vents très forts. Le début du mois de septembre a connu une nouvelle période avec des nuits chaudes et seulement des vents nocturnes faibles en règle générale. 20 % supplémentaires de tous les cadavres découverts ont été enregistrés au cours de cette période (du 03 au 06/09/2004). Pour les autres périodes de l'étude, seuls quelques cadavres ont été trouvés sous les éoliennes.

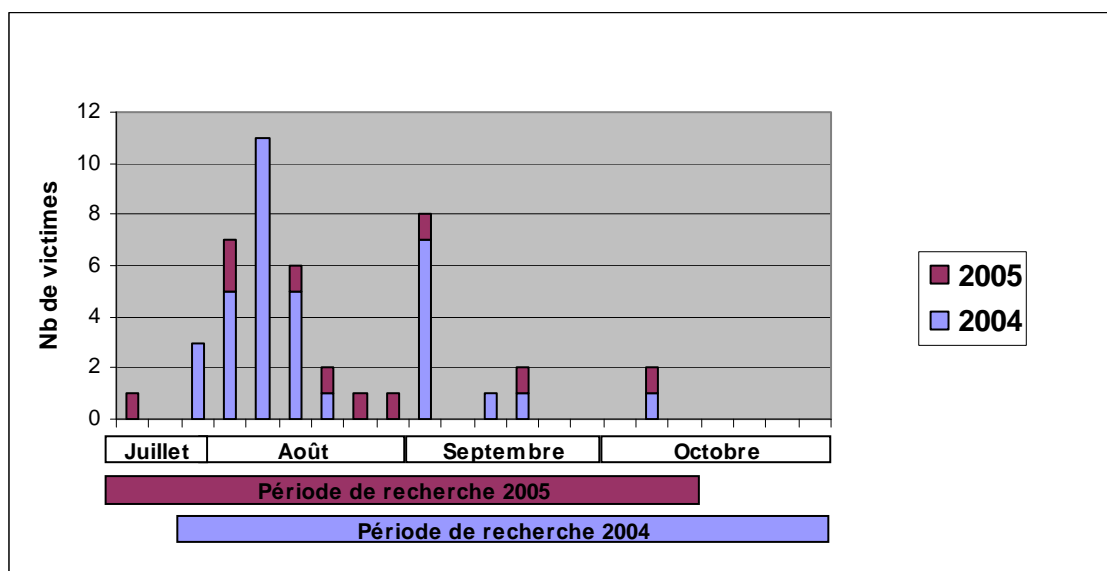


Fig. 4 : Répartition saisonnière des cadavres trouvés sous les éoliennes contrôlées régulièrement à intervalles de 5 jours (2004 : n = 16, 2005 : n = 8)

Il est impossible de distinguer avec davantage de précision les différentes espèces illustrées ci-dessous au cours des périodes de recherche (cf. fig. 5). Les Pipistrelles communes retrouvées principalement lors des contrôles (n = 35) sont réparties en majorité sur la période comprise entre la fin du mois de juillet et la mi-septembre. Cette observation s'applique également à la Noctule de Leisler, deuxième espèce la plus fréquemment touchée (n = 8). Les Sérotines



bicolores ont été retrouvées à la mi-juillet et au début du mois d'août. La Sérotine commune a été retrouvée le 06/08/04 sur le site de Rohrhardsberg lors d'un contrôle occasionnel opéré en sus sur les éoliennes en 2004. C'est pour cette raison que cette preuve n'est pas prise en compte dans la figure 5. Les données précises concernant les découvertes des cadavres de toutes les chauves-souris figurent en annexe dans les tableaux A-1 et A-2, ainsi que sur les feuilles de terrain.

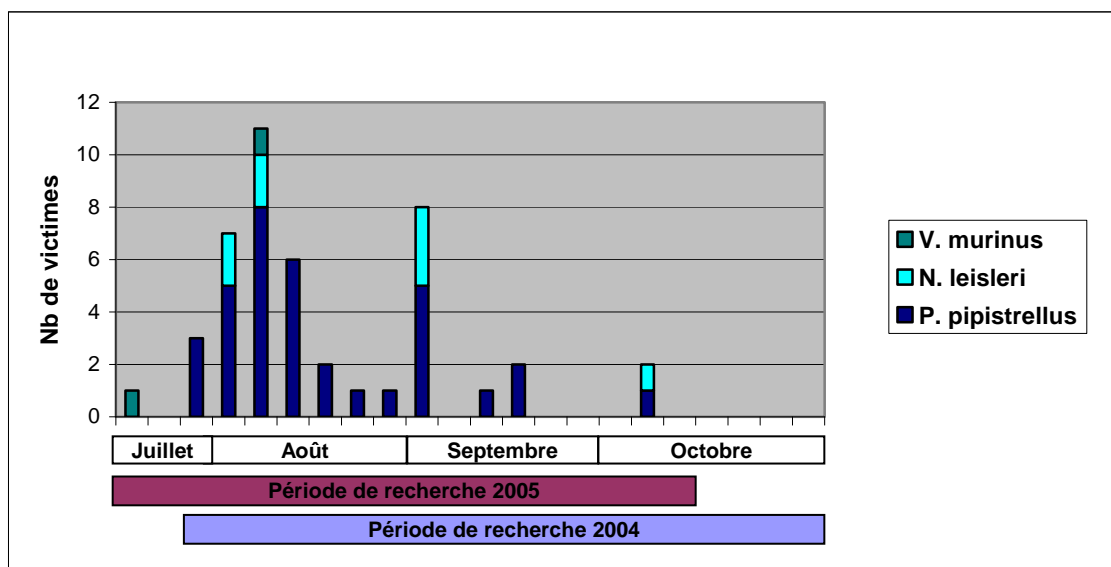


Fig. 5 : Répartition saisonnière de l'ensemble des victimes découvertes sous les éoliennes contrôlées régulièrement à intervalles de 5 jours (2004 : n = 16, 2005 : n = 8) en fonction des différentes espèces

### 2.3.3 Influence du site d'implantation et du type d'éolienne

Les résultats obtenus jusqu'à présent ne permettent pas de faire ressortir de différences notables concernant la fréquence des découvertes de cadavres de chauves-souris en fonction du type d'éolienne ou de leur emplacement dans divers espaces naturels ou à des altitudes différentes. Le nombre de victimes est relativement similaire pour les installations situées dans les contreforts, p. ex. celles d'Ettenheim Mahlberg 1-3 (470 m), ainsi que pour les éoliennes de la Haute-Forêt-Noire, p. ex. celle de Holzschlägermatte (920 m) ou de Rohrhardsberg (1 100 m) (cf. aussi fig. 6). Au même titre, aucun élément ne permet d'établir une quelconque différence en fonction de la taille des installations contrôlées. Le nombre de victimes trouvées sous les éoliennes de petite taille, comme p. ex. celle de type Nordex N 62 (hauteur du moyeu 69 m, diamètre du rotor 62 m) sur le site d'Ettenheim/Brudergarten est exactement le même que celui enregistré sous les éoliennes de taille supérieure de la gamme Enercon E 66 (hauteur du moyeu 86 m ou 98 m, diamètre du rotor 70 m) situées p. ex. sur les emplacements de Schillinger Berg ou de Holzschlägermatte (cf. fig. 7).

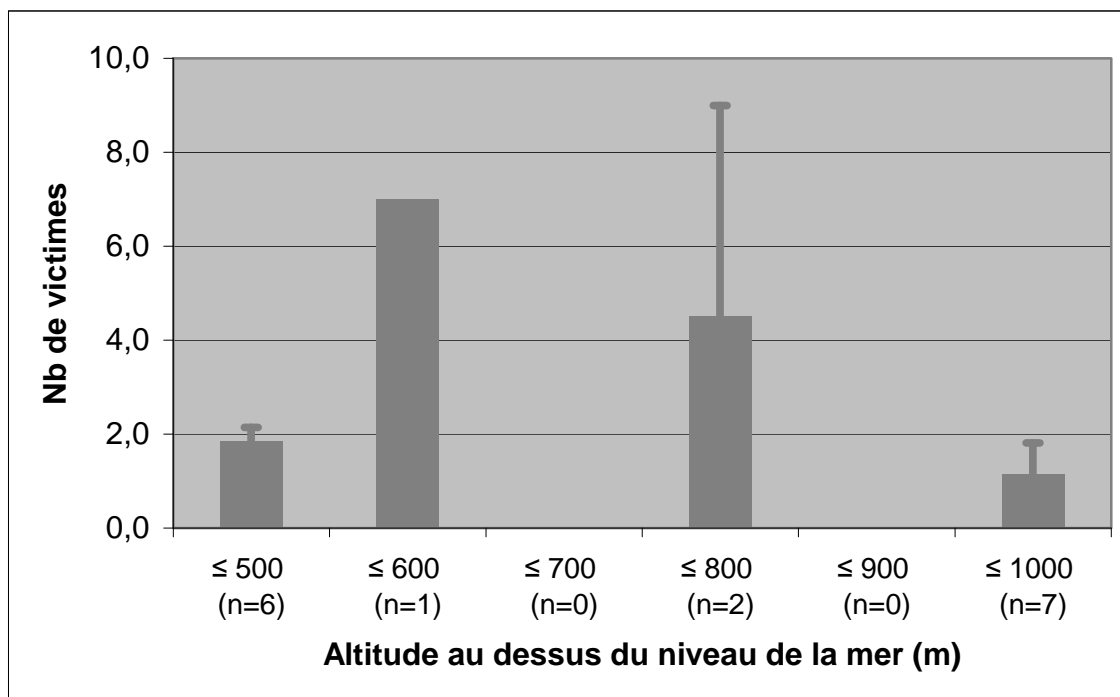


Fig. 6 : Répartition des victimes en fonction des éoliennes d'altitude différente (données des 16 éoliennes contrôlées régulièrement à intervalles de 5 jours en 2004, représentation des valeurs moyennes et de l'erreur type)

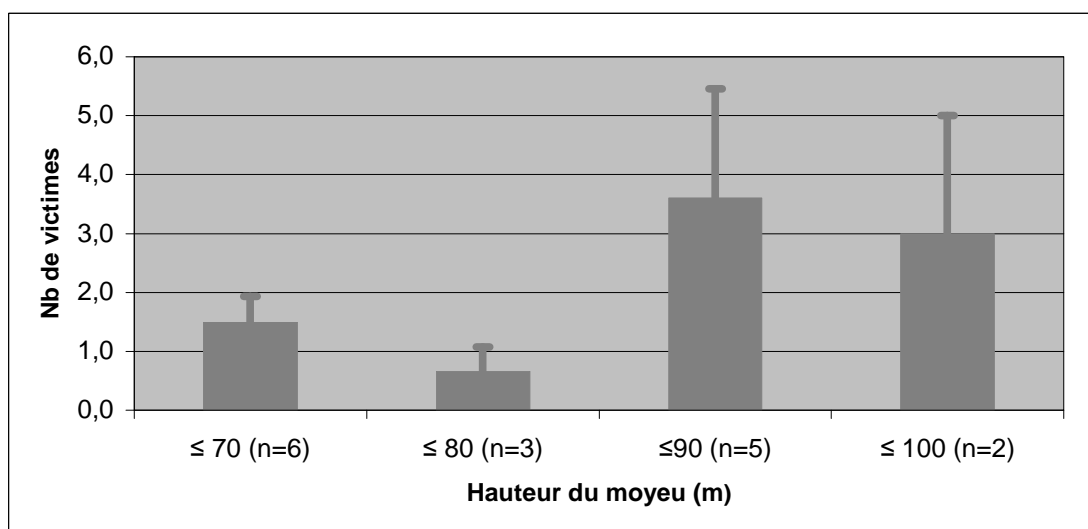


Fig. 7 : Répartition des victimes en fonction des éoliennes avec des hauteurs de moyeu différentes (données des 16 éoliennes contrôlées régulièrement à intervalles de 5 jours en 2004, représentation des valeurs moyennes et de l'erreur type)

Les données recueillies jusqu'à présent permettent toutefois d'établir une différence notable concernant la fréquence des découvertes de cadavres en fonction de l'environnement immédiat. En effet, les cadavres ont été trouvés en nombre considérablement plus important

sous les éoliennes implantées en milieu forestier qu'au-dessous de celles installées dans les prairies de la Forêt-Noire (cf. fig. 8).

Un résultat analogue est également obtenu avec un nombre nettement plus faible d'échantillons pour les 16 autres éoliennes contrôlées en 2004 dont cinq se trouvent en forêt, six en lisière (milieu ouvert/forêt) et cinq en terrain ouvert. La totalité des cinq victimes ont été enregistrées sous deux installations implantées en forêt.

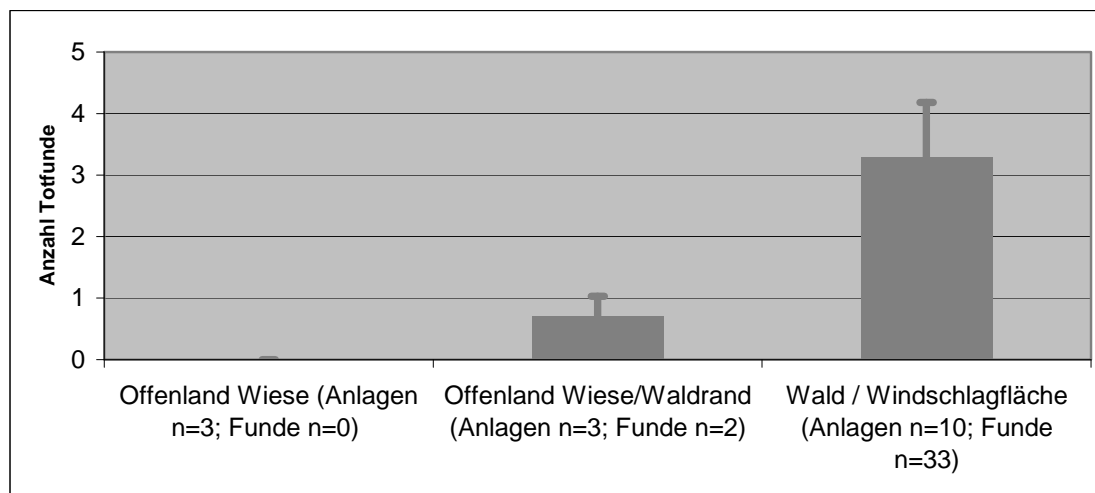


Fig. 8 : Cadavres de chauves-souris trouvés sous les éoliennes contrôlées régulièrement de la fin du mois de juillet à la fin du mois d'octobre 2004 en fonction des différents sites (représentation des valeurs moyennes et de leur erreur type)

Anzahl Totfunde	Nombre de victimes
Offenland Wiese (Anlagen n=3; Funde n=0)	Terrain ouvert prairie (éoliennes n=3 ; victimes n=0)
Offenland Wiese/Waldrand (Anlagen n=3; Funde n=2)	Terrain ouvert prairie/lisière forestière (éoliennes n=3 ; victimes n=2)
Offenland Wald/Windschlagfläche (Anlagen n=10; Funde n=33)	Terrain ouvert forêt/ventis (éoliennes n=10 ; victimes n=33)

La comparaison de deux éoliennes voisines et de même type (Enercon E 66, hauteur du moyeu 86 m, diamètre du rotor 70 m) sur le site de Schillinger Berg confirme également ce résultat. Alors que neuf cadavres de chauves-souris ont été trouvés pendant la période de contrôle sous l'éolienne du site Schillinger Berg 1 situé au sommet d'une colline en milieu forestier, aucune victime n'a été constatée sous l'éolienne Schillinger Berg 2 installée à seulement quelques centaines de mètres plus loin dans une prairie. Il faut cependant noter qu'en raison de l'exploitation et de la structure de la végétation, les éoliennes en prairie n'ont été contrôlées que par intermittence, ainsi qu'avec une efficacité de recherche réduite (voir aussi chap. 2.2.2).

### 2.3.4 Lieux de découverte des cadavres par rapport au pied du mât

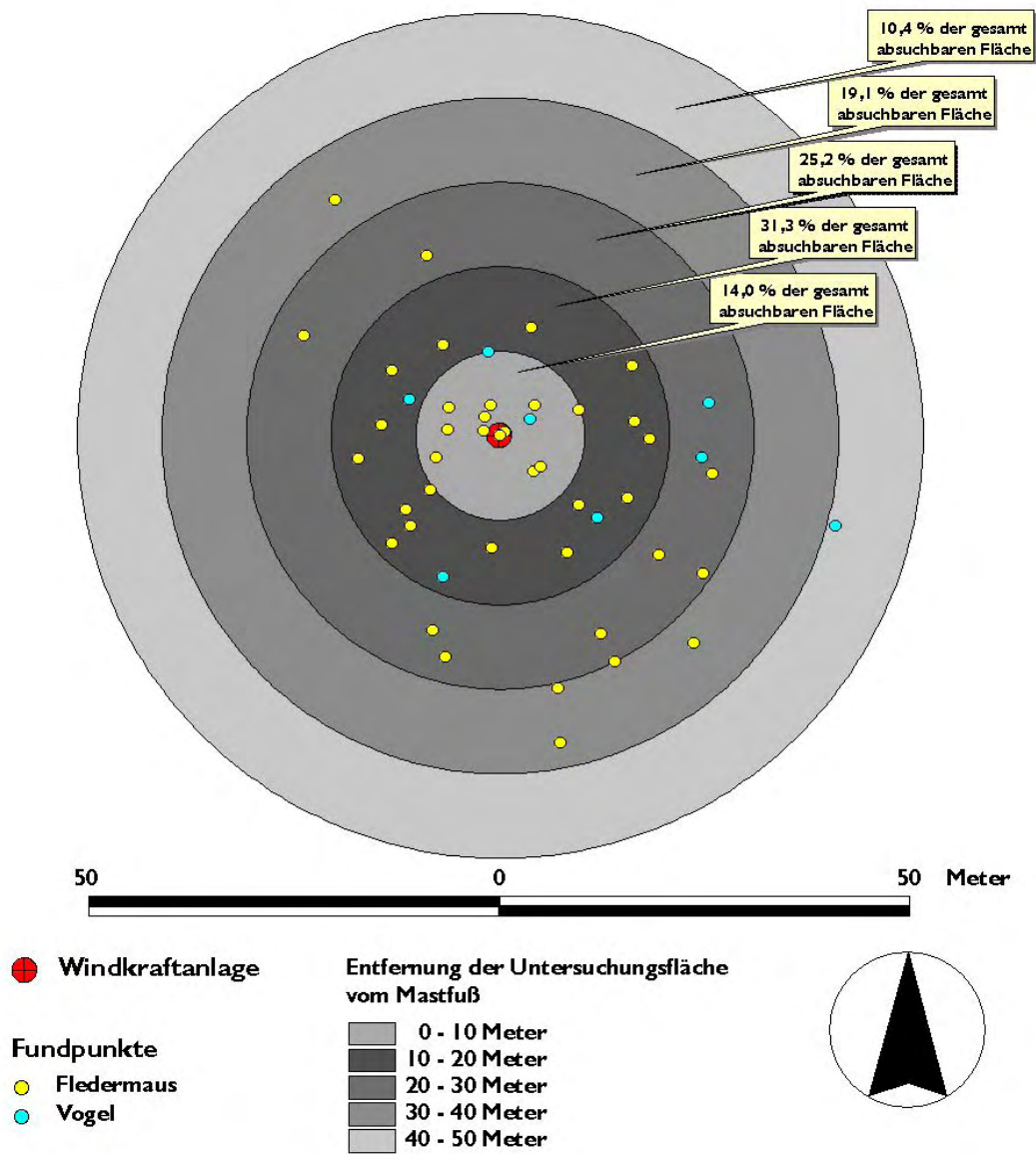
Le zonage des surfaces pour les différentes catégories de végétation à partir du pied du mât ayant été déterminé pour les huit éoliennes contrôlées pendant les deux années d'étude, les victimes (n = 41) trouvées sous ces éoliennes sont ensuite analysées afin de prendre en considération la distance, l'orientation des emplacements des découvertes par rapport au pied



du mât, ainsi que la possibilité d'examiner les diverses aires de recherche. Les catégories de végétation *ouverte*, *clairsemée* et *abondante* sont répertoriées en tant que surfaces contrôlables contrairement aux surfaces recouvertes d'une végétation *très abondante* composée de buissons de ronces et de genêts, ainsi que de *forêts*.

Il ne ressort aucune tendance particulière pour l'orientation des emplacements des découvertes par rapport au pied du mât. La faible résolution temporelle des éléments de preuve et le nombre réduit d'échantillons ne permettent pas d'établir de relation directe avec d'autres facteurs comme p. ex. la direction du vent dominant (cf. fig. 9).

La majorité des cadavres ont été trouvés à une distance pouvant s'élever jusqu'à 30 mètres par rapport au pied du mât. Bien que la zone sous l'éolienne ait été fouillée sur un rayon de 50 m, le cadavre de chauve-souris le plus éloigné de l'installation a été retrouvé à 37 m du pied du mât (cf. fig. 9). Pour une interprétation pertinente des données, il est toutefois nécessaire de prendre en compte les cadavres découverts selon la surface contrôlable (illustrée en bleu clair sur la fig. 10) qui augmente dans un premier temps en fonction de la distance par rapport au pied du mât, puis cette surface diminue fortement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ce point. Ceci s'explique par le fait que les anciennes zones de travaux, les emplacements empierrés des grues et les chemins d'accès cailloutés, tous situés à une distance maximale de 20-25 mètres par rapport au pied du mât, constituent le meilleur type de surface contrôlable pour la plupart des éoliennes (cf. colonnes de couleur lie-de-vin de la fig. 10). Néanmoins, en dépit d'une prise en compte des surfaces contrôlées dans les différentes zones d'éloignement, il ressort que le nombre de cadavres retrouvés à moins de 20 m du pied du mât est proportionnellement légèrement supérieur à celui des zones situées entre 20 et 50 m (cf. fig. 11). Les deux courbes diffèrent toutefois lorsque les cadavres de chauves-souris ont été trouvés dans une zone éloignée jusqu'à 40 m du pied du mât. Néanmoins, la variation n'est pas significative.



10,4 % der gesamt absuchbaren Fläche	10,4 % de la surface contrôlable totale
19,1 % der gesamt absuchbaren Fläche	19,1 % de la surface contrôlable totale
25,2 % der gesamt absuchbaren Fläche	25,2 % de la surface contrôlable totale
31,3 % der gesamt absuchbaren Fläche	31,3 % de la surface contrôlable totale
14,0 % der gesamt absuchbaren Fläche	14,0 % de la surface contrôlable totale
50 0 50 Meter	50 0 50 mètres
Windkraftanlage	Éolienne
Fundpunkte	Points de découverte
Fledermaus	Chauve-souris

Vogel	Oiseau
Entfernung der Untersuchungsfläche vom Mastfuß	Distance entre la surface de recherche et le pied du mât
0 – 10 Meter	0 – 10 mètres
10 – 20 Meter	10 – 20 mètres
20 – 30 Meter	20 – 30 mètres
30 – 40 Meter	30 – 40 mètres
40 – 50 Meter	40 – 50 mètres

Fig. 9 : Distance et position des chauves-souris et des oiseaux retrouvés par rapport au pied du mât et proportion de surface contrôlable par zones de 10 mètres (données des 8 éoliennes contrôlées régulièrement à intervalles de 5 jours en 2004 et 2005, chauves-souris n = 41, oiseaux n = 8).

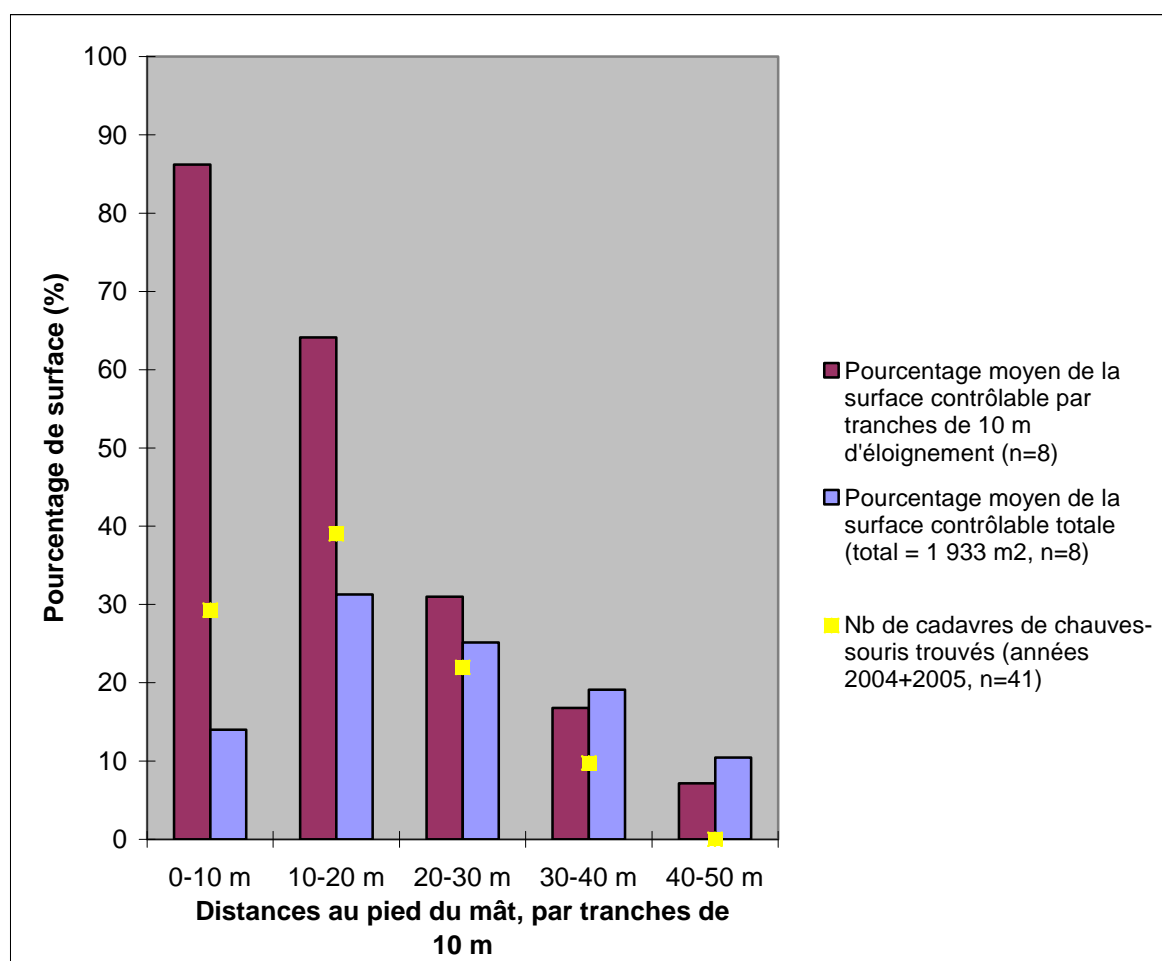


Fig. 10 : Pourcentage de chauves-souris trouvées dans chaque tranche de 10 m par rapport à la surface contrôlable par tranche (lie-de-vin) ainsi qu'à la surface contrôlable totale moyenne (bleu clair).

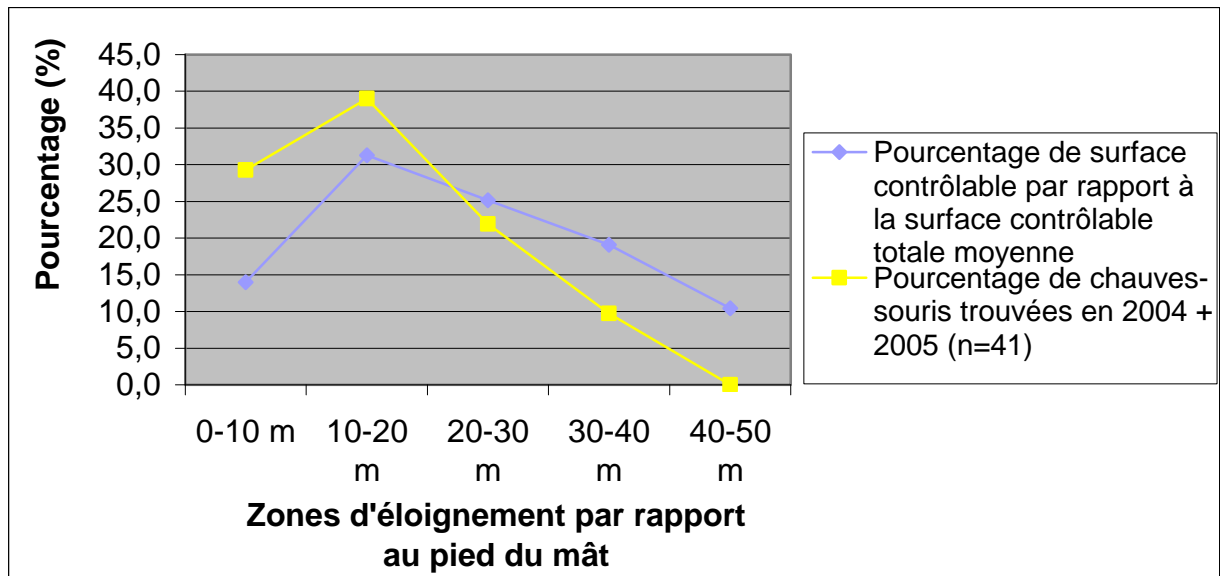


Fig. 11 : Pourcentage des chauves-souris trouvées et de la surface contrôlable pour les différentes tranches de distance au mât. La différence des deux courbes dans la zone où les chauves-souris ont été trouvées (jusqu'à 40 m) n'est pas significative (test  $\chi^2$  randomisé,  $\chi^2 = 6,75$ ;  $df = 3$ ;  $p = 0,076$ ).

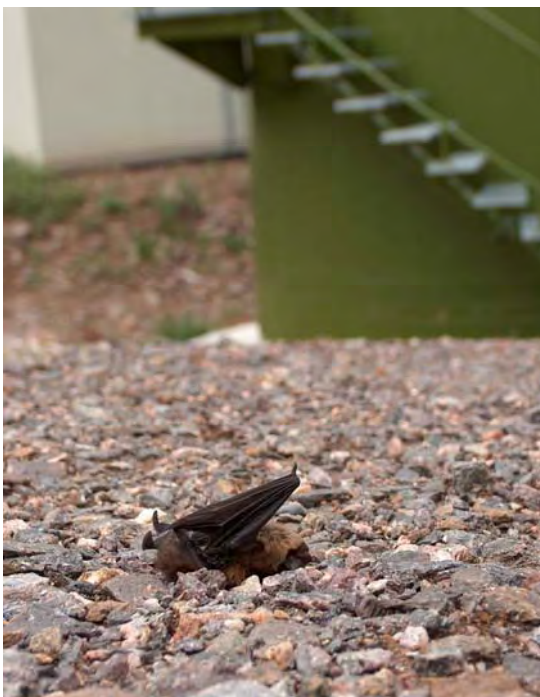


Fig. 12 :

Sur les surfaces recouvertes de pierraille au-dessous des éoliennes, les animaux sont bien visibles et relativement faciles à trouver (ici une Pipistrelle commune *Pipistrellus pipistrellus*)

### 2.3.5 Efficacité de la recherche

Sur les dix fausses chauves-souris disséminées équitablement sous chacune des six éoliennes pour les trois catégories de végétation pertinentes (n = 20 par catégorie de végétation, n = 60 au total), respectivement 16, 14 et 6 chauves-souris ont été retrouvées dans les zones recouvertes d'une végétation ouverte, clairsemée et abondante. En considérant les six éoliennes contrôlées, une efficacité de recherche moyenne de 84 %, 77 % et 40 % a été réalisée respectivement dans les zones recouvertes d'une végétation ouverte, clairsemée et abondante (cf. fig. 13).

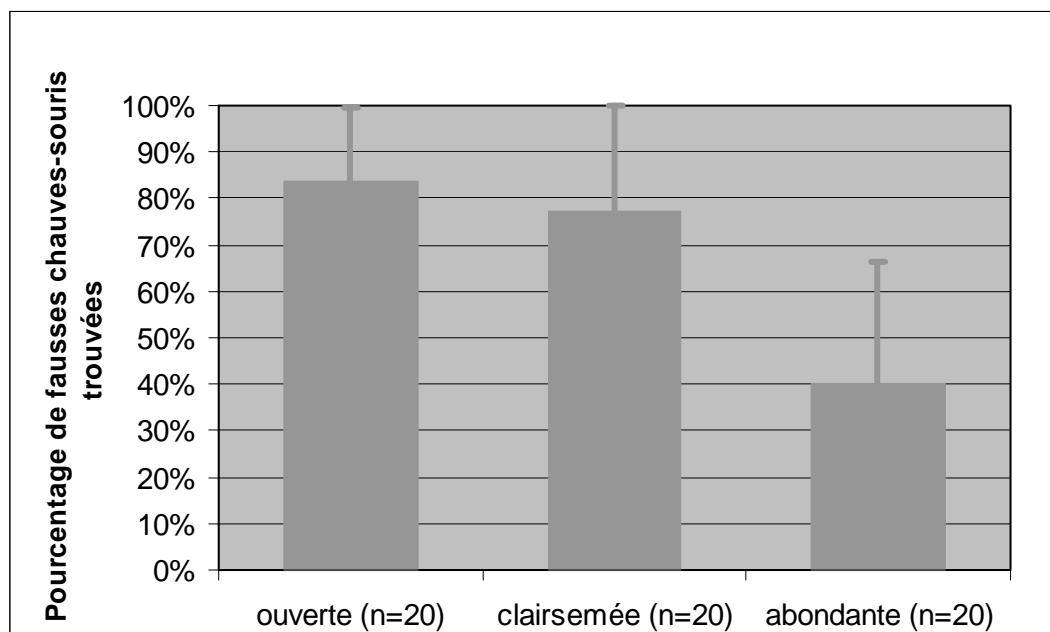


Fig. 13 : Efficacité moyenne de la recherche sur les surfaces contrôlables en fonction de la densité de la végétation (représentation des valeurs moyennes et de l'erreur type)

### 2.3.6 Taux de disparition des cadavres

Dans le cadre de l'expérience permettant d'acquérir ce taux, les cadavres des souris de laboratoire disséminés sur nos aires de recherche ont disparu relativement vite dans l'ensemble. Dès le sixième jour suivant le dépôt, plus de 90 % des cadavres en moyenne avaient disparu (cf. fig. 14). Toutefois, le taux de disparition présentait des variations importantes les premiers jours suivant le dépôt des cadavres. Ainsi, on a relevé p. ex. un cas où la totalité des cadavres avait disparu dès le deuxième jour de contrôle tandis qu'un grand nombre était resté beaucoup plus longtemps sous d'autres éoliennes.

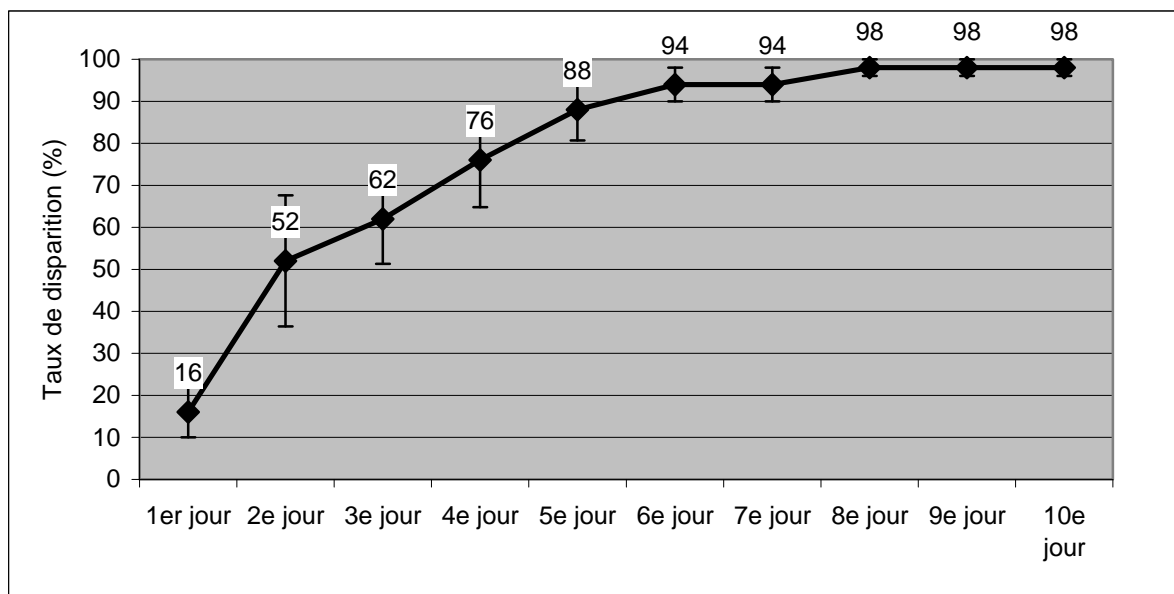


Fig. 14 : Taux de disparition journalier de 10 souris de laboratoire déposées pour cinq tests, sur les 10 jours suivant leur mise en place (moyenne pour les cinq éoliennes contrôlées, représentation, également chiffrée, des valeurs moyennes et de l'erreur type).

Pour obtenir le taux de disparition des victimes de collision pendant la période de contrôle de cinq jours, il convient de calculer la moyenne du taux représenté sur la fig. 14 au cours des cinq premiers jours suivant le dépôt des cadavres. En moyenne, le taux de disparition au bout de cinq jours s'élève à 58,8 %. Cela signifie que lors de nos contrôles, nous n'avons pu retrouver en moyenne que 41,2 % des chauves-souris mortes au cours de la période comprise entre les différents contrôles. En tenant compte des valeurs moyennes maximales ou minimales de tous les tests (ainsi que l'erreur type moyenne maximale ou minimale, cf. fig. 14), on obtient au bout de cinq jours un taux de disparition maximum de 69 % et un taux minimum de 48,6 % en moyenne.

Lors du contrôle des souris de laboratoire, des Silphidés ont été observés à plusieurs reprises en train d'enterrer les cadavres. Ces derniers étaient parfois réduits à l'état de squelette par des guêpes et dévorés par des asticots. Dans un cas, des traces fraîches de sangliers ont permis de déceler que ces derniers étaient susceptibles d'avoir englouti les restes des cadavres.

Les causes relatives à la disparition des souris de laboratoire correspondent à celles qui ont été observées sur les deux années d'étude lors de la collecte des cadavres de chauves-souris. Là aussi, les chercheurs ont observé des Silphidés enterrer des chauves-souris ou des guêpes réduire les cadavres à l'état de squelette (cf. fig. 15). L'analyse des cadavres en laboratoire (cf. chap. 3) a également révélé que la majorité des individus trouvés portait des traces d'attaques *post mortem*, principalement imputables à des insectes, mais aussi à des musaraignes, et éventuellement à des mulots et d'autres petits carnivores. Les excréments de renard fréquemment découverts dans les zones de recherche laissent présager que cette espèce contribue grandement à la disparition des cadavres au-dessous des éoliennes. En revanche, aucun rapace diurne ou Corvidé n'a pu être observé emportant un cadavre. Le rôle joué par ces oiseaux est sans doute très faible, en particulier sur les sites boisés étudiés.



Fig. 15 : Une Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) est enterrée ici par un Silphidé. Les Coléoptères mettent environ une demi-journée, voire moins, à trouver un cadavre d'animal, notamment lorsque des mouches couvrent déjà la charogne. En fonction du sol, la durée d'enfouissement est comprise entre deux et cinq heures environ. Photo de droite : un cadavre de Sérotine bicolore (*Vespertilio murinus*) déjà attaqué par des guêpes sous une éolienne dans le sud de la Bade.

### 2.3.7 Estimation du nombre réel des victimes de collision

Une valeur approximative du nombre effectif de victimes de collision peut être calculée en tenant compte de l'efficacité de recherche, du taux de disparition des cadavres et de la surface contrôlée par rapport à la superficie totale dans un rayon déterminé autour du pied du mât de l'éolienne selon la formule :

$$\text{Est} = (C-2\%) * \text{Eff} * D * S$$

Est	=	Estimation du nombre effectif de victimes de collision
C	=	Cadavres découverts en tenant compte que 2 % des cadavres peuvent provenir de comptages précédents selon nos calculs.
Eff	=	Facteur d'efficacité de recherche, calculé à partir de 1/efficacité de recherche pour chacun des 3 types de végétation contrôlables et de leur surface respective par rapport à la surface totale contrôlée sous l'éolienne
D	=	Facteur du taux de disparition, différencié selon le taux de disparition moyen (58,8 % équivaut à un facteur de 2,43) et la marge inférieure et supérieure de la dispersion (marge inférieure 48,6 %, facteur 1,95 ; marge supérieure 69 %, facteur 3,23)
S	=	Facteur de surface, déterminé par le rapport surface contrôlée/surface non contrôlée dans un rayon de 40 m autour du pied du mât

Les limitations d'ordre méthodologique (recours aux souris de laboratoire, calcul limité à un moment de la saison, moyenne des résultats de l'expérience) ne permettant de déterminer qu'une valeur approximative du taux de disparition, la valeur estimée est calculée en plus de la valeur moyenne pour les limites supérieure et inférieure de la dispersion. Par conséquent, il est possible de définir une fourchette pour le nombre de victimes de collision éventuelles. Le calcul ne prend en compte que la superficie dans un rayon de 40 m pour le facteur de surface car aucun cadavre de chauve-souris n'a été retrouvé au-delà de cette distance (cf. discussion du chap. 2.4.2).

Pour les 16 éoliennes régulièrement contrôlées en 2004, on estime à 335 le nombre total de chauves-souris mortes (fourchette 269-446), avec une moyenne de 20,9 (fourchette 16,8-27,9) par éolienne (cf. tabl. 4).

Si l'on tient compte qu'en 2004, pas ou très peu de chauves-souris ont été trouvées sous les éoliennes en terrain ouvert, les chiffres moyens sont nettement plus élevés pour les huit éoliennes en milieu forestier, également contrôlées en 2005 : au total 297 (fourchette 238-394) chauves-souris mortes et une moyenne de 37,1 (fourchette 29,8-49,3) par éolienne.

En 2005, pour ces huit éoliennes, on estime à 94 le nombre total de victimes (fourchette 75-125) avec une moyenne de 11,8 (fourchette 9,4-15,6) par éolienne (cf. tabl. 5).

En fonction de la période de recherche et des contrôles effectués à intervalles de cinq jours, ces chiffres permettent d'établir un rapport entre le nombre réel de cadavres de chauves-souris trouvés et le nombre estimé de victimes de collision (rapporté à la valeur moyenne) d'environ 1:6 (éolienne Holzschlägermatte 1), 1:7 (éolienne Freiamt Hohe Eck) et pouvant atteindre 1:11 (p. ex. éolienne Schillinger Berg 1 ou Ettenheim Brudergarten 3) pour les différentes éoliennes.



Tabl. 4 : Estimation du nombre de victimes de collision sur la base des cadavres découverts sous les 16 éoliennes contrôlées en 2004, en tenant compte de l'efficacité de recherche, du taux de disparition et du facteur de surface (avec représentation des limites supérieure et inférieure de la dispersion pour le taux de disparition)

Désignation de l'éolienne/site	Nb de victimes	Coeff. majoration pour efficacité recherche (Ø pondéré par rapport à la contrôlabilité)	Nb de victimes après prise en compte de l'efficacité de recherche et des différents taux de disparition			Facteur de surface par rapport au rayon de 40 m	Nb de victimes après prise en compte du facteur de surface et des différents taux de disparition		
			élevé	moyen	faible		élevé	moyen	faible
Ettenheim Mahlberg 1 Ventis	1	1,19	3,76	<b>2,83</b>	2,27	4,6	17,30	<b>13,02</b>	10,44
Ettenheim Mahlberg 2 Forêt	1	1,19	3,76	<b>2,83</b>	2,27	3,4	12,78	<b>9,62</b>	7,72
Ettenheim Mahlberg 3 Forêt	2	1,28	8,11	<b>6,10</b>	4,89	2,4	19,46	<b>14,64</b>	11,74
Ettenheim Brudergarten 1 Forêt	3	1,41	13,36	<b>10,05</b>	8,06	3,5	46,76	<b>35,18</b>	28,21
Ettenheim Brudergarten 2 Forêt	2	1,41	8,91	<b>6,70</b>	5,37	3,6	32,08	<b>24,12</b>	19,33
Ettenheim Brudergarten 3 Forêt/ventis	2	1,22	7,71	<b>5,80</b>	4,65	3,8	29,30	<b>22,04</b>	17,67
Freiamt Hohe Eck Forêt	7	1,43	31,61	<b>23,79</b>	19,07	2,2	69,54	<b>52,34</b>	41,95
Freiamt Schillinger Berg 1 Forêt	9	1,20	34,28	<b>25,79</b>	20,67	4,0	137,12	<b>103,16</b>	82,68
Freiamt Schillinger Berg 2 Prairie	0	2,17	0,00	<b>0,00</b>	0,00	1,0	0,00	<b>0,00</b>	0,00
St. Peter Plattenhöfe 1 Prairie/forêt	0	2,17	0,00	<b>0,00</b>	0,00	1,4	0,00	<b>0,00</b>	0,00
Simonswald Plattenhöfe 2 Prairie/forêt	1	2,13	6,73	<b>5,06</b>	4,06	1,5	10,10	<b>7,59</b>	6,09
Simonswald Plattenhöfe 3 Prairie/forêt	1	2,22	7,03	<b>5,29</b>	4,24	1,5	10,55	<b>7,94</b>	6,36
Simonswald Plattenhöfe 4 Prairie	0	2,50	0,00	<b>0,00</b>	0,00	1,2	0,00	<b>0,00</b>	0,00
Horben Holzschlägermatte 1 Forêt	5	1,32	20,80	<b>15,65</b>	12,54	2,4	49,92	<b>37,56</b>	30,10
Horben Holzschlägermatte 2 Forêt	1	1,25	3,95	<b>2,97</b>	2,38	2,7	10,67	<b>8,02</b>	6,43
Fürstenberg Prairie	0	2,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	1,0	0,00	<b>0,00</b>	0,00
	<b>35</b>						445,58	<b>335,23</b>	268,72

Tabl. 5 : Estimation du nombre de victimes de collision sur la base des cadavres découverts sous les 8 éoliennes contrôlées en 2005, en tenant compte de l'efficacité de recherche, du taux de disparition et du facteur de surface (avec représentation des limites supérieure et inférieure de la dispersion pour le taux de disparition)

Nom de l'éolienne/site	Nb de victimes	Coeff. majoration par efficacité recherche (Ø pondéré par rapport à la contrôlabilité)	Nb de victimes après prise en compte de l'efficacité de recherche et des différents taux de disparition			Facteur de surface par rapport au rayon de 40 m	Nb de victimes après prise en compte du facteur de surface et des différents taux de disparition		
			élevé	moyen	faible		élevé	moyen	faible
Ettenheim Mahlberg 3 Forêt	0	1,28	0,00	<b>0,00</b>	0,00	2,4	0,00	<b>0,00</b>	0,00
Ettenheim Brudergarten 1 Forêt	1	1,41	4,45	<b>3,35</b>	2,69	3,5	15,58	<b>11,73</b>	9,42
Ettenheim Brudergarten 2 Forêt	0	1,41	0,00	<b>0,00</b>	0,00	3,6	0,00	<b>0,00</b>	0,00
Ettenheim Brudergarten 3 Forêt/ventis	2	1,22	7,71	<b>5,80</b>	4,65	3,8	29,30	<b>22,04</b>	17,67
Freiamt Hohe Eck Forêt	4	1,43	18,06	<b>13,59</b>	10,89	2,2	39,73	<b>29,90</b>	23,96
Freiamt Schillinger Berg 1 Forêt	2	1,20	7,62	<b>5,73</b>	4,59	4,0	30,48	<b>22,92</b>	18,36
Horben Holzschlägermatte 1 Forêt	1	1,32	4,16	<b>3,13</b>	2,51	2,4	9,98	<b>7,51</b>	6,02
Horben Holzschlägermatte 2 Forêt	0	1,25	0,00	<b>0,00</b>	0,00	2,7	0,00	<b>0,00</b>	0,00
	<b>10</b>						125,07	<b>94,10</b>	75,43

### 2.3.8 Nombre et espèces des oiseaux trouvés

Outre les chauves-souris, neuf cadavres d'oiseaux ont été trouvés sous les éoliennes (cf. tabl. 6), principalement des Hirondelles de fenêtre et des Martinets noirs (trois de chaque). Il est particulièrement intéressant de noter la découverte d'un Martinet à ventre blanc sous une éolienne du site de Holzschlägermatte. Cet oiseau avait été bagué la même année dans une colonie de reproduction de Fribourg (communication orale de W. FIEDLER). Lors des contrôles des éoliennes, un grand nombre d'Hirondelles et de Martinets noirs ont été observés à plusieurs reprises en train de chasser à proximité immédiate du rotor pendant la journée (p. ex. le 06/09/2005 à proximité de l'éolienne de Schillinger Berg 1).

Alors qu'en 2004 le nombre de cadavres de chauves-souris trouvés était huit fois supérieur à celui des oiseaux (40 :5), ce rapport est passé à 10:4 en 2005 (2,5 fois plus faible). Toutefois, un autre élément mérite également d'être signalé : les cadavres de chauves-souris ont été découverts en nombre bien plus important que ceux des oiseaux, présentant un rapport d'environ 5:1 (50:9) en moyenne sur les deux années.



Tabl. 6 : Espèce, nombre et lieu de découverte des cadavres d'oiseaux trouvés sous les éoliennes

Site/date	Espèce	Remarques
Plattenhöfe 1, 04/08/04	Hirondelle de fenêtre ( <i>Delichon urbica</i> )	
Holzschlägermatte 2, 14/08/04	Martinet à ventre blanc ( <i>Apus melba</i> )	Bague FL 19261 Radolfzell Allemagne
Hohe Eck, 12/09/04	Hirondelle de fenêtre ( <i>Delichon urbica</i> )	
Hohe Eck, 17/09/04	Hirondelle de fenêtre ( <i>Delichon urbica</i> )	
Brudergarten 1, 17/10/04	Roitelet ( <i>Regulus cf regulus</i> )	Probablement un Roitelet huppé
Hohe Eck, 28/07/05	Martinet noir ( <i>Apus apus</i> )	
Holzschlägermatte 1, 07/08/05	Probablement un Martinet noir ( <i>Apus sp. cf apus</i> )	Seules des rémiges ont été retrouvées
Holzschlägermatte 1, 17/08/05	Martinet noir ( <i>Apus apus</i> )	
Holzschlägermatte 1, 27/08/05	Hypolaïs polyglotte ( <i>Hippolaïs polyglotta</i> )	Déterminé par le Muséum national d'Histoire naturelle de Karlsruhe

## 2.4 Discussion

### 2.4.1 Espèces et statut des chauves-souris victimes de collision

La recherche sous les éoliennes du district de Fribourg a permis de faire de nouvelles découvertes essentielles concernant différentes espèces : la Pipistrelle commune et la Noctule de Leisler ont été les deux espèces les plus touchées dans cette zone. Toutefois, elles ont été jusqu'à présent nettement moins représentées dans d'autres études (DÜRR & BACH 2004). En revanche, les victimes les plus fréquentes dans le nord et le centre de l'Allemagne, la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) et la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), n'ont pas été trouvées dans le cadre de cette étude bien que ces deux espèces hivernent dans les forêts de la vallée du Rhin et dans les contreforts de la Forêt-Noire (donc relativement près des éoliennes) et qu'elles transitent également par cette zone lors des migrations du printemps et de l'automne.

L'étude menée en 2004 par les chercheurs BEHR & HELVERSEN (2005) sur le site montagneux de Roskopf situé aux alentours de Fribourg fournit des résultats analogues. En effet, la Pipistrelle commune (n=39) constitue l'espèce la plus fréquemment touchée parmi toutes les victimes de collision, et ce sans commune mesure avec la Noctule de Leisler (n=4).

Les espèces trouvées confirment pour le sud de la Bade l'hypothèse que les chauves-souris chassant principalement en milieu dégagé entrent en collision avec les éoliennes. D'autres espèces, qui en vol et en chasse sont plutôt liées aux structures paysagères, comme p. ex. le Grand murin, le Murin de Natterer, le Murin à moustaches ou les oreillard, et qui selon nos



estimations sont toutes présentes dans les environs des éoliennes contrôlées, semblent être au contraire très rarement victimes de collision (cf. chap. 5.2). Mais l'unique découverte d'un Oreillard gris sous une éolienne implantée en Saxe (ENDL 2004) prouve que cette éventualité n'est pas complètement exclue.

Les résultats de notre étude apportent essentiellement de nouveaux enseignements quant à l'estimation du risque de collision pour les espèces de chauves-souris résidentes. Contrairement à ce qui était jusqu'alors admis, à savoir que les collisions survenaient principalement dans les zones d'hivernation durant la migration au long cours d'automne (cf. BACH & RAHMEL 2004 *et al.*), notre étude révèle que vraisemblablement certaines espèces, telles que les Pipistrelles communes, peuvent entrer en collision avec les éoliennes à une distance relativement importante de leurs colonies de mise bas. La Pipistrelle commune possède de nombreuses colonies de ce type à proximité des sites éoliens et la Cathédrale Notre-Dame de Fribourg est également connue comme étant un important gîte hivernal. Il est étonnant de constater que la majorité des cadavres découverts n'ont été observés qu'à partir de la mi-juillet, après la dispersion des colonies de mise bas. Il se peut alors que les individus aient un plus grand rayon d'action (le lien avec la nurserie étant rompu), qu'ils exploitent des terrains de chasse plus éloignés ou bien qu'ils réalisent des déplacements nocturnes pour se rendre quelques heures dans les différents sites de regroupement automnal ou les gîtes hivernaux. Une étude réalisée en Allemagne (SIMON *et al.* 2004) au château de Marbourg a révélé que les Pipistrelles communes se déplaçaient la nuit en provenance de leurs colonies de mise bas distantes de 20-25 km pour se réunir et explorer leur gîte. Les auteurs ont ensuite constaté que ce « swarming » avait atteint son apogée durant le mois d'août (*ibidem*). C'est précisément au cours de ce mois qu'un nombre maximal de victimes fut découvert sous les éoliennes du district de Fribourg.

## 2.4.2 Nombre de chauves-souris victimes de collision

### Nombres absolus des résultats de recherche

Le nombre de cadavres de chauves-souris trouvés sous les éoliennes dans le cadre de cette étude atteint un niveau étonnamment élevé. En valeur absolue, il s'agit même du chiffre le plus important enregistré en Allemagne jusqu'à présent. Les chercheurs BEHR & HELVERSEN (2005) furent les seuls à trouver un nombre absolu de victimes légèrement supérieur sur le site de Rosskopf près de Fribourg. Il est évidemment nécessaire de tenir compte de la fréquence de contrôle lors de la comparaison de ces chiffres.

Le nombre absolu de chauves-souris trouvées en 2004 sous toutes les éoliennes contrôlées (n=40) est parfaitement comparable à celui de BEHR & HELVERSEN (2005) qui, en 2004, ont découvert 44 Pipistrelles communes et Noctules de Leisler sous les quatre éoliennes de Rosskopf (avec une fréquence de contrôle toutefois supérieure). Les chiffres enregistrés sur le site de Rosskopf correspondent approximativement à ceux des éoliennes Schillinger Berg 1, Hohe Eck et Holzschläger Matte 1 sous lesquelles de nombreuses victimes ont également été trouvées à la même époque en 2004.

### Détermination des facteurs de correction pour l'estimation du nombre de victimes

Pour calculer le nombre effectif de chauves-souris qui sont entrées en collision avec les éoliennes, l'efficacité de recherche, le taux de disparition des cadavres et la surface contrôlée ont permis de proposer une estimation du nombre de victimes découvertes. L'efficacité de recherche a peut-être été légèrement surestimée car la personne chargée d'effectuer les contrôles savait que de faux cadavres de chauves-souris avaient été préalablement disséminés. Cette efficacité de recherche est cependant comparable à celle obtenue à partir d'autres tests (cf. p. ex. KOFORD *et al.* 2005, KERNS *et al.* 2005).

Le taux de disparition a été calculé dans le cadre d'expériences menées tout au long de la seconde quinzaine d'août 2005. En raison de la durée limitée de ces essais, il n'est pas à exclure que les taux de disparition soient légèrement différents à d'autres périodes de contrôle, p. ex. en juillet ou en octobre. L'activité biologique (p. ex. celle des Silphidés) est notamment susceptible de reculer au cours de l'automne de sorte que les animaux disparaissent de la surface contrôlée moins rapidement qu'au mois d'août. Toutefois, cet effet doit être relativisé car c'est bien au mois d'août que la plupart des cadavres pris en compte dans cette estimation ont été trouvés. Les études antérieures ont révélé que les taux de disparition variaient fortement en fonction des sites, ce que nous avons également été en mesure de prouver avec nos essais. Par conséquent, nous avons sélectionné pour nos tests les éoliennes sous lesquelles les victimes de collision avaient été les plus nombreuses. Le taux de disparition moyen correspond très précisément aux valeurs relevées aux États-Unis en 2005 dans le cadre de l'étude très détaillée de KERNS *et al.* sachant que leurs essais ont été réalisés avec des chauves-souris et non avec des souris de laboratoire. Ces chercheurs ont également réussi à démontrer que les chauves-souris qui venaient juste de mourir avaient disparu beaucoup plus rapidement que les chauves-souris temporairement congelées.

En raison de l'importance du facteur mathématique pour le taux de disparition, nous avons effectué tous les calculs en tenant compte non seulement de la valeur moyenne relevée, mais également des limites supérieure et inférieure de la dispersion pour représenter une fourchette dans laquelle se trouve très probablement le nombre de victimes réelles de collision. Il convient cependant de prendre en considération lors de l'analyse des valeurs représentées qu'il ne s'agit que d'une estimation.

Une discussion s'impose quant à la durée des intervalles entre les contrôles en corrélation avec le taux de disparition. Les études antérieures indiquent que les collisions ne se sont pas réparties de façon homogène sur toute la période de contrôle, mais souvent multipliées sur certains jours. Par conséquent, il est important de considérer le nombre de jours entre l'événement et la date de contrôle. Si un contrôle vient d'être effectué lorsque les chauves-souris entrent en collision avec les éoliennes, un grand nombre de cadavres auront disparu lors du prochain contrôle, ce qui entraîne donc une sous-estimation du nombre de victimes. À l'inverse, ce dernier fait l'objet d'une surestimation si le contrôle se déroule peu de temps après l'événement car il s'agit bien d'une valeur moyenne qui est calculée pour le taux de perte des cadavres selon les différentes périodes de contrôle. Les chercheurs ARNETT *et al.* (2005) ont démontré ce résultat dans une évaluation, qui a valeur d'exemple pour un rythme de contrôle hebdomadaire, en s'appuyant sur les données exactes des contrôles effectués quotidiennement. Dans leur cas, un contrôle hebdomadaire aurait conduit (malgré l'intégration des facteurs de correction en fonction du taux de disparition) à une sous-estimation des

victimes avec un facteur de 3 car le hasard fit que les collisions les plus nombreuses se sont toujours produites un ou deux jours après un contrôle. À l'inverse, on peut en déduire qu'un résultat de recherche peut faire l'objet d'une surestimation d'une ampleur similaire si le plus grand nombre de victimes intervient toujours peu avant le contrôle. Par conséquent, il convient de choisir, dans la mesure du possible, des intervalles rapprochés entre les contrôles afin de déterminer avec exactitude le nombre de victimes réelles. En revanche, la zone de dispersion pour le taux de disparition permet de montrer l'ordre de grandeur du nombre exact de victimes.

Lors du calcul du facteur correcteur de surface, seule l'aire contrôlée à une distance de 40 m par rapport au pied du mât a été prise en compte car, dans le cadre de cette étude, le cadavre le plus éloigné fut trouvé à 37 m. Il faut néanmoins supposer que d'autres cadavres pouvaient également se trouver à plus de 40 m des éoliennes contrôlées, voire dans un rayon supérieur à 50 m. Ainsi, d'autres études font état de nombreux cadavres découverts à une distance pouvant atteindre env. 60 m (KERNS *et al.* 2005, TRAXLER *et al.* 2004, TRAPP *et al.* 2002 entre autres). BEHR & HELVERSEN (2005) ont également trouvé un cadavre à 95 m de l'éolienne la plus proche. En prenant un rayon de 40 m pour calculer le facteur de surface, le nombre de victimes a donc tendance à être sous-estimé.

L'estimation a été calculée de façon homogène pour la surface contrôlable dans le rayon de 40 m, sans pondération spéciale de la répartition des cadavres découverts dans les différentes tranches de distance car notre étude ne révélait aucune différence significative au regard de la répartition des victimes en fonction de la surface contrôlable (cf. chap. 2.3.4 et fig. 11).

Il n'a pas non plus été tenu compte du fait qu'en limitant les contrôles à avril-mai (2005 seulement) et à août-octobre, toutes les victimes n'ont pas été comptabilisées, ce qui a également entraîné une sous-estimation des nombres.

### Résultats de l'estimation

L'estimation du nombre de victimes pour les éoliennes contrôlées dans le district de Fribourg montre pour la première fois de façon réaliste les taux de collision à envisager pour l'ensemble des éoliennes, ainsi que pour chacune d'entre elles : 335 victimes de collision (269-446) pour les 16 éoliennes contrôlées en 2004 et 94 (75-125) pour les 8 éoliennes contrôlées à nouveau en 2005.

Les études révèlent qu'en se focalisant sur le nombre absolu de victimes trouvées sous les éoliennes, l'ampleur des impacts est fortement sous-estimée. Par conséquent, il convient de toujours tenir compte de l'efficacité de recherche et du taux de disparition spécifiques au site dans toutes les études relatives aux victimes de collision.

Si ces facteurs de correction avaient été calculés et utilisés lors d'autres études menées par des chercheurs allemands (p. ex. TRAPP *et al.* 2002 ou BEHR & HELVERSEN 2005), des valeurs comparables, voire supérieures auraient été également trouvées pour ces travaux. Il existe une série d'études systématiques et très détaillées d'un point de vue méthodologique qui ont été réalisées par des chercheurs américains et autrichiens qui permettent de comparer les estimations calculées au cours de cette étude (cf. tabl. 7). Il ressort de cette comparaison que les chiffres de mortalité les plus élevés concernent les éoliennes situées en milieu forestier. Ainsi, les calculs de KERNS *et al.* (2005) ont permis d'obtenir une moyenne de 25 et

38 victimes par éolienne contrôlée pour des sites implantés dans les forêts de Pennsylvanie et de Virginie-Occidentale. Ces valeurs correspondent donc approximativement à celles que nous avons pu déterminer en 2004 pour l'ensemble des éoliennes, ainsi que pour les huit d'entre elles situées en milieu forestier. En revanche, en terrain ouvert (zone rurale), il n'a été trouvé que 5,9 ou 10,2 individus (2003/2004) dans le parc éolien de Top of Iowa p. ex. (KOFORD 2005). Pour deux parcs éoliens dans l'est de l'Autriche, TRAXLER *et al.* (2004) ont obtenu des moyennes de 8 ou 5,3 individus par éolienne alors que dans notre étude nous n'avons enregistré aucune victime sous les éoliennes en terrain ouvert. Ces résultats viennent étayer l'hypothèse que les éoliennes situées en milieu forestier sont bien plus meurtrières que les autres (cf. aussi chap. 4.4.3).



Tabl. 7 : Mortalité des chauves-souris dans différents parcs éoliens aux États-Unis, en Espagne, en Autriche et en Allemagne

Lieu	Structures d'habitat dans le parc éolien	Période d'étude (PE)	Mortalité par turbine/PE	Prise en compte des facteurs de correction (Efficacité, Disparition, Surface)
Buffalo Ridge, MN P1	Champs et pâturages	1999	0,07	Oui (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Buffalo Ridge, MN P2		1998-2001	2,02	Oui (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Buffalo Ridge, MN P3		1999-2001	2,32	Oui (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Foot Creek Rim, WY	Prairie, trembles, arbustes	1998-2001	1,04	Oui (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Vansycle, OR	Champs et surfaces herbacées	1999	0,74	Oui (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Wisconsin	Champs et pâturages	1999	1,10	Oui (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Buffalo Mtn., TN	Forêt de feuillus sur sommet de montagne	2001	10	Non (ERICKSON <i>et al.</i> 2002)
Mountaineer, Virginie-Occidentale	Forêt sur crête montagneuse	31/07-11/09/2004	38	Oui (KERNS <i>et al.</i> 2005)
Meyersdale, Pennsylvanie	Forêt sur crête montagneuse	31.07.-11.09.2004	25	Oui (KERNS <i>et al.</i> 2005)
Top of Iowa	Terres agricoles près de zones humides	15/04-15/12/2003	5,91	Oui (KOFORD <i>et al.</i> 2005)
		24/03-15/12/2004	10,17	
Navarre Nord-ouest de l'Espagne	Pâturages et broussailles d'arbustes nains	1999-2001	2,6	<b>E + D</b> oui à certaines conditions, <b>S</b> incertain (ALCALDE & SÁENZ 2004)
Prellenkirchen Est de l'Autriche	Zones agricoles	09/2003 à 09/2004	8,00	Oui (Traxler <i>et al.</i> 2004)
Steinberg Est de l'Autriche	Zones agricoles	09/2003 à 09/2004	5,33	Oui (Traxler <i>et al.</i> 2004)
Puschwitz, Saxe	Stades préforestiers, pinèdes	18/08-10/10/2002	3,40	Non (TRAPP <i>et al.</i> 2002)
Roskopf Fribourg	Ventis en forêt	08/10/2004	21,5	<b>S</b> oui, <b>D + E</b> non (BEHR & HELVERSEN 2005)

### 2.4.3 Variation du nombre de victimes de collision selon les années

En termes de chiffres absolus, 31 victimes ont été enregistrées en 2004 contre seulement 10 en 2005. Ces chiffres montrent que, de toute évidence, le taux de collision des chauves-souris sur les différentes éoliennes varie considérablement selon les années.



Les chiffres bien plus faibles de 2005 seraient dus aux températures estivales dans l'ensemble plus fraîches car les nuits chaudes et peu ventées pour lesquelles on pouvait s'attendre à une recrudescence des collisions se sont révélées beaucoup plus rares qu'en 2004. Mais tant que l'on ignore les raisons pour lesquelles les chauves-souris s'approchent puis entrent en collision avec les éoliennes, il est difficile d'interpréter ces différentes informations.

#### 2.4.4 Répartition saisonnière des éléments de preuve

En ce qui concerne la répartition saisonnière des cadavres de chauves-souris découverts, l'étude menée dans le district de Fribourg n'apporte aucun nouvel enseignement essentiel. Cette répartition des victimes laisse effectivement une impression de déjà vu, la majorité des collisions se produisant sur une période allant du mois de juillet au mois de septembre (cf. synthèse de DÜRR & BACH 2004). L'absence de cadavres entre le début du mois d'avril et la mi-mai confirme également ce que l'on trouve jusqu'à présent dans la littérature, à savoir qu'au printemps on ne trouve que rarement et irrégulièrement des victimes de collision. Il est cependant nécessaire de tenir compte du très faible nombre d'études réalisées durant cette période.

La répartition saisonnière des victimes trouvées en 2004 correspond tout à fait aux résultats obtenus par BEHR & HELVERSEN (2005) en 2004 sur le site de Rosskopf. Ils ont également noté que la plupart des cadavres ont été trouvés au début du mois d'août après des nuits très chaudes et relativement peu venteuses. Des enregistrements sonores leur ont en outre permis de montrer que l'activité des Pipistrelles communes près des nacelles des éoliennes contrôlées s'est manifestée à 95 % par des vitesses de vent inférieures à 6 m/s (*ibidem*).

Le fait que les cadavres sont principalement trouvés après des nuits chaudes et peu venteuses à la fin de l'été se retrouve dans toutes les études réalisées jusqu'à présent (p. ex. ARNETT 2005, JOHNSON *et al.* 2003, TRAPP *et al.* 2002). L'explication, plausible de prime abord, d'une augmentation des risques de collision dans de telles conditions météorologiques en raison d'une activité plus importante des proies et des chauves-souris est aussi peu prouvée à l'heure actuelle que la thèse avançant que les victimes sont simplement projetées plus loin par vent fort et ne sont donc pas retrouvées au cours de contrôles ultérieurs.

En ce qui concerne l'absence de preuves lors des contrôles effectués du mois d'avril à la mi-mai, il est nécessaire de tenir compte du fait qu'avec un intervalle de 5 jours entre les contrôles, les victimes peuvent être facilement ignorées lorsqu'elles sont peu nombreuses. Afin de vérifier ce phénomène avec plus de précision, il faudrait donc réduire les intervalles entre les contrôles. Toutefois, on peut supposer (hypothèse soutenue par le peu de données publiées) que les collisions sont beaucoup moins nombreuses au cours de cette période qu'à la fin de l'été. Pour les périodes non contrôlées, il est impossible de se prononcer sur une éventuelle mortalité supplémentaire.

#### 2.4.5 Influence du site d'implantation et du type d'éolienne

Aucune tendance particulière ne se dégage clairement quant au type d'éolienne ou à l'altitude du site d'implantation au vu des résultats obtenus au cours de cette étude. Des collisions se sont produites pour toutes les configurations. Néanmoins, l'échantillon contrôlé se révèle ici

beaucoup trop faible pour permettre une évaluation des différents paramètres des sites d'implantation. Dans le cadre de l'analyse de toutes les découvertes de cadavres signalées jusqu'à présent en Allemagne, DÜRR & BACH (2004) également n'ont pas été en mesure d'observer de tendance nette quant à une éventuelle influence de la hauteur du moyeu ou du diamètre du rotor.

L'impact souvent discuté des feux de balisage des éoliennes n'a pas fait l'objet d'examen plus approfondis au cours de cette étude. En principe, il est possible que les insectes, proies potentielles, et par conséquent les chauves-souris soient attirés par les feux lumineux. Lors d'études comparatives réalisées dans un parc éolien des États-Unis sur des éoliennes avec ou sans feux (cinq de chaque type contrôlées pendant une nuit à l'aide d'une caméra thermique), HORN & ARNETT (2005) n'ont relevé aucune différence notable quant à l'activité des chauves-souris.

### 3 Examen des victimes de collision

#### 3.1 Introduction et problématique

Les examens vétérinaires systématiques des victimes et notamment une autopsie des animaux n'ont pas encore été réalisés en Allemagne. Cette constatation est étonnante car de telles pratiques permettent néanmoins d'apporter un complément d'information sur la cause de la mort ou sur le comportement des animaux près des éoliennes. L'examen des cadavres collectés dans le cadre de cette étude nous a conduits à nous poser les questions suivantes :

- ▶ Pour quelles raisons les animaux sont-ils morts ? Existe-t-il un lien avec l'exploitation d'éoliennes ou bien d'autres causes de mort entrent-elles en ligne de compte ?
- ▶ Quel est le statut des animaux ?
- ▶ Quel est leur état nutritionnel ? Ont-ils chassé avant de mourir ?

#### 3.2 Méthodologie

Les cadavres congelés ont été transmis au Muséum national d'Histoire naturelle de Karlsruhe (Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe, SMNK) pour être intégrés à la collection de chauves-souris. Outre la saisie classique de données réalisée lors de l'inventaire, Madame le docteur Ursel Häußler a procédé à d'autres examens visant à déterminer la cause de mort. Les méthodes d'examen et les résultats présentés ici sont extraits des rapports concernés (HÄUSSLER 2004 et comm. pers. 2005).<sup>8</sup>

L'examen réalisé par Madame Ursel Häußler concerne les points suivants :

- ▶ Contrôle et, dans la mesure du possible, complément de recherche sur le statut de l'animal (espèce, sexe, âge, état reproducteur). En cas de doute, le développement des

<sup>8</sup> Tous les examens ont été réalisés par Madame le docteur Ursel Häußler en dehors du cadre de ses travaux pour le Muséum national d'Histoire naturelle de Karlsruhe (SMNK), à titre bénévole et dans l'intérêt de la chose, ce dont nous lui sommes extrêmement reconnaissants.

gonades a été intégré à l'analyse. Un prélèvement de tissu permet de vérifier au microscope la production de sperme ou l'insémination.

- ▶ Vérification de l'état de conservation et relevé des blessures externes (examen particulièrement approfondi de la tête axé sur les hémorragies et fractures du crâne. À deux occasions, les crânes ont été disséqués).
- ▶ Enregistrement des données biométriques (tout d'abord uniquement possible pour la longueur de l'avant-bras et celle du 5<sup>e</sup> doigt).
- ▶ Autopsie des cadavres pratiquement frais
  - a) pour vérifier l'état nutritionnel général (dernière ingestion d'aliments, appareil digestif, guano dans le rectum) et
  - b) pour détecter les blessures internes dans la cage thoracique et l'abdomen.

Les cavités thoraciques et abdominales de seize<sup>9</sup> corps (douze *P. pipistrellus*, quatre *N. leisleri*) ont été ouvertes. Le résultat de l'autopsie obtenu à l'œil nu a ensuite été vérifié au stéréomicroscope (grossissement jusqu'à 50 fois). Cette manipulation a permis d'observer des modifications d'organes et des hémorragies. Sept<sup>10</sup> chauves-souris ont été congelées après l'autopsie pour subir des examens ultérieurs. Les animaux restants (de même que les individus non autopsiés) ont été conservés dans de l'alcool à 75 %.



Fig. 16 :  
Les causes de la mort sont rarement aussi évidentes que pour cette Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) avec le crâne ouvert, découverte sous une éolienne juste après sa mort.

### 3.3 Résultats

#### 3.3.1 Fractures du crâne et blessures apparentes

Sur les cadavres de 2004, seuls 4 individus présentaient des ailes cassées et des blessures à la tête apparentes qui constituaient manifestement un lien de cause à effet avec la mort des animaux (cf. rapport des découvertes en annexe). À l'exception de 2 individus, on a toutefois constaté sur des exemplaires bien conservés (n=14) des traces de sang dans les narines et le plus souvent aussi dans la gueule. En outre, la muqueuse buccale de la mâchoire supérieure présentait en partie des ecchymoses. L'examen du conduit auditif (sous la binoculaire) a permis

<sup>9</sup> 12 animaux (8 *P. pipistrellus*, 4 *N. leisleri*) trouvés en 2004 et 4 *P. pipistrellus* découvertes en 2005

<sup>10</sup> 3 animaux (1 *P. pipistrellus*, 2 *N. leisleri*) trouvés en 2004 et 4 *P. pipistrellus* découvertes en 2005

de reconnaître des traces de sang derrière le tympan chez 5 individus, ce qui laisse sous-entendre, du moins dans ces cas-là, la présence de fractures du crâne. Les crânes prélevés et préparés d'une Pipistrelle commune et d'une Noctule de Leisler présentaient des fractures de l'arcade zygomatique et des déformations des bulles tympaniques ou des fractures de la base du crâne.

En 2005, 6 animaux ont été retrouvés avec des fractures des ailes, ainsi que des blessures à la tête à l'origine de leur mort. Comme l'année précédente, il s'agissait de fractures de l'avant-bras (2 individus), d'hémorragies gingivales (1 individu), de traces de sang dans les conduits auditifs (2 individus), dans les bulles tympaniques (1 individu) et dans la gueule (1 individu) ; de fractures de la mâchoire inférieure (1 individu), de la mâchoire supérieure (1 individu) et d'une fracture de la base postérieure du crâne (1 individu).

Pour tous les cas susceptibles d'être analysés à partir de l'état de conservation des animaux, aucune blessure classique causée par une attaque de rapace (ou une tentative) n'a été constatée sur le patagium et le corps. Il est donc pratiquement exclu que les lieux de découverte des cadavres aient constitué des « postes de plumée » ou des terrains de chasse favoris pour des rapaces diurnes.

### 3.3.2 Résultat des autopsies

Les Pipistrelles communes et les Noctules de Leisler en bon état de conservation et sans blessure apparente présentaient toutes, de prime abord, un hémothorax caractérisé. Ce type d'hémorragie a été observé sur les quatre Pipistrelles communes autopsiées en 2005. Des hémorragies aussi importantes dans la cavité thoracique permettent de diagnostiquer des ruptures vasculaires occasionnées par les collisions. Une justification de cette hypothèse suppose une préparation anatomique fine qui n'a cependant pas été réalisée dans le cadre de cette étude.

Le tissu pulmonaire semblait intact. Néanmoins, on ne peut exclure que des effets barotraumatiques sur les alvéoles pulmonaires (dépression ou surpression relative) soient à l'origine de l'hémothorax observé. À la suite de l'hémothorax, les organes abdominaux étaient atteints d'ischémie. Des déchirures de la paroi abdominale, d'origine inconnue (et peut-être *post mortem*), ont été constatées dans certains cas, mais pas de « rupture interne » de l'abdomen consécutive à de fortes pressions dont il sera question dans les causes de mortalité.

La totalité des animaux autopsiés sont morts alors qu'ils étaient en bonne condition physique. De plus, les chauves-souris disposaient de réserves de graisse brune. À l'exception d'un seul individu, le tractus intestinal présentait des aliments réduits en bouillie et les animaux étaient sur le point de déféquer. Aucun estomac n'a été trouvé plein. Afin de déterminer plus précisément le type d'aliment, ainsi que le moment de la dernière ingestion, il serait nécessaire de pratiquer des examens systématiques.

### 3.4 Discussion et bilan provisoire sur les causes de mort

D'après les présents résultats, les causes de mort naturelle (au sens large) et les maladies sont à exclure.

- ▶ Apparemment, les chauves-souris victimes de collision (dont de nombreux juvéniles) présentaient un état nutritionnel satisfaisant.
- ▶ Aucun signe d'affection causale (infections, forte pression parasitaire, nuisances chimiques).
- ▶ Les réserves de graisse des victimes, ainsi que leur ingestion alimentaire peu de temps avant leur mort ne permettent pas de considérer comme une cause de mortalité pertinente l'affaiblissement critique de leur forme physique dû à une accumulation de toxines résultant plus ou moins des vols au long cours ou d'un comportement d'essaimage exigeant une débauche d'énergie importante.
- ▶ Des attaques de Falconiformes auraient laissé des blessures caractéristiques.

Les blessures internes sont sans l'ombre d'un doute d'origine traumatique. D'après cette étude, il est seulement possible de conclure qu'il existe une relation de cause à effet entre la mort des chauves-souris retrouvées et les éoliennes.

## 4 Observation de l'activité des chauves-souris près des éoliennes à l'aide d'une caméra à images thermiques

### 4.1 Introduction et problématique

Très peu d'études ont été réalisées à l'heure actuelle sur le comportement des chauves-souris dans la zone balayée par le rotor des éoliennes. Ceci est probablement dû aux difficultés méthodologiques fondamentales qui accompagnent ce type de travail. En effet, il est ici pratiquement impossible de mettre en application les méthodes classiques de suivi de l'activité des chauves-souris à l'aide de détecteurs placés au sol car, à quelques exceptions près, leur portée se révèle insuffisante pour détecter les cris d'écholocation à hauteur des rotors. Certaines théories supposent en outre que les chauves-souris s'orientent éventuellement dans l'espace aérien par d'autres méthodes que l'écholocation pendant les phases de migration. Dans ce cas-là, cette technique ne permettrait donc pas de les détecter au cours de ces périodes (cf. RAHMEL *et al.* 2004).

Par conséquent, l'utilisation de caméras à images thermiques a été proposée à plusieurs reprises pour observer les chauves-souris à une altitude supérieure à 100 m (*ibidem*). Toutefois, cette technique n'ayant jamais été mise en œuvre auparavant pour l'observation de chauves-souris à proximité des éoliennes, il convenait de procéder en amont à des essais détaillés visant à développer des méthodes d'observation appropriées et de mettre au point un système de classement des données obtenues.

Les premières observations de chauves-souris près des éoliennes effectuées à l'aide de caméras à images thermiques ont été réalisées aux États-Unis en même temps que cette étude-ci. En 2004, HORN & ARNETT (2005) ont observé pendant une nuit chacune des dix éoliennes du parc éolien Mountaineer Wind Energy Center implanté en Pennsylvanie. À la même période, BEHR & HELVERSEN (2005) ont déterminé pour la première fois la densité d'activité des chauves-souris près du rotor des éoliennes situées dans le parc éolien de Rosskopf/Fribourg au moyen d'enregistrements automatiques des cris de chauves-souris. Les

cris ont été enregistrés à l'aide d'un microphone positionné au-dessus de la nacelle puis transmis à un ordinateur situé à l'intérieur de celle-ci. Pendant deux nuits, il a même été possible d'utiliser simultanément les deux méthodes de détection d'activité (sonore et optique) sur la même éolienne et donc d'en tester l'efficacité (cf. chap. 4.2.3).

L'observation effectuée au moyen d'une caméra thermique doit permettre de répondre aux questions fondamentales suivantes, relatives au comportement des chauves-souris à proximité des éoliennes :

- ▶ Est-ce que les chauves-souris présentent un comportement de regroupement ou d'inspection autour de l'éolienne qui laisserait penser qu'elles la considèrent comme un gîte potentiel ?
- ▶ Est-il possible d'observer des collisions ou des réactions d'évitement ?
- ▶ Existe-t-il des différences dans l'activité des chauves-souris en fonction du site, du moment de la journée ou de la saison ?

En 2004, nous avons procédé essentiellement à des observations-tests, ainsi qu'à des observations de comportement pendant des nuits entières en plaçant la caméra thermique sur des éoliennes choisies pour répondre aux questions posées. En 2005, nous souhaitons examiner en outre deux autres hypothèses issues des résultats de l'étude obtenus en 2004, ainsi que des données intermédiaires (déjà publiées) d'autres mesures d'activité, et dont la vérification se révèle également très pertinente en termes de planification :

- ▶ Nos collectes (cf. chap. 2) nous ont permis de conclure que les collisions étaient moins nombreuses pour les éoliennes en terrain ouvert que pour celles situées en milieu forestier. Par conséquent, l'activité près des éoliennes en terrain ouvert doit également être sensiblement moins importante qu'à proximité de celles situées en forêt.
- ▶ BEHR & HELVERSEN (2005) avaient été en mesure de démontrer avec leurs enregistrements sonores que 95 % des cris des Pipistrelles communes s'étaient produits à des vitesses de vent inférieures à 6 m/s. Ainsi, une augmentation de la vitesse du vent devrait s'accompagner d'une réduction de l'activité des chauves-souris également lors des observations réalisées à l'aide de la caméra à images thermiques.

Le coût très élevé des études réalisées au moyen d'une caméra à images thermiques et de l'analyse des résultats n'a permis de procéder qu'à un nombre restreint d'observations. Nous avons pris la décision de les utiliser pour comparer les différents sites même si cela ne nous a permis de traiter qu'un nombre très faible d'échantillons. Les résultats sont donc insuffisants pour l'évaluation statistique et traduisent seulement une tendance qui devra encore faire l'objet d'une vérification au cours d'études plus complètes.

## 4.2 Méthodologie

### 4.2.1 Sélection des sites et des périodes d'observation

Outre de nombreux essais méthodologiques, deux nuits entières ont été passées à la fin de l'été 2004 à observer le comportement des chauves-souris à l'aide d'une caméra à images

thermiques pour les éoliennes Schillinger Berg 1 (02-03/09/04) et Holzschlägermatte 1 (07-08/09/04).

En 2005, des études comparatives ont été menées sur une éolienne en forêt (Schillinger Berg 1), sur une éolienne en terrain ouvert (Schillinger Berg 2) et sur une surface de référence sans aucune éolienne. Les trois surfaces étudiées se trouvaient dans les contreforts de l'ouest de la Forêt-Noire à une altitude de 710 m au-dessus du niveau de la mer. Le choix de la surface de référence s'est porté sur une zone de ventis au nord-est de Schillinger Berg. Les sites d'observation étaient relativement proches les uns des autres. Si l'on considère que l'éolienne Schillinger Berg 1 est le point central, l'éolienne Schillinger Berg 2, ainsi que la surface de référence étaient situées à une distance d'environ 850 m, ce qui exclut toute influence mutuelle entre les différents sites. L'éloignement entre Schillinger Berg 2 et la surface de référence était d'environ 1 450 m.

Au total, quatre observations sur une moitié de nuit ont été réalisées entre la mi-juillet et la mi-octobre sur chacun des trois sites toutes les 3 à 4 semaines. L'ordre des essais effectués sur ces sites pendant trois nuits consécutives<sup>11</sup> a été tiré au sort. Les dates ont été choisies de façon à ce que la période d'observation de trois jours tombe en période de haute pression stable avec un ciel dégagé et, par conséquent, des conditions météorologiques comparables dans la mesure du possible. La période d'observation nocturne s'étendait à chaque fois sur quatre heures, après le coucher du soleil.

#### 4.2.2 Démarche adoptée et équipement technique

La position de la caméra a été définie individuellement pour chaque site et est restée la même pendant les quatre nuits d'observation. La caméra a été placée sur un pied à 30 m du mât de l'éolienne puis dirigée vers le moyeu de façon à avoir la nacelle entière dans le champ de vision et détecter une partie de la pale descendante (en fonction de la direction du vent) (cf. fig. 17). La nacelle a été ainsi intégrée dans chaque observation afin d'enregistrer un éventuel comportement de regroupement ou d'inspection de la part des chauves-souris. L'inclinaison de la caméra a été notée afin d'observer une zone comparable de l'espace aérien au-dessus de la surface de référence.

Dans le cadre de cette analyse, nous avons utilisé le modèle de caméra à images thermiques Thermal Imager IR-5120All de Mitsubishi<sup>12</sup>. Cet outil permet d'enregistrer les rayonnements infrarouges d'objets présentant une longueur d'onde comprise entre environ 3 et 5  $\mu\text{m}$  et de les transformer en images en temps réel. Le détecteur de rayonnement se compose d'une résolution de 512 x 512 pixels et peut générer des images nettes avec un temps de réaction de 1/60 s. Ces caractéristiques permettent de représenter des différences de température de 0,2 °C.

<sup>11</sup> Les dates suivantes ont été choisies : 26-28/07/05, 16-18/08/05, 01-03/09/05 et 08-10/10/05.

<sup>12</sup> La caméra à images thermiques a été mise à disposition pour une durée déterminée par l'Institut de recherche en optronique et reconnaissance des formes (dirigé par Monsieur le Docteur Ebert) de la Société de recherche spécialisée en sciences naturelles appliquées (Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V.) implantée dans la ville d'Ettlingen. Nous remercions l'Institut de recherche pour son soutien technique et tout particulièrement Monsieur Willutzki pour l'aide technique et scientifique qu'il nous a apportée à maintes reprises.

L'objectif infrarouge (f : 50 mm, F 1.2) dispose d'un angle d'ouverture de  $14^\circ \times 11^\circ$  qui équivaut à un segment d'image de 20,5 m x 16,1 m à une distance de 84 m (cf. fig. 17). En d'autres termes, chaque pixel couvre une surface de 4,0 cm x 3,1 cm. Cette configuration suffit pour représenter une Pipistrelle commune sous forme de points.

Les images enregistrées par la caméra ont été converties du format NTSC au format PAL au moyen d'un convertisseur de signaux, puis enregistrées sur bande à l'aide d'un enregistreur numérique. La date et l'heure sont insérées dans l'image et permettent une classification des événements à la seconde près. L'observation a été réalisée sur site à l'aide d'un écran 9" monochrome.

L'enregistrement a débuté au coucher du soleil, déterminé sur site à l'aide d'un GPS (Garmin), et s'est étendu sur une période de quatre heures. Les mouvements étaient observés pendant ce temps sur l'écran. Nous avons procédé à une identification grossière des objets volants, puis déterminé la direction et la hauteur de vol, et noté les données horaires. Tous les déplacements en vol enregistrés ont été à nouveau contrôlés ultérieurement, classés et consignés dans un rapport. Les temps de pause pendant l'observation ont été estimés a posteriori.

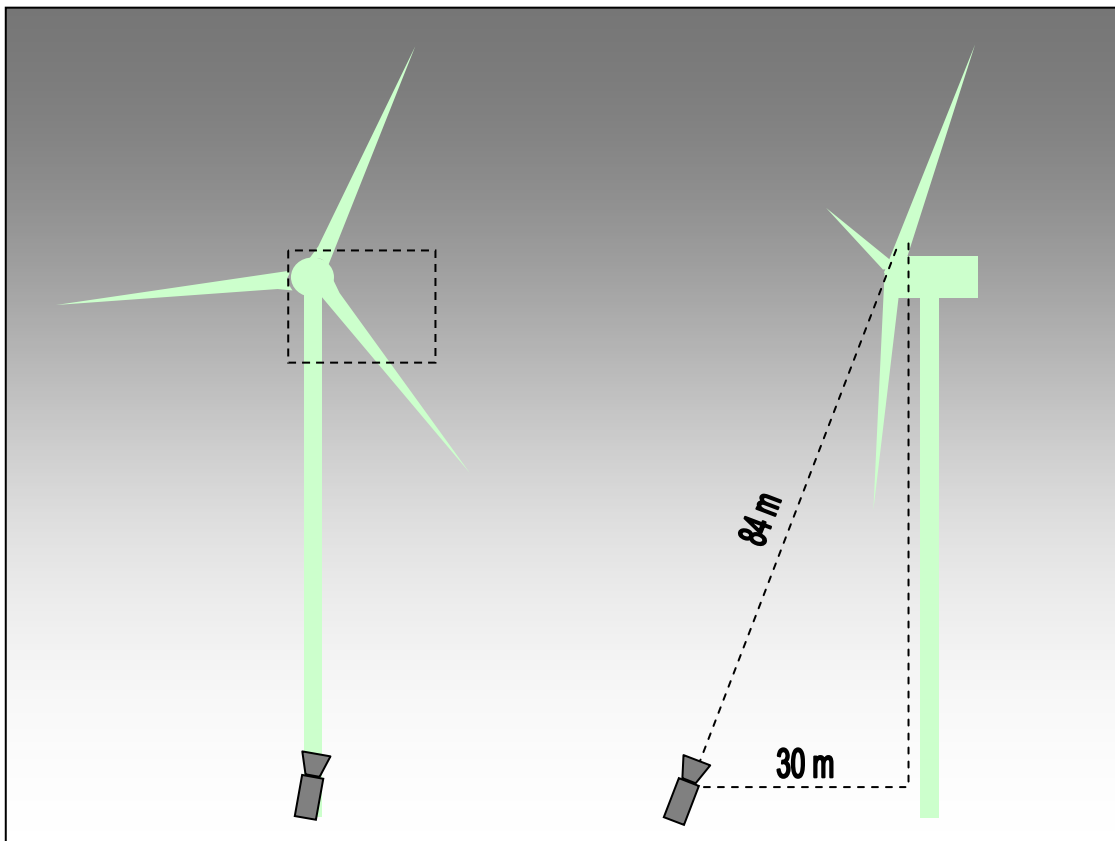


Fig. 17 : Représentation schématique du montage d'essai pour l'observation effectuée à l'aide de la caméra à images thermiques

### 4.2.3 Tests visant à déterminer la profondeur d'observation, ainsi que le type des objets observés et à développer un système de classification des observations

Afin de déterminer la profondeur d'observation, ainsi que le type des objets observés, des essais ont été effectués au cours de la phase préparatoire de l'étude, puis complétés par d'autres tests de vérification pendant les observations en cours. Le résultat de ces tests a permis de développer un système de classification des observations destiné à garantir un classement des objets aussi objectif que possible.

Les tests réalisés sont les suivants :

- ▶ Les chauves-souris de taille moyenne (la Pipistrelle de Nathusius, le Murin de Natterer et le Murin de Bechstein notamment), capturées au filet dans le cadre d'autres projets, ont été relâchées à des distances définies de 100 et 140 mètres par rapport à la caméra. Les animaux ont été libérés à hauteur de tête par une personne se trouvant au sol devant une forêt. En dépit de conditions plutôt défavorables pour la définition des images, en raison d'une différence de température assez faible entre la forêt et les chauves-souris, il était possible de détecter les animaux très facilement à une distance de 100 m et de façon encore correcte à 140 m grâce à leur signature en vol représentée sous forme de points à l'écran.
- ▶ Lors de plusieurs observations d'éoliennes effectuées à des fins de tests et en parallèle avec la caméra un deuxième observateur procédait au contrôle du segment d'image, contrôle optique (d'abord dans l'obscurité sans aucun matériel puis avec une lunette de vision nocturne Leica BIG 25) et acoustique (à l'aide d'un détecteur Petterson D 240x). L'observation simultanée des insectes et des chauves-souris a permis de récolter de nouvelles informations sur la représentation de ces objets à proximité directe (< 20-30 mètres) de la caméra.
- ▶ Une observation parallèle comparable a été réalisée à la Cathédrale Notre-Dame de Fribourg, connue depuis longtemps pour être un gîte permanent de chauves-souris, principalement pour les Pipistrelles communes mais également pour les Noctules communes et les Sérotines bicolores. Ces chauves-souris se servent des zones éclairées entourant et dominant la Cathédrale comme terrain de chasse. Un chercheur, positionné sur la galerie parcourant le flanc ouest de la tour à 70 m de hauteur, a surveillé l'activité des chauves-souris à l'aide d'un détecteur (pour identifier l'espèce) et d'un appareil de vision nocturne. La caméra a été dirigée avec le même angle d'inclinaison que celui utilisé pour les éoliennes. Une fois l'aire d'observation définie par radiotéléphonie pour les deux observateurs, les observations parallèles de chauves-souris ont alors pu être réalisées. La hauteur connue de la tour de la Cathédrale a permis de fournir une estimation concrète de la hauteur de vol des chauves-souris.
- ▶ Sur deux demi-nuits, des observations parallèles ont été menées avec des contrôles acoustiques des éoliennes réalisés par l'université d'Erlangen sur le site de Rosskopf près de Fribourg (cf. BEHR & HELVERSEN 2005), ainsi qu'aux abords de Fröhnd dans l'arrondissement de Lörrach. Grâce à un micro positionné au-dessus de la nacelle et relié à un appareil d'enregistrement installé à l'intérieur de celle-ci, les cris des chauves-souris qui volaient à proximité ont été captés et enregistrés à la seconde près. À deux

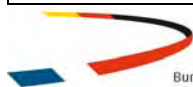
reprises, l'observation optique coïncidait exactement avec l'enregistrement des cris de la Pipistrelle commune. Au total, il a été impossible de classer 13 individus. Plusieurs explications sont ainsi envisageables : une erreur d'identification optique, les chauves-souris n'ont émis des cris d'écholocation que sporadiquement, voire pas du tout, ou bien les animaux étaient trop éloignés pour que le micro enregistre les cris. D'après les images, les deux Pipistrelles communes ayant fait l'objet d'une observation et d'un contrôle acoustique sont passées extrêmement près de la nacelle en présentant exactement la signature de vol irrégulière, avec des changements fréquents de direction, critère décisif pour identifier des chauves-souris lors de la classification des observations.

Nos tests ont démontré qu'il était impossible de déterminer au mètre près la distance entre un objet volant et l'objectif. Par conséquent, nous n'avons choisi que deux catégories de distance (< 40 m, > 40 m). Pour les éoliennes, la catégorie > 40 m comprend la zone balayée par le rotor. Pour les objets de la taille d'une chauve-souris, nous avons estimé une distance limite où ils peuvent encore être représentés par la caméra. Elle est d'environ 150 à 180 mètres pour les objets de la taille d'une Pipistrelle commune et d'environ 200 à 250 mètres pour ceux de la taille d'une Noctule de Leisler. Les objets de taille plus importante tels que les grands oiseaux et les avions sont reproduits à une distance sensiblement supérieure.

Les résultats de tous les tests ont permis de développer et de contrôler un système de classification des observations (cf. tabl. 8) visant principalement à distinguer les chauves-souris des autres objets. Les objets observés qui étaient très probablement des chauves-souris sont classés dans la catégorie « Chauve-souris ». Les observations d'avions, d'insectes et d'oiseaux qui ne soulèvent aucun doute forment toutes une catégorie distincte. La catégorie « Indéterminé » comprend toutes les autres observations qui n'ont pu être identifiées sans équivoque. Cette catégorie inclut très probablement des observations de chauves-souris puisque la catégorie « Chauve-souris » ne contient que les observations évidentes. En effet, en cas de léger doute, l'observation a été considérée comme indéterminée ou inconnue puis classée dans la catégorie correspondante. De nombreuses observations d'insectes, d'avions et d'oiseaux qui se sont avérées évidentes ont été ignorées puisqu'elles n'ont pas fait l'objet d'une analyse distincte. Par conséquent, ces observations n'ont pas non plus été affectées à une quelconque catégorie de distance.

Tabl. 8 : Système de classification des observations à l'aide d'une caméra à images thermiques selon différents critères

Catégorie	Critères de classement/objets observés
Insectes	Petits objets très flous à l'écran qui traversent le segment d'image très rapidement (principalement des insectes relativement grands, notamment des papillons de nuit).
Oiseaux	Objets en formation de vol classique, en ligne ou en V, toujours dans la même direction, classements évidents uniquement.
Avions	Petits objets volant très lentement et en ligne droite sur le segment d'image, toujours identifiables grâce aux observations en parallèle des feux de balisage.
Chauves-souris < 40 m	Objets relativement grands à proximité. Corps et ailes de chauves-souris identifiables de façon évidente. Images souvent très floues en raison de la proximité de l'objet. Passage rapide à l'écran.
Chauves-souris > 40 m	Petits objets présentant un vol de chauve-souris classique, actif, avec changements de direction et des phases de vol plané. Possibilité de vols brefs et



	droits. Battement d'ailes rapide et caractéristique parfois identifiable. Les objets traversent l'image à vitesse moyenne.
Indéterminé < 40 m	Tous les autres objets proches impossibles à classer de façon évidente.
Indéterminé > 40 m	Objets de taille petite à plus grande, volant à vitesse moyenne et en ligne droite et traversant souvent le segment d'image (probablement des <b>oiseaux</b> la plupart du temps, parfois nombreux lors de la migration d'automne). Tous les autres petits objets traversant l'image à une vitesse moyenne et principalement en ligne droite (en plus des <b>oiseaux</b> , cette catégorie comprend des chauves-souris dont certaines pendant un vol de migration à une altitude supérieure).

Le comportement en fonction des rotors généralement en mouvement a fait l'objet d'une analyse plus approfondie pour les chauves-souris identifiables de façon évidente d'après nos critères. Lorsqu'une chauve-souris volant en direction d'un rotor changeait subitement de direction, ce comportement a été interprété comme une réaction d'évitement. Nous avons considéré qu'une collision était survenue lorsque l'animal s'approchait d'abord du rotor avec son vol irrégulier caractéristique présentant des changements soudains de direction, puis volait ou tombait en ligne droite (sans présenter de vol irrégulier) en direction du sol après le passage d'une pale. En raison d'un rayonnement excessif dû à des facteurs techniques, les objets n'ont pu être observés à proximité immédiate du rotor.

### 4.3 Résultats

#### 4.3.1 Nombre et répartition des objets observés pendant la période d'étude

Au total, 590 objets ont été observés en 2005 pendant les douze demi-nuits d'observation sur les trois sites sélectionnés. Environ un tiers de ces objets a pu être identifié comme des chauves-souris. Les deux autres tiers étaient vraisemblablement des oiseaux ou n'ont pas pu être déterminés avec davantage de précision (cf. tabl. 9).

Sur les sites avec éoliennes, les observations de chauves-souris, 22 (en forêt) et 26 (en terrain ouvert), ont été réalisées dans la fenêtre de visibilité surveillée (environ 20 m x 16 m). Pour chaque site, six chauves-souris ont manifestement évité le rotor en rotation en changeant brusquement de direction. Ce comportement correspond à chaque fois à 25 % de toutes les observations. 75 % des chauves-souris n'ont pas modifié leur trajectoire de vol. Toutefois, il est nécessaire de prendre en compte le fait qu'il est impossible d'exclure l'éventualité d'un passage derrière ou bien au-dessus des rotors en mouvement en raison de la difficulté à déterminer avec précision la profondeur d'observation.

Dans deux cas, nous avons eu l'impression que la chauve-souris pouvait avoir été frappée par le rotor avant de tomber au sol. En raison des restrictions techniques des conditions d'observation, il nous est cependant impossible de confirmer cette hypothèse avec certitude.

Tabl. 9 : Nombre d'objets observés par site et par catégorie pendant les demi-nuits d'observation sur les trois sites sélectionnés en 2005 (temps total d'observation : 48 h).

Lieu	Date	Nombre d'objets	Chauves-souris < 40 m	Chauves-souris > 40 m	Indéterminé < 40 m	Indéterminé > 40 m	Réaction d'évitement
Forêt	26-27/07/05	37	23	9	1	4	1



Forêt	17-18/08/05	8	0	4	4	0	3
Forêt	03-04/09/05	11	2	4	4	1	2
Forêt	08-09/10/05	17	1	5	0	11	0
<b>Forêt</b>		<b>73</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>6</b>
Terrain ouvert	27-28/07/05	9	7	0	1	1	0
Terrain ouvert	16-17/08/05	16	3	7	1	5	0
Terrain ouvert	01-02/09/05	13	1	9	0	3	3
Terrain ouvert	10-11/10/05	153	2	10	0	141	3
<b>Terrain ouvert</b>		<b>191</b>	<b>13</b>	<b>26</b>	<b>2</b>	<b>150</b>	<b>6</b>
Site témoin	28-29/07/05	85	24	24	16	21	0
Site témoin	18-19/08/05	34	16	6	9	3	0
Site témoin	02-03/09/05	33	9	3	8	13	0
Site témoin	09-10/09/05	174	10	14	5	145	0
<b>Site témoin</b>		<b>326</b>	<b>59</b>	<b>47</b>	<b>38</b>	<b>182</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>		<b>590</b>	<b>98</b>	<b>95</b>	<b>49</b>	<b>348</b>	<b>12</b>

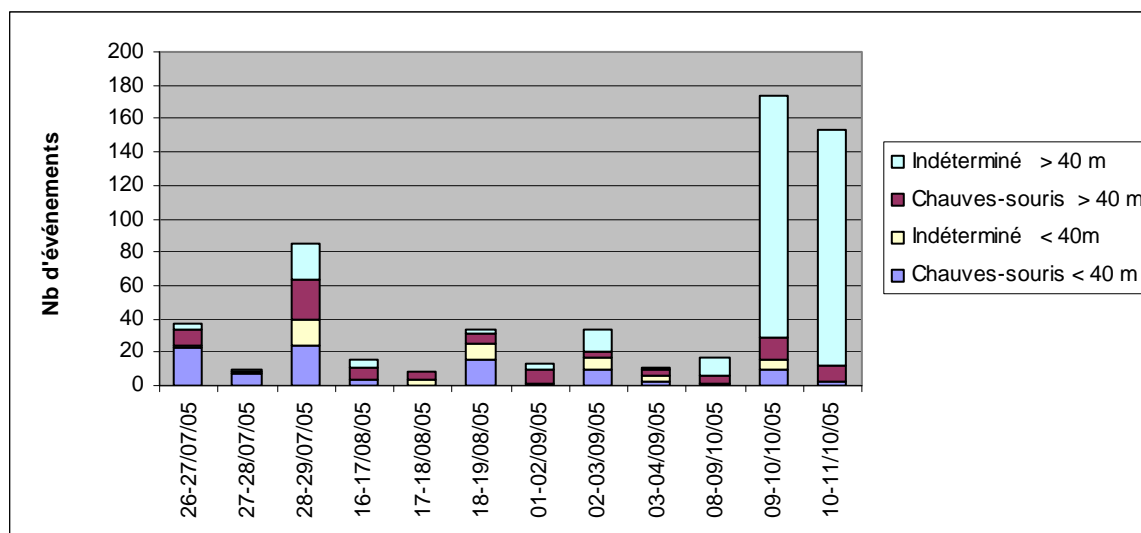


Fig. 18 : Répartition des objets observés pendant les quatre périodes d'étude aux mois de juillet, août, septembre et octobre 2005

La figure 18 indique une accumulation évidente d'objets indéterminés sur les deux derniers jours d'étude au cours desquels l'éolienne en terrain ouvert et le site témoin ont été surveillés. Il s'agissait cependant d'objets migrant de façon homogène et, d'après nous, à une altitude élevée, soit nettement au-dessus de l'éolienne et en grande majorité dans le sens nord-est/sud-ouest. Selon nos observations, ces objets pouvaient très bien être des oiseaux migrateurs (cf. chap. 4.4.1). Aucun phénomène comparable n'avait été constaté la veille autour de l'éolienne située en forêt alors que cette dernière ne se trouvait qu'à 850 m des autres.

#### 4.3.2 Comportement de regroupement ou d'inspection

Pendant toutes les observations réalisées à l'aide de la caméra à images thermiques, il n'a été constaté sur la nacelle aucun comportement de regroupement, comme le font toutes les



espèces près d'un gîte utilisé. Il est cependant nécessaire de tenir compte du faible temps d'observation total, notamment aux premières heures du jour qui n'ont fait l'objet d'une observation systématique qu'à deux reprises. Au cours de la nuit, certaines des chauves-souris observées sont passées devant la nacelle à plusieurs reprises et à courts intervalles (visible sur le même segment d'image), ce qui pourrait être interprété comme un comportement de curiosité.

### 4.3.3 Activité sur les différents sites d'étude

Tandis que les sites avec éolienne présentaient une activité relativement comparable, celle du site témoin était environ deux fois plus importante (cf. fig. 19 et tabl. 9). Ces différences considérables peuvent être constatées dans les observations de chauves-souris pour les deux catégories de hauteur. Les valeurs moyennes des observations particulièrement pertinentes par rapport au risque de collision de la catégorie > 40 m sont pratiquement identiques pour l'éolienne en terrain ouvert et celle en milieu forestier (cf. fig. 20). Cette observation est en totale contradiction avec le résultat des recherches de cadavres de chauves-souris sous les éoliennes de 2004. Les chercheurs avaient trouvé de très nombreux cadavres en forêt (Schillinger Berg 1) tandis qu'ils n'avaient découvert aucun individu sous l'éolienne en terrain ouvert (Schillinger Berg 2) (cf. chap. 2.3.1).

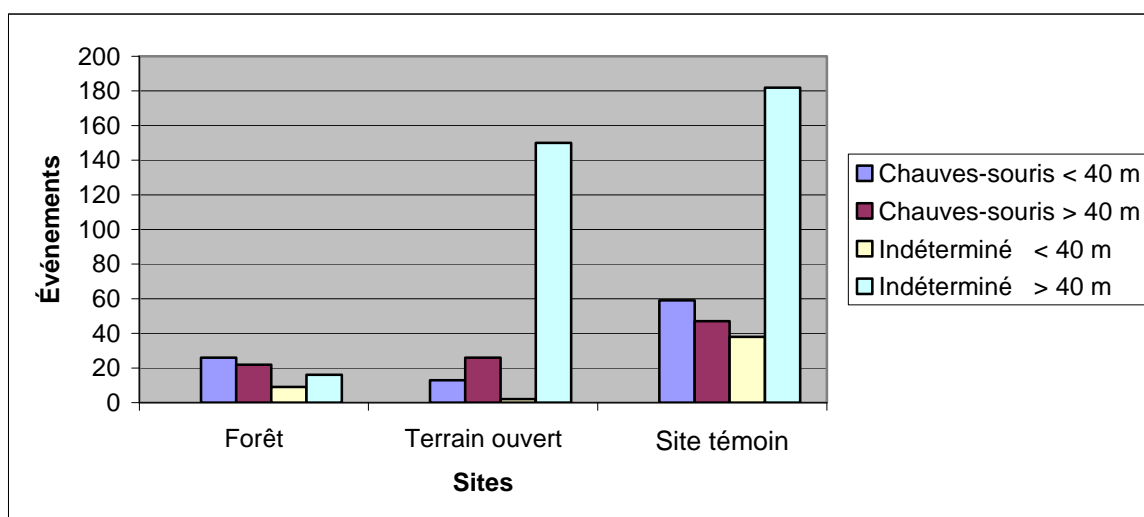


Fig. 19 : Nombre absolu d'événements observés au cours de toutes les nuits d'observation en fonction des différents sites (n=4, durée d'observation 16 h/site)

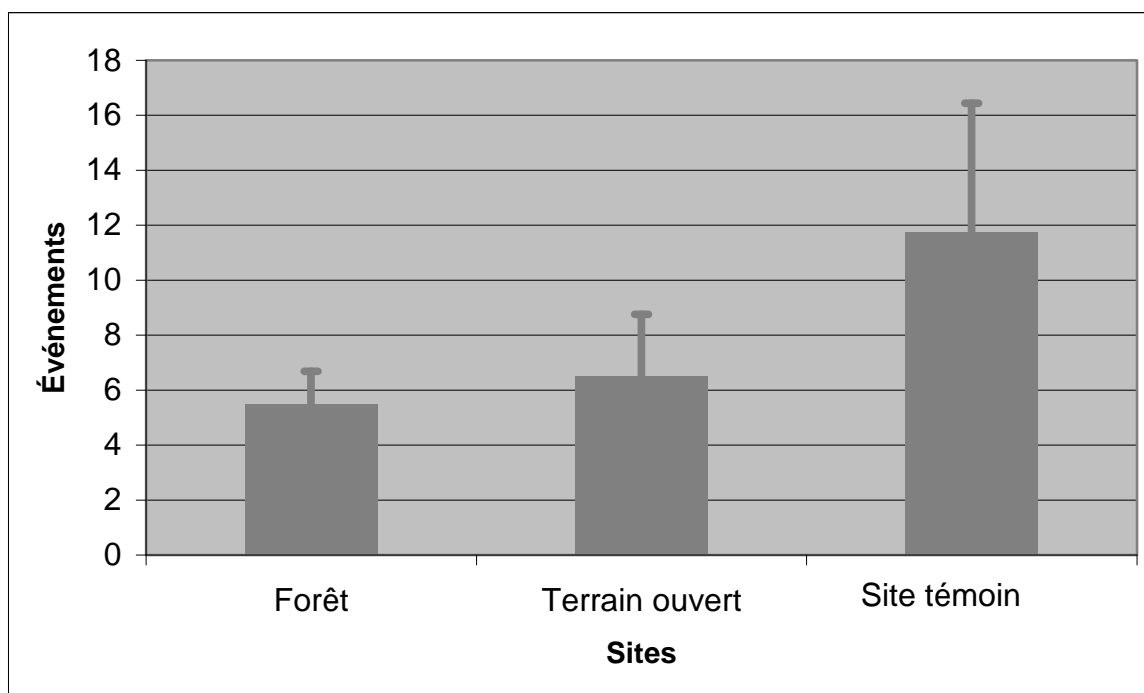


Fig. 20 : Nombre moyen d'observations de chauves-souris > 40 m par nuit en fonction des différents sites (n=4, durée d'observation 16 h/site, représentation des valeurs moyennes et de l'erreur type)

La catégorie Chauves-souris < 40 m révèle une différence importante entre les deux sites éoliens. Comme le montrent les contrôles par échantillonnage effectués à l'aide d'un détecteur parallèlement à l'observation, les chauves-souris de cette catégorie étaient essentiellement des Pipistrelles communes. Cette constatation correspond donc à la valeur attendue selon laquelle davantage de Pipistrelles communes ont pu être observées dans la clairière du site éolien Schillinger Berg 1 car elles préfèrent chasser en lisière de forêt, ainsi qu'au-dessus des arbres. Il est pourtant étonnant de s'apercevoir qu'un nombre encore relativement important d'observations se classe dans cette catégorie pour le site Schillinger Berg 2 dont l'espace aérien est complètement dégagé.

Il est nécessaire de tenir compte du faible nombre d'échantillons de cette étude comparative lors de l'analyse des données. Le panel est en effet si restreint qu'il ne permet pas la moindre vérification statistique éloquentes des résultats. Les facteurs inconnus relevant du hasard ou n'étant valables que pour ce site peuvent en outre influencer fortement sur le résultat de l'étude.

#### 4.3.4 Répartition de l'activité pendant les phases d'observation nocturnes

L'activité des chauves-souris lors des demi-nuits d'observation dans le cadre de la comparaison des sites se révèle relativement constante pendant quatre heures (durée totale de l'observation). Pendant les 30 premières minutes après le coucher du soleil, pratiquement aucune chauve-souris n'a été observée dans l'espace aérien à proximité des rotors (cf. fig. 21). En revanche, l'activité des objets inconnus augmente constamment à partir de 30 minutes après le coucher du soleil et atteint un pic dans l'intervalle compris entre 120 et 180 minutes. Il convient toutefois de tenir compte que ce résultat se rapporte essentiellement aux deux

derniers jours d'observation du mois d'octobre, ce qui laisse fortement supposer la présence d'oiseaux migrateurs (cf. chap. 4.4.1).

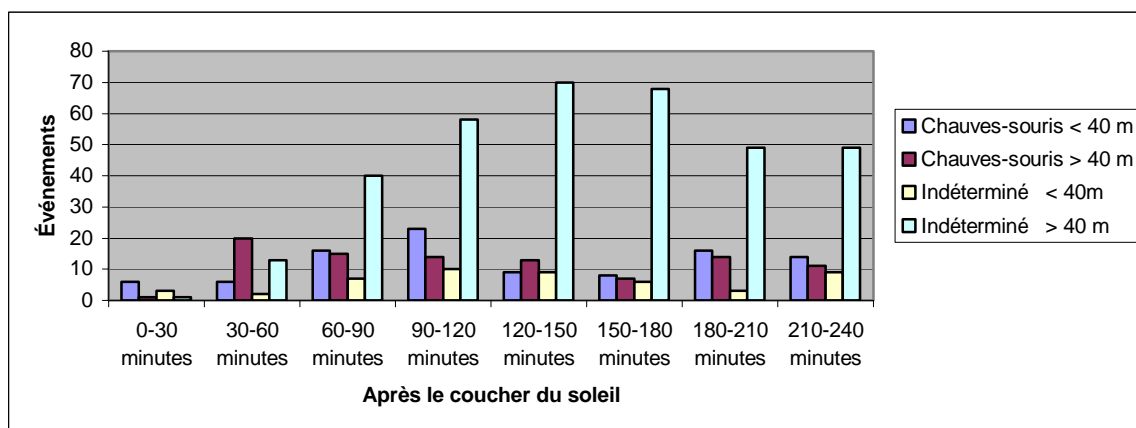


Fig. 21 : Nombre d'évènements observés au cours des quatre heures suivant le coucher du soleil (données d'observation des trois sites, temps d'observation total 48 h)

Outre les deux demi-nuits d'observation de 2005, nous avons également procédé à deux autres nuits entières d'observation au début du mois de septembre 2004 sur les sites Holzschlägermatte 1 et Schillinger Berg 1. Une fois de plus, l'activité s'étend plus ou moins sur toute la nuit (cf. fig. 22 et 23). Pour l'observation de l'éolienne du site Holzschlägermatte, l'absence d'objets observés dans les premières heures du jour peut être imputée à un vent violent qui souffla en fortes rafales à cet endroit. Les conditions météorologiques aux abords de l'éolienne Schillinger Berg 1 étaient favorables à toute heure de la nuit pour l'observation des chauves-souris. Au cours de l'observation sur le site de Schillinger Berg, le hasard a voulu que deux chauves-souris (une Pipistrelle commune encore vivante vers 21 h 50 et une Noctule de Leisler avec double fracture des avant-bras, et saignant encore vers 0 h 30) soient trouvées juste devant la caméra, sur l'esplanade empierrée située sous l'éolienne. Cet incident révèle que des collisions se sont produites pendant l'observation sans que l'événement ait pu être documenté en raison du segment d'image relativement petit pour des raisons techniques.

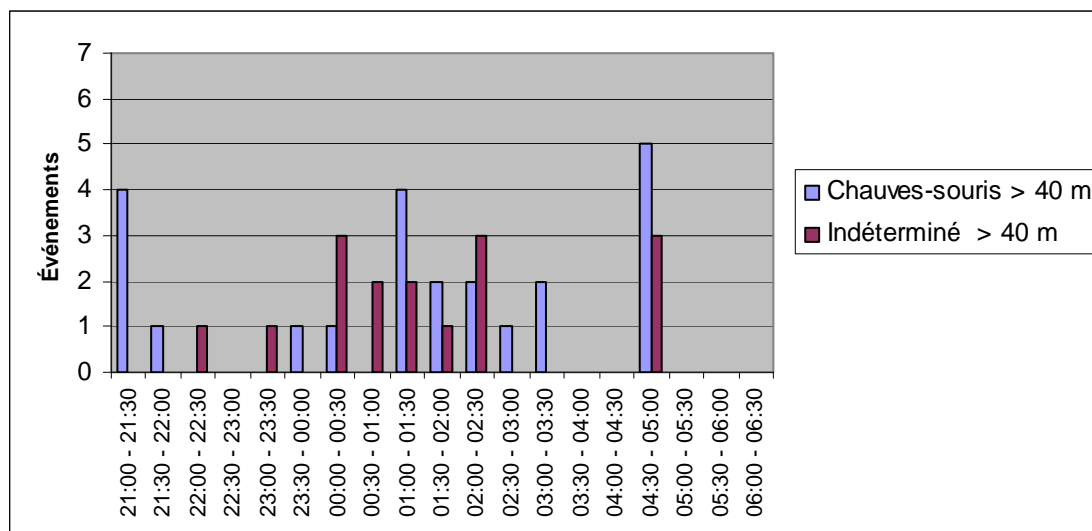


Fig. 22 : Répartition horaire des événements pour les catégories « Chauves-souris » et « Indéterminé » pendant une nuit entière d'observation le 07-08/09/04 sur le site éolien Holzschlägermatte 1

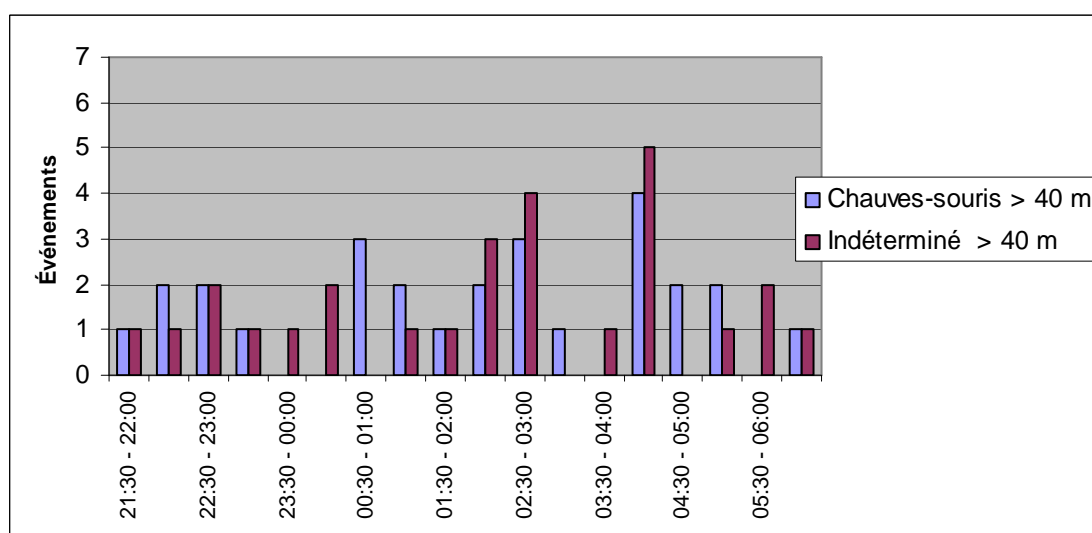


Fig. 23 : Répartition horaire des événements pour les catégories « Chauves-souris » et « Indéterminé » pendant une nuit entière d'observation le 02-03/09/04 sur le site éolien Schillinger Berg 1

#### 4.3.5 Activité en fonction de la vitesse du vent

Les observations de chauves-souris réalisées pendant des demi-nuits près des deux éoliennes Schillinger Berg 1+2 peuvent être mises en relation avec la vitesse du vent atteinte lors de cette période. L'exploitant<sup>13</sup> nous a en effet fourni les vitesses de vent mesurées sur les éoliennes (valeurs moyennes par tranches de 10 minutes) pour toutes les nuits d'observation. Les observations de chauves-souris (catégorie « Chauves-souris > 40 m ») obtenues à la seconde près au moyen de la caméra à images thermiques ont été classées en fonction des vitesses de

<sup>13</sup> Nous remercions la société Regiowind, en particulier MM. Markowsky et Strohmeier pour la mise à disposition des données relatives au vent et des informations sur les éoliennes.

vent. Il convient cependant de prendre en compte que les données relatives aux chauves-souris ont été regroupées pour toutes les observations effectuées à plus de 40 m de hauteur alors que les vitesses de vent ont été mesurées au niveau de la nacelle à 80 m de hauteur.

Les vitesses de vent enregistrées pendant la période d'observation des huit nuits (durée totale : 32 h) ont atteint 12 m/s de moyenne par tranche de 10 min. Comme le montre la figure 24, une activité des chauves-souris a pu être observée pour pratiquement toutes les vitesses de vent allant jusqu'à 10,9 m/s.

La figure 24 indique également que les intervalles de 10 min avec et sans activité des chauves-souris ne sont pas répartis de façon homogène selon la vitesse du vent. Une activité plus importante des chauves-souris par intervalle a été enregistrée pour une vitesse du vent comprise entre 3,5 et 7,5 m/s contrairement à l'activité observée à des vitesses inférieures à 3,5 et supérieures à 7,5 m/s, plus faible que prévu en raison de la répartition des intervalles sans activité.

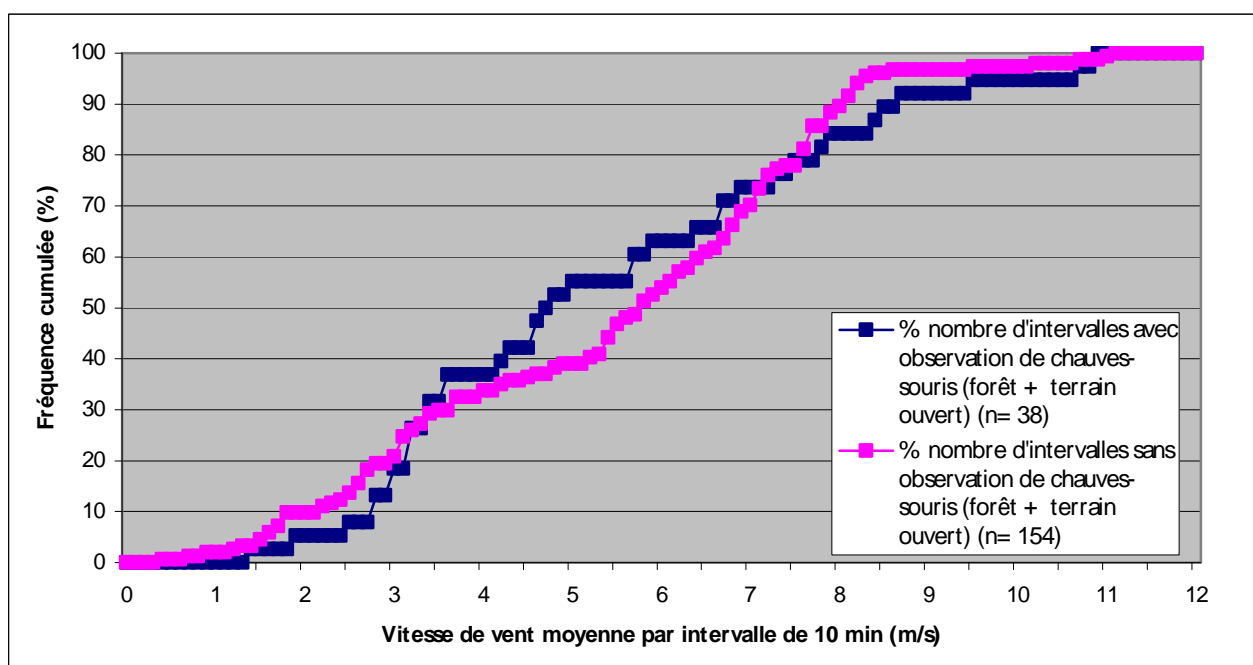


Fig. 24 : Fréquence cumulée (en %) des intervalles de 10 minutes avec et sans observation de chauves-souris en fonction des vitesses de vent constatées sur les éoliennes Schillinger Berg 1+2 (quatre demi-nuits d'observation pour chaque éolienne ; durée totale d'étude : 32 h). Les vitesses de vent sont significativement différentes pour les intervalles avec et sans observation de chauves-souris (test de Wilcoxon,  $N = 24$ ,  $W = 109,5$ ,  $p \leq 0,021$ ).

## 4.4 Discussion

### 4.4.1 Identification des objets volants et détermination de la profondeur d'observation

Lors de l'identification des objets volants, il est possible que des chauves-souris aient été confondues avec des passereaux de taille à peu près identique ou d'autres oiseaux beaucoup plus grands qui volent toutefois à une altitude plus élevée. En effet, la migration nocturne des oiseaux dans le sud-ouest de l'Allemagne a lieu principalement entre le début du mois d'août et la fin du mois d'octobre. Néanmoins, cette migration s'effectue à une altitude nettement supérieure lorsque les conditions météorologiques sont favorables (temps chaud, situation anticyclonique stable), ce qui était le cas lors de nos observations. Selon BRUDERER & LIECHTI (1998), la médiane altitudinale pour les fortes migrations survolant le sud-ouest de l'Allemagne dépasse largement les 600 m. La migration nocturne concerne avant tout les passereaux (les limicoles et les oiseaux aquatiques représentent moins de 10 %) dont la plupart, d'après nos essais, ne peuvent plus être représentés par notre caméra à une altitude de vol dépassant les 200 m. Les grands passereaux sont les seuls animaux à faire exception. Ainsi, il est probable, par exemple, que les objets migrant à la mi-octobre en direction du sud-ouest aient été des grives nordiques (p. ex. *Turdus torquatus*, *Turdus pilaris*, *Turdus philomelos*) dont le passage atteint un pic dans le land de Bade-Wurtemberg à cette période de l'année (cf. HÖLZINGER 1999). De plus, la taille de ces oiseaux leur permet d'être enregistrés par notre caméra. La vitesse (cf. BRUDERER & BOLDT 2001) et la façon de voler de ces animaux donnaient une impression complètement différente de celle des observations que nous avons classées dans les chauves-souris mais aussi parmi les nombreux objets de la catégorie « Indéterminé ».

En raison de la migration à grande altitude, on trouve sans doute bien moins d'oiseaux que de chauves-souris parmi les victimes des éoliennes. En 2004, le Martinet noir a été la seule espèce trouvée en nombre non négligeable (trois entre fin juillet et mi-août, cf. chap. 2.3.8). Ils représentaient environ 20 % des oiseaux migrant de nuit pendant les 3 premières périodes de cinq jours du mois d'août (BRUDERER & LIECHTI 1998). Mais les Martinets noirs peuvent également être entrés en collision avec les éoliennes en journée au cours d'un vol de chasse. Cette hypothèse est également avancée pour les Hirondelles de fenêtre trouvées sous les éoliennes, et qui, selon nos observations, chassent souvent (parfois en très grand nombre) en journée dans la zone balayée par le rotor.

Il est en outre possible que de très grands papillons de nuit aient été classés dans la catégorie des chauves-souris. En effet, lorsqu'ils passent avec un vol saccadé à proximité de la caméra, ils peuvent être confondus avec des chauves-souris volant à bien plus loin. Cette éventualité est toutefois contredite par le fait que les animaux volant à proximité immédiate de la caméra laissent une traînée nette sur l'image pour des raisons techniques car de nombreux pixels sont activés les uns après les autres en très peu de temps. Pour autant, il est impossible d'exclure complètement une confusion dans le cas des papillons de nuit volant à moyenne distance. Pour cela, des essais supplémentaires devront être réalisés lors d'études ultérieures.

#### 4.4.2 Observations comportementales à proximité des éoliennes

Dans à peu près 25 % des cas, nous avons observé un comportement d'évitement du rotor. Il convient toutefois de tenir compte du très faible nombre total d'observations (n=48). HORN & ARNETT (2005) ont constaté ce genre de réaction dans seulement 7 % de leurs observations (n=998).

Nous n'avons pas non plus observé avec certitude une collision de chauve-souris avec un rotor, mais HORN & ARNETT y sont parvenus dans huit cas, ce qui semble relativement peu au regard de leur nombre total d'observations (n=998). Dans les deux études, il convient de prendre en considération que la caméra thermique ne permet de ne couvrir qu'une petite partie de l'espace balayé par le rotor.

À l'inverse du comportement d'évitement, nous n'avons perçu que les premiers signes d'un comportement d'inspection chez différentes chauves-souris contrairement à HORN & ARNETT (2005) qui ont observé ce phénomène plus souvent. Les auteurs relatent (*ibidem*) comment les chauves-souris ont inspecté le mât mais surtout les pales à rotation lente en passant à plusieurs reprises très près ou en tentant de chasser la pointe de ces pales. Ce comportement d'inspection semble expliquer pourquoi les chauves-souris mortes sur les éoliennes sont sans doute plus nombreuses que ce que laisserait penser la densité normale d'animaux en train de chasser ou de migrer. Ce comportement d'inspection doit être particulièrement marqué, notamment pour les espèces qui nous concernent, entre la mi-juillet et la mi-septembre après la dispersion des colonies de mise bas, et donc à une période où la grande majorité des victimes de collision ont été trouvées.

#### 4.4.3 Comparaison de l'activité sur les différents sites d'étude

Nos résultats ne soutiennent pas l'hypothèse selon laquelle l'activité sur l'éolienne en terrain ouvert serait inférieure à celle de l'éolienne située en forêt. Les valeurs de la catégorie « Chauves-souris > 40 m » sur l'éolienne en terrain ouvert (n=26) étaient supérieures à celles relevées pour l'éolienne en forêt (n=22), ce que ne laissait pas présager le nombre beaucoup plus élevé de victimes trouvées sous l'éolienne en milieu forestier l'année précédente. Cette différence est peut-être due aux méthodes de recherche car les surfaces de prairie se trouvant sous les éoliennes en terrain ouvert sont très difficiles, voire impossibles à contrôler lorsque l'herbe est trop haute. En outre, le taux de disparition est ici susceptible de connaître d'importantes variations. En raison des résultats des observations d'activité et des limitations d'ordre méthodologique rencontrées au cours de la recherche, il est par conséquent nécessaire de relativiser l'étude comparative des sites figurant au chapitre 2.3.3 qui avance que le nombre de victimes de collision avec des éoliennes en terrain ouvert était manifestement moins important.

Ceci étant, l'activité plus importante que prévu sur l'éolienne en terrain ouvert peut éventuellement aussi s'expliquer par la faible distance de cette dernière avec la forêt (quelques centaines de mètres seulement) et donc par son intégration au paysage forestier de la Forêt-Noire. Les chauves-souris qui chassent en lisière de la forêt et en la survolant peuvent ainsi facilement accéder à l'éolienne. La situation est peut-être différente dans des zones agricoles vastes avec peu de constructions où moins de chauves-souris ont été victimes de collision (cf. aussi tabl. 7 du chap. 2.4.2).

Il est toutefois étonnant de noter que l'activité, de loin maximale, des chauves-souris a été enregistrée sur la zone de ventis prise comme site témoin et non sur l'un des deux sites éoliens contrôlés. En y regardant de plus près, l'activité importante constatée sur le site témoin s'explique essentiellement par le nombre très élevé de chauves-souris observées pour les deux catégories d'altitude le premier jour d'observation, à la fin du mois de juillet. Ce phénomène pourrait être lié p. ex. à une éclosion massive d'insectes d'une espèce donnée dont les individus seraient montés à des altitudes plus élevées dans l'ascendance thermique. Cette éventualité constituerait alors un événement isolé dont l'influence sur le résultat global serait considérable en raison du faible nombre d'échantillons. L'enregistrement sonore par BEHR & HELVERSEN (2005) de « feeding buzzes » (cris d'écholocation émis en phase terminale lorsque la chauve-souris se tient très près de sa proie) à proximité de la nacelle prouve que les Pipistrelles communes chassent bien à hauteur de cette dernière et donc à des altitudes très élevées. En outre, les résultats de l'autopsie de nos animaux prouvent que ces derniers s'étaient nourris peu de temps avant leur mort (cf. chap. 3.3).

#### 4.4.4 Activité et vitesse du vent

Les observations réalisées avec la caméra à images thermiques confirment l'hypothèse selon laquelle l'activité des chauves-souris diminue au fur et à mesure que les vitesses de vent augmentent. Nos observations révèlent un nombre de chauves-souris légèrement plus important dans la tranche comprise entre 3,5 et 7,5 m/s. En outre l'activité des chauves-souris enregistrée au-dessus de 7,5 m/s était plus faible que ne le laissaient présager les régimes de vent.

En revanche, lors de leurs contrôles sonores réalisés à Rosskopf/Fribourg, BEHR & HELVERSEN (2005) ont enregistré 95 % des cris de chauves-souris (à proximité de la nacelle) à des vitesses de vent inférieures à 6 m/s sachant qu'il s'agissait en grande majorité de Pipistrelles communes, espèce très courante dans cette région. Au cours de notre observation, nous avons toutefois capté 38 % des objets à des vitesses de vent supérieures à 6 m/s.

HORN & ARNETT (2005) ont également observé six de leurs huit collisions de chauves-souris contre des pales par des vitesses de vent supérieures à 6 m/s (pour être précis : 6.1 ; 6.5 ; 6.9 ; 9.0 ; 9.6 ; 10.2 m/s). Le comportement de vol et la forme des ailes permettent d'envisager que des espèces telles que la Noctule commune, la Noctule de Leisler ou la Sérotine bicolore, qui chassent en terrain dégagé et effectuent des vols de transit sur de grandes distances, sont également actives à des vitesses de vent supérieures à 6 m/s.

Il semble à première vue improbable que les collisions se produisent en nombre important à des vitesses de vent plus élevées parce que la plupart des victimes ont été trouvées sous les éoliennes après des nuits chaudes avec des vents faibles, comme cette étude et de nombreuses autres ont pu le démontrer (cf. BEHR & HELVERSEN 2005, TRAPP *et al.* 2002 entre autres). Dans l'état actuel des connaissances, il n'est en principe pas à exclure que les chauves-souris frappées par les pales d'un rotor ou prises dans leur tourbillonnement par vent fort soient projetées au-delà des limites des aires de recherche (rayon de 50 m) et qu'il soit impossible de les retrouver. Ainsi, BEHR & HELVERSEN (2005) ont trouvé, à titre d'exemple,

une chauve-souris à 95 m du pied du mât, bien au-delà de la zone de recherche. Il serait par conséquent urgent de vérifier ce fait par d'autres études.

## 5 Évaluation environnementale des résultats de l'étude

### 5.1 Réglementations relatives à la protection des espèces

Toutes les espèces de chauves-souris présentes dans le land de Bade-Wurtemberg sont désignées dans l'annexe IV de la directive Habitat-Faune-Flore (HFF) et sont par conséquent soumises aux prescriptions de protection conformément à l'article 12 et suivants de ladite directive, ainsi qu'aux prescriptions du § 42 de la loi fédérale sur la protection de la nature (BNatSchG).

Les prescriptions visant à assurer la protection des espèces conformément à l'article 12 et suivants de la directive HFF concernent directement les espèces mentionnées dans l'annexe IV, qu'elles se trouvent ou non sur un site protégé du réseau Natura 2000. Outre d'autres prescriptions protectrices, l'art. 12 de la directive HFF interdit au point a) toute forme de capture et de mise à mort intentionnelles des animaux, ainsi qu'au point b) la perturbation intentionnelle de ces espèces, notamment durant la période de reproduction, de dépendance, d'hibernation et de migration.

Toute dérogation ne peut être accordée qu'en cas de circonstance exceptionnelle entrant dans le cadre de l'article 16 de la directive HFF. L'application de cette dérogation reste soumise à certaines conditions : qu'aucune alternative satisfaisante au projet nuisible n'ait été trouvée et que la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, de la population de l'espèce concernée dans son aire de répartition naturelle.

Les prescriptions visant à assurer la protection des espèces de l'article 12 et suivants de la directive HFF sont transposées au sein des §§ 42 et 43 de la loi fédérale sur la protection de la nature avec effet immédiat. Selon le jugement de la Cour de justice des Communautés européennes datant du 10/01/2006, affaire C 98/03, cette transposition n'est cependant pas suffisante dans la mesure où certaines nuisances non intentionnelles à l'encontre des animaux protégés sont exclues du domaine d'application de la réglementation de la protection des espèces et où le maintien des dispositions dérogatoires de l'article 16 relatif à la directive HFF n'est pas garanti pour certains actes. La loi fédérale actuelle sur la protection de la nature doit par conséquent faire l'objet d'un amendement.

En raison de la réglementation applicable en matière de protection des espèces présentée ci-dessus, il est de toute évidence primordial de tenir compte, lors de la procédure d'autorisation de construction pour les installations éoliennes, d'une part de la présence des chauves-souris mentionnées, qui en tant qu'espèces de l'annexe IV de la directive HFF sont également strictement protégées par la loi fédérale sur la protection de la nature et, d'autre part des préjudices possibles.

## 5.2 Évaluation des impacts des éoliennes sur les chauves-souris selon les espèces

Outre les risques de collision analysés en détail dans notre étude, dans le cadre des procédures d'autorisation, il convient de prendre en considération les impacts liés à la construction et à l'implantation des éoliennes. Ces impacts concernent par exemple la mise en place de voies d'accès, des aires de montage et de travaux qui peuvent entraîner des nuisances considérables pour les habitats des chauves-souris, notamment dans les forêts constituant des zones de gîtes et des terrains de chasse (cf. BRINKMANN 2004). Le tableau 10 propose un aperçu des impacts potentiels liés à la construction et à l'implantation d'éoliennes, notamment pour la réalisation de projets en milieu forestier.

Les connaissances actuelles en matière d'impacts non mortels liés au fonctionnement d'éoliennes, tels que les répercussions des émissions d'ultrasons et d'infrasons ou les perturbations visuelles et les effets de refoulement et de barrière qui en découlent, ne sont pas très étendues (cf. BACH 2001 pour les effets de refoulement). Il en est de même pour le savoir relatif aux éventuels effets cumulés associés aux facteurs précédents, si peu exhaustif qu'il est actuellement impossible d'évaluer les risques d'impact (cf. BACH & RAHMEL 2004, HÖTKER *et al.* 2005). Il semble de toute évidence nécessaire d'effectuer des recherches plus approfondies dans cette optique.

Les risques élevés de collision et, par conséquent, de conflit existent bel et bien dans le district de Fribourg, surtout pour les Pipistrelles communes et les Noctules de Leisler susceptibles d'être frappées en nombre important par les éoliennes. Un risque important de conflit concerne également les Sérotines bicolores et les Sérotines communes. Même si le nombre de victimes pour ces espèces s'est révélé sensiblement moins important, il est probable qu'elles sont également beaucoup moins nombreuses à proximité des sites éoliens que la Pipistrelle commune par exemple. La Sérotine bicolore est ainsi une espèce extrêmement rare dans le land du Bade-Wurtemberg. Il est probable que cette espèce migratrice séjourne dans le land principalement pour hiverner, par exemple dans les fissures de la Hahnenturm de la Cathédrale de Fribourg qui sert également de gîte de parade. Les vols de parade de cette espèce ont également été observés à haute altitude au-dessus des maisons (cf. HELVERSEN *et al.* 1987). Le comportement migratoire et les vols de parade de la Sérotine bicolore à une altitude élevée dans des zones avec des points de repère fixes les exposent de façon disproportionnée aux collisions avec les éoliennes, comme le montre le nombre relativement élevé de victimes trouvées sous les éoliennes (cf. DÜRR & BACH 2004) par rapport à leur rareté.

Les Sérotines communes peuplent le district de Fribourg principalement à basse altitude et dans la plaine du Rhin supérieur, où l'on trouve quelques colonies de mise bas et de nombreux terrains de chasse. Etant donné que cette espèce chasse dans un espace aérien complètement dégagé et à des hauteurs pouvant atteindre 50 m (d'après nos observations), c'est essentiellement le fonctionnement des éoliennes qui est susceptible de la mettre en danger.

Un risque de conflit élevé est également à envisager pour les espèces telles que la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius en raison de leurs stratégies de chasse et de leur comportement migratoire. Si ces espèces ne sont pas apparues comme victimes de collision lors de notre étude, ce phénomène est peut-être dû aux sites étudiés qui ne se trouvaient pas sur leurs habitats de chasse et couloirs de migration privilégiés.

Bien que la Pipistrelle de Nathusius soit une espèce très courante dans la vallée du Rhin et qu'elle hiverne également dans cette région, on lui connaît aussi quelques territoires dans la Haute Forêt-Noire où elle apparaît en nombre relativement important, notamment pendant la migration au mois de septembre pour une courte période (d'après nos données). Il existe donc un risque de conflit important sur de tels sites en cas d'implantation de nouvelles éoliennes. Cette espèce est la deuxième la plus collectée sous les éoliennes en Allemagne, ce qui en fait une victime potentielle de collisions sur les sites où elle se trouve.

Le tableau 10 offre un aperçu des impacts des éoliennes sur les chauves-souris. L'étude menée par BRINKMANN (2004) présente une description détaillée du risque de conflit, en particulier au regard des impacts liés au fonctionnement des éoliennes.

Tabl. 10 : Impacts éventuels des éoliennes sur les chauves-souris dans le land de Bade-Wurtemberg et estimation du risque de conflit potentiel (+++ très important, ++ important, + risque existant, - absence probable de conflit, ? données insuffisantes, selon BRINKMANN 2004, modifié et complété)

Espèce	Impacts liés à la construction et à l'installation en forêt		Impacts liés au fonctionnement	
	Gîtes	Terrains de chasse	Vols de transfert	Vols de chasse
Grand rhinolophe fer à cheval <i>Rh. ferrumequinum</i>	-	+	-	-
Grand murin <i>Myotis myotis</i>	+	+	+	-
Murin de Bechstein <i>Myotis bechsteinii</i>	++	+	-	-
Murin à oreilles échancrées <i>Myotis emarginatus</i>	+	+	-	-
Murin de Natterer <i>Myotis nattereri</i>	++	+	-	-
Murin à moustaches <i>Myotis mystacinus</i>	++	+	-	-
Murin de Brandt <i>Myotis brandti</i>	+	+	-	-
Murin d'Alcathoe <i>Myotis alcathoe</i>	?	+	?	?
Murin de Daubenton <i>Myotis daubentonii</i>	++	+	-	-
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i>	++	-	++	++
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	++	-	+++	+++
Sérotine bicolor <i>Vespertilio murinus</i>	-	-	++	++
Sérotine boréale <i>Eptesicus nilssonii</i>	-	-	++	++
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	-	-	++	++
Pipistrelle pygmée <i>Pipistrellus pygmaeus</i>	-	-	?	+
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	+	-	+++	+++
Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i>	++	-	++	++
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhli</i>	-	-	++	++
Barbastelle commune <i>Barb. barbastellus</i>	++	+	+	+
Oreillard roux <i>Plecotus auritus</i>	++	+	-	-
Oreillard gris <i>Plecotus austriacus</i>	-	+	+	-

### 5.3 Mesures destinées à évaluer l'importance des préjudices découlant des collisions de chauves-souris avec les éoliennes

Si l'on rapporte au niveau de l'individu (cf. chap. 5.1) les interdictions pour la protection des espèces stipulées par l'article 12 de la directive HFF et le § 42 de la loi fédérale sur la protection de la nature, tous les préjudices tels que les dérangements, mais notamment la mort d'une chauve-souris par collision avec une éolienne doivent être obligatoirement considérées comme importantes. Néanmoins, l'interprétation des lois est ambiguë sur ce point (cf. ROLL *et al.* 2005). Les conclusions de l'Avocat général, Mme Kokott, devant la CJCE datant du 15/12/2005 dans la procédure opposant la Commission à l'Espagne, C 221/04, convergeaient plutôt vers une approche rapportée à la population (notamment au point n° 77).

Si l'on considère les interdictions pour la protection des espèces par rapport à la population locale, la question se pose de savoir s'il est nécessaire de définir une valeur seuil visant à différencier les préjudices considérables de ceux qui ne le sont pas. Le préjudice serait considéré comme peu important aussi longtemps que l'augmentation de la mortalité des animaux de tout âge causée par le fonctionnement de l'éolienne n'entraîne aucune



conséquence sur les chances de survie à long terme de la population locale. Le degré de gravité du préjudice serait identique si la mortalité augmentait à tel point qu'elle ne pourrait plus être équilibrée par une capacité de reproduction élevée et que la probabilité de survie à long terme de la population locale serait en baisse. Si les données nécessaires sur l'écologie des populations étaient disponibles, il serait possible de réaliser une analyse des risques correspondante à l'aide de différents modèles de simulation (cf. p. ex. HÖTKER *et al.* 2005).

Toutefois, nous ne disposons pas actuellement des ordres de grandeur nécessaires pour les espèces de chauves-souris et les populations locales qui nous concernent, ce qui signifie qu'un calcul scientifiquement vérifié des valeurs de seuil correspondantes est actuellement impossible. Une délimitation géographique pertinente des populations pose en outre un certain nombre de problèmes majeurs. Pour la Pipistrelle commune dans la région de Fribourg par exemple, faut-il prendre en compte uniquement les animaux des colonies qui se reproduisent ici ou également ceux qui migrent de façon saisonnière depuis les environs pour rejoindre le gîte d'hivernage de la Cathédrale de Fribourg ? Quel est le pourcentage de la population de Noctules de Leisler qui se reproduisent dans la plaine du Haut-Rhin et combien y a-t-il d'individus migrant par là ? Des données concrètes actualisées manquent également quant à la mortalité naturelle des animaux. Il s'agit en effet d'une valeur correctrice essentielle dans le cadre d'un tel modèle de simulation. L'élaboration de données fondamentales fiables en vue d'une analyse des risques pour les populations de chaque espèce de chauves-souris concernée exigerait un projet de recherche spécifique avec une collecte de données intensive sur plusieurs années à l'aide d'une méthodologie d'étude spéciale (bagueage, télémétrie, etc.).

De plus, la prise en compte indispensable des effets cumulés pose un autre problème. Pour toutes les réflexions relatives aux valeurs de seuil, il est nécessaire d'intégrer dans les calculs les impacts des éoliennes déjà existantes. En toute logique, il faudrait même calculer les valeurs limites de charge pour le nombre de victimes de collision dans l'ensemble de l'aire de répartition de la population concernée.

En attendant que des données écologiques fiables sur les populations soient disponibles pour une analyse, il est recommandé de développer des critères destinés à évaluer l'importance des préjudices dans le cadre d'une convention technique. Ce faisant, il convient de choisir des valeurs de seuil basses pour respecter le principe de précaution environnemental. Les chauves-souris se distinguent en effet par un taux de reproduction très faible, ce qui signifie qu'une perte importante d'individus ne pourra être compensée tout au plus que sur le long terme.

En outre, il convient de tenir compte du fait que les pertes d'individus pèsent plus lourd pour les espèces rares dont la taille des populations est souvent faible (p. ex. la Sérotine bicolore, la Sérotine boréale et, dans une moindre mesure, la Noctule de Leisler) que pour la Pipistrelle commune qui compte sans doute parmi les espèces les plus fréquentes du district de Fribourg.

## 6 Recommandations pour le respect de la réglementation relative à la protection des espèces dans les procédures de planification et d'autorisation

### 6.1 Situation dans le district de Fribourg

Comme le montrent les résultats de cette expertise, ainsi que différentes études allemandes et internationales, les chauves-souris peuvent être victimes de collision avec les éoliennes dans des proportions importantes. Le nombre de victimes constatées ou estimées dans le district de Fribourg sous les différentes éoliennes compte parmi les plus hauts enregistrés jusqu'à présent en Allemagne. Toutefois, il est nécessaire de prendre en considération que peu d'études détaillées ont été réalisées jusqu'à présent.

Autrement dit, en raison d'un risque de conflit élevé, la réglementation relative à la protection des espèces de chauves-souris doit être examinée et respectée scrupuleusement, au cas par cas, dans le cadre des procédures d'autorisation concernant la planification de projets éoliens dans le district de Fribourg<sup>14</sup>.

La situation conflictuelle ne présente cependant pas le même visage dans tout le district. Il faut s'attendre à des conflits notamment sur les sites en milieu forestier implantés sur le flanc ouest des contreforts et de la bordure occidentale de la Forêt Noire. Pour les sites en terrain ouvert, la probabilité de conflit en rapport avec les chauves-souris est certainement plus faible, ce qu'il conviendrait toutefois de vérifier pour chaque cas particulier. L'état actuel des connaissances sur la répartition des espèces de chauves-souris dans le district de Fribourg étant assez faible, une prévision suffisamment précise des domaines de conflits, et en particulier une évaluation pour chaque site ne sont possibles qu'en s'appuyant sur des études écologiques de terrain détaillées et sur site.

### 6.2 Études préliminaires en fonction du site permettant de déterminer les impacts éventuels

Les études écologiques de terrain préliminaires servent à estimer le risque de conflit pour chaque site en particulier. Elles doivent être réalisées de façon à proposer des recommandations concrètes (autorisation d'un projet sans restrictions ou avec restrictions horaires, le cas échéant) ou à déconseiller l'implantation sur le site.

Les études préliminaires visant à évaluer les préjudices possibles liés à la construction et à l'implantation d'éoliennes se distinguent de celles destinées à mettre en évidence d'éventuels impacts dus à leur fonctionnement. Les protocoles standard pour de telles études ont déjà fait l'objet de plusieurs publications et sont d'ores et déjà utilisés pour de nombreux projets.

---

<sup>14</sup> La découverte de nombreuses victimes de collision dans le parc éolien de Puschwitz en Saxe (cf. TRAPP et al. 2002) a poussé les autorités à interdire strictement l'implantation de nouvelles éoliennes alentour en raison du risque prouvé pour les chauves-souris, espèce rigoureusement protégée. Cette décision a ensuite été confirmée par une procédure d'action (Tribunal administratif de Dresde, jugement du 02/06/2003, 7 K 2583/02).

### **Protocoles standard pour l'évaluation des éventuels impacts liés à la construction et à l'implantation d'éoliennes**

(pour une présentation détaillée, cf. BRINKMANN 1996, 1998 et DENSE & RAHMEL 1999 entre autres) :

- ▶ plusieurs contrôles à l'aide d'un détecteur entre le mois d'avril et le mois de septembre pour déterminer les habitats de chasse, les routes de vol et les gîtes ;
- ▶ captures à l'aide de filets pour déterminer la présence d'espèces impossibles à identifier avec fiabilité avec le détecteur, par exemple le Murin de Bechstein (généralement plusieurs captures par aire d'étude entre mai et septembre) ;
- ▶ contrôle des gîtes en bâtiments ou des nichoirs s'il y en a.

Si la zone d'étude est telle qu'elle ne peut être parcourue en une nuit, plusieurs passages seront donc nécessaires pour la recherche. Si plusieurs secteurs de la zone d'étude sont susceptibles d'abriter par exemple le Murin de Bechstein, il convient d'augmenter en conséquence le nombre de lieux de captures au filet.

### **Protocoles standard pour l'évaluation des éventuels impacts liés au fonctionnement des éoliennes**

(pour une présentation détaillée, cf. RAHMEL *et al.* 2004, BACH & DIETZ 2003, entre autres) :

- ▶ contrôles à l'aide d'un détecteur réalisés par un observateur pour identifier les animaux de passage ou les points de regroupement temporaires à l'époque des migrations, un passage par semaine à la période appropriée ;
- ▶ utilisation, en complément, d'installations de détection automatique (pour l'enregistrement analogique ou numérique de cris de chauves-souris pendant toute la nuit) à chaque emplacement d'éolienne prévu durant la même période et à la même fréquence ;
- ▶ observation des migrations de jour des Noctules communes entre la mi-septembre et la fin du mois d'octobre (avancer l'heure d'observation d'environ 2-3 h avant le coucher du soleil) ;
- ▶ recherche des gîtes de parade des Noctules communes et des Noctules de Leisler, ainsi que des Pipistrelles de Nathusius (août à septembre) et des zones avec vols de parade des Sérotines bicolores (novembre), plusieurs passages pour chaque recherche.

Pour identifier les différents habitats et leurs fonctions dans la zone d'étude, l'aire de recherche choisie doit être suffisamment grande. Pour une éolienne isolée, la surface minimum doit être au moins de 150 ha. Pour les parcs éoliens, il faut étudier une aire d'un rayon d'un kilomètre, mesuré à partir de l'emplacement prévu pour les éoliennes situées aux extrémités.

## 6.3 Mesures pour éviter les préjudices liés au fonctionnement des éoliennes

### 6.3.1 Choix du site

Un choix de site judicieux constitue le moyen le plus efficace pour éviter tout conflit potentiel. Comme le montre cette étude, ce sont surtout les éoliennes en milieu forestier qui présentent un risque important de collision dans le district de Fribourg. Cette tendance se confirme dans pratiquement toutes les études publiées jusqu'à présent qui abordent ce sujet (cf. DÜRR & BACH 2004, ENDL 2004 entre autres). Par conséquent, toutes les recommandations existantes conseillent de renoncer, dans la mesure du possible, à tout projet en forêt ou à proximité au nom du principe de précaution (HÖTKER *et al.* 2005, RODRIGUES *et al.* 2005 entre autres).

L'étude comparative avec la caméra à images thermiques n'a cependant pas permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle le risque de collision est moins important en terrain ouvert car l'activité des chauves-souris y est plus faible. Il est possible que le nombre moins important de victimes de collision trouvées dans certains milieux ouverts, notamment dans les zones herbacées, soit imputable à d'autres raisons (contrôlabilité, taux de disparition).

Il est donc impossible de recommander de façon globale de se rabattre sur des sites en milieu ouvert. Il conviendra de procéder systématiquement et au cas par cas, à une étude de présence des chauves-souris sur le site potentiel d'implantation.

Pour les éoliennes en forêt également, les différences en fonction des sites sont importantes en ce qui concerne le risque de collision, comme nous avons pu le montrer dans le cadre de cette étude. Ainsi, nous avons trouvé par exemple beaucoup moins de victimes de collision sous les éoliennes d'Ettenheim Mahlberg qu'au-dessous de celles de Schillinger Berg ou de Hohe Eck. Ces derniers sites sont comparables à celui de Rosskopf près de Fribourg, qualifié de très problématique en raison du nombre important de cadavres trouvés (cf. BEHR & HELVERSEN 2005). D'après les auteurs, ces nombres élevés sont peut-être dus, en particulier pour les Pipistrelles communes victimes de collision dans le parc éolien de Rosskopf, à la proximité de la Cathédrale de Fribourg, soit le gîte de regroupement automnal et d'hivernation le plus important pour cette espèce dans le district. Il serait également envisageable que cette situation entraîne une concentration locale de chauves-souris volant près du sol lorsqu'elles rencontrent des cols ou des crêtes, comme le font les petits oiseaux migrateurs. Cet exemple montre qu'outre les sites en forêt, d'autres facteurs régionaux peuvent, le cas échéant, être à l'origine d'une concentration de chauves-souris à certains endroits.

Par conséquent, il est recommandé pour tous les sites de procéder à une évaluation au cas par cas en tenant compte des spécificités locales et régionales dans un large rayon autour du site (données topographiques particulières, routes de vol connues, gîtes, zone de regroupement ou de chasse, etc.).

### 6.3.2 Prévention des impacts par limitation des heures d'exploitation

L'une des mesures efficaces pour réduire les impacts consiste à programmer le fonctionnement de l'éolienne pendant certaines périodes. En effet, une collision avec une éolienne arrêtée peut être exclue. Ainsi, au cours d'une étude très poussée et systématique menée dans un parc de

40 éoliennes aux États-Unis, 398 cadavres de chauves-souris ont été retrouvés sur une période de contrôle de six semaines. Seule une éolienne a dérogé à la règle car elle n'était pas en état de fonctionner pendant toute la période d'étude en raison d'un problème technique et aucune victime n'a été retrouvée à proximité (Mountaineer Wind Energy Center, Virginie Occidentale, cf. KERNS *et al.* 2005).

Une limitation du fonctionnement des éoliennes est alors souhaitable lorsque les chauves-souris volent à proximité de celles-ci et qu'elles sont susceptibles d'entrer en collision avec elles. Dans l'état actuel des connaissances, cela ne survient qu'à certaines périodes et lors de conditions météorologiques particulières. Jusqu'à présent, les victimes n'ont été trouvées en nombre important qu'aux mois de juillet, août et septembre, et dans une moindre mesure en avril et en mai. Pour les mois de juin et d'octobre, nous ne disposons pratiquement pas de résultats d'étude. La nécessité de limiter le fonctionnement au cours de ces mois-là ne peut donc pas être évaluée avec certitude à l'heure actuelle.

Nous avons observé notamment pendant la période allant du mois de juillet au mois de septembre que la grande majorité des cadavres ont été retrouvés après des nuits chaudes et peu venteuses, en particulier lorsque les pales tournaient avec des vitesses de vent faibles. En revanche, peu ou pas d'animaux ont été trouvés après des nuits fraîches, pluvieuses ou venteuses. Cette constatation ne signifie pas pour autant que le risque de collision est plus faible. Les victimes de collision peuvent aussi être déportées par un vent fort et il est par conséquent impossible de les retrouver.

Les résultats de ces études et d'autres travaux de recherche révèlent cependant que l'activité des chauves-souris près de la nacelle de l'éolienne dépend de certains paramètres météorologiques (vitesse du vent, température). S'il était possible de déterminer avec certitude cette corrélation, il serait possible de programmer le fonctionnement de l'éolienne pour qu'elle s'arrête automatiquement lorsque les chauves-souris sont susceptibles d'être en activité à proximité de la nacelle. Nos connaissances ne sont toutefois pas encore assez étendues pour permettre d'indiquer par exemple des valeurs de seuil universellement valables et transposables.

Dans l'état actuel des connaissances, si l'on décide de limiter les heures de service en fonction de la vitesse du vent, il est recommandé de procéder à des études de contrôle de mortalité dans tous les cas afin de vérifier que cette mesure de réduction des risques est efficace. Ce faisant, les collectes de cadavres de chauves-souris sous les éoliennes sont alors indispensables. Elles pourraient s'accompagner d'une surveillance acoustique autour de la nacelle s'il était acquis que cette méthode produit des données encore utilisables avec des vitesses de vent élevées. Les résultats de tels contrôles peuvent également contribuer à réduire le manque de connaissances et à proposer des pronostics plus fiables à l'avenir.

L'ensemble des études de contrôle de mortalité doivent être réalisées pendant toute la période où des victimes de collision peuvent être collectées sous les éoliennes. Les contrôles doivent en outre être très fréquents (si possible quotidiens) car, même ainsi, seule une partie des victimes est trouvée en raison des biais liés à l'efficacité de recherche, au taux de disparition, ainsi qu'à la surface réellement contrôlée.

Afin d'assurer les prévisions et les évaluations par rapport aux mesures définies en matière de réduction des risques, les études de contrôle de mortalité, ainsi que la surveillance acoustique

doivent être réalisées pendant au moins deux ans après la mise en service des éoliennes. L'objectif principal de ces études consiste à atténuer les biais induits par des conditions météorologiques particulières.

## 7 Résumé

À la demande du district de Fribourg et avec le soutien de la fondation Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg (Fondation pour la Protection de la Nature du Bade-Wurtemberg), des études ont été menées entre août 2004 et octobre 2005 sur les éventuels impacts du fonctionnement des éoliennes sur les chauves-souris. La problématique centrale de l'étude consistait à déterminer si les collisions de chauves-souris rapportées dans le nord et le centre de l'Allemagne, ainsi qu'à l'étranger se produisent également dans le district de Fribourg, mais aussi à définir l'ampleur de ce phénomène dans cette région. L'étude a été divisée en trois sous-parties complémentaires, méthodologiques et distinctes : la recherche de victimes de collision sous des éoliennes en fonctionnement, l'examen des cadavres pour déterminer la cause de la mort et les observations du comportement des chauves-souris à proximité des éoliennes à l'aide d'une caméra à images thermiques.

Au cours de la période entre la fin du mois de juillet et la fin du mois d'octobre 2004, une collecte de cadavres de chauves-souris a été réalisée tous les cinq jours sous 16 éoliennes représentatives du district de Fribourg, essentiellement dans la Forêt-Noire et ses contreforts (altitudes comprises entre 470 et 1 100 m au-dessus du niveau de la mer). En outre, deux à trois contrôles occasionnels ont été effectués durant la même période sous 16 autres éoliennes de la région. Au cours de la période entre le début du mois d'avril et la mi-mai, ainsi qu'entre la mi-juillet et la mi-octobre 2005, huit des éoliennes déjà contrôlées en 2004 l'ont été de nouveau, et ce à la même cadence. En complément, des expériences spéciales ont été réalisées pour déterminer l'efficacité de la recherche et le taux de disparition des cadavres sous des éoliennes sélectionnées. En effet, il s'agissait de définir le nombre effectif de victimes de collision dans une estimation en prenant en compte l'erreur de recherche. Les résultats des études sont les suivants :

- ▶ Au total, 50 chauves-souris mortes ont été trouvées, 45 pendant les collectes systématiques et 5 autres lors des contrôles occasionnels. Rapportés aux huit éoliennes contrôlées les deux années, les résultats des deux années révèlent des différences importantes : 31 cadavres ont été découverts en 2004 et seulement 10 en 2005 avec une fréquence de contrôle identique.
- ▶ Les victimes sont réparties comme suit : Pipistrelle commune *Pipistrellus pipistrellus* (39 individus), Noctule de Leisler *Nyctalus leisleri* (8 individus), Sérotine bicolor *Vespertilio murinus* (2 individus) et Sérotine commune *Eptesicus serotinus* (1 individu).
- ▶ Outre les chauves-souris, seuls neuf oiseaux ont été découverts (3 Hirondelles de fenêtre et 3 Martinets noirs, ainsi qu'un Martinet à ventre blanc, un roitelet et un Hypolaïs polyglotte). Lors des recherches, les chauves-souris trouvées ont été cinq fois plus nombreuses que les oiseaux.

- ▶ L'efficacité de recherche moyenne dans les surfaces de contrôle de structure différente est la suivante : 84 % en terrain ouvert, 77 % en terrain recouvert d'une végétation clairsemée et 40 % en terrain recouvert d'une végétation abondante. Le taux de disparition des cadavres sous les éoliennes varie en fonction des sites, mais il est en moyenne relativement élevé au cours de tous les tests. Il s'élève en moyenne à 58,8 % par rapport à l'intervalle de contrôle de 5 jours.
- ▶ En tenant compte de l'efficacité de la recherche, du taux de disparition, ainsi que du facteur de surface (proportion des surfaces contrôlables ou non dans un rayon de 40 m), il est possible de calculer une valeur estimée du nombre réel de victimes à partir du nombre absolu de cadavres découverts. L'estimation donne pour les 16 éoliennes contrôlées systématiquement en 2004 un total de 335 victimes (269 min. et 446 max. en tenant compte de la dispersion en fonction du taux de disparition), soit 20,9 individus (16,6-27,9) par éolienne. Pour les éoliennes contrôlées en 2005, le résultat est de 95 victimes (tranche 75-125), soit 11,8 individus (9,4-15,6) par éolienne.
- ▶ La plupart des victimes de collision ont été trouvées de la fin du mois de juillet à la mi-août et le début de septembre. Au cours de la période entre le début du mois d'avril et la mi-mai 2005, aucune victime n'a été trouvée sous les huit éoliennes contrôlées.
- ▶ Une espèce est principalement touchée : la Pipistrelle commune, qui ne figure pas parmi les espèces migratrices.
- ▶ La plupart des victimes ont été découvertes sous les éoliennes en forêt ou sur des surfaces de ventis tandis qu'aucune victime n'a été enregistrée en terrain ouvert.

L'**examen des cadavres de chauves-souris** a montré qu'une partie des animaux présentait des ailes fracturées ou des blessures apparentes à la tête. Sur d'autres animaux, les signes de blessures indiquaient des fractures du crâne. Les résultats de l'autopsie ont révélé que la plupart des animaux présentaient des blessures internes, de toute évidence d'origine traumatique. D'après cette étude, il est seulement possible de conclure qu'il existe une relation de cause à effet entre la mort des chauves-souris retrouvées et les éoliennes.

L'activité à proximité de deux éoliennes voisines (une en terrain ouvert, l'autre en forêt) et - sur une zone témoin (ventis en forêt) a été observée à l'aide d'une **caméra à images thermiques** sur une période de quatre demi-nuits. La plus forte activité a été enregistrée sur la zone témoin. À proximité des deux éoliennes, l'activité était pratiquement identique à une altitude inférieure à 40 m. Ce résultat contredit celui des découvertes de victimes selon lequel de nombreux cadavres ont été trouvés sous l'éolienne en forêt contrairement à celle implantée en terrain ouvert où aucun n'a été trouvé.

Environ 25 % des chauves-souris volant vers les rotors ont montré un comportement d'évitement. La collision d'une chauve-souris contre un rotor n'a pas pu être observée avec certitude. À une altitude supérieure à 40m, on a constaté à proximité des éoliennes, une activité plus importante de chauves-souris par vent de 3,5 à 7,5 m/s que par vent supérieur à 7,5 m/s, activité inférieure à ce que le laissait penser la répartition des vitesses de vent. De façon générale, il a été prouvé que l'activité des chauves-souris était possible même avec des vitesses de vent élevées (jusqu'à 10,9 m/s max.).

En raison des prescriptions de protection strictes stipulées par la directive HFF (Habitats-Faune-Flore) et la loi fédérale sur la protection de la nature, applicables aux chauves-souris, ainsi que du risque de préjudices potentiellement élevé, il est recommandé de respecter scrupuleusement la réglementation relative à la protection des chauves-souris dans le cadre des procédures d'autorisation pour l'implantation d'éoliennes. Il est particulièrement important de prévenir les préjudices le plus tôt possible dans le projet, autrement dit dès le choix du site d'implantation. Dans l'état actuel des connaissances, les sites en forêt et/ou situés sur des croupes montagneuses doivent être considérés comme potentiellement très problématiques.

Il est également possible d'éviter les collisions en limitant le fonctionnement des éoliennes pendant les heures où l'activité des chauves-souris est particulièrement élevée. Mais là aussi les données se révèlent encore trop imprécises et en partie contradictoires pour proposer des directives universellement valables partout pour limiter le fonctionnement au cours de l'année ou à des vitesses de vent données. En conséquence, les seules possibilités actuelles consistent à vérifier soigneusement chaque site dans le cadre de la procédure d'autorisation et, une fois le projet accepté, à contrôler l'efficacité des mesures définies, le cas échéant, en procédant à un suivi des chauves-souris.

## 8 Bibliographie

- ALCALDE, T & SÁENZ, J. (2004): First data on bat mortality in wind farms of Navarre (northern Iberian peninsula). – *Le Rhinolophe*, 17: 1-5.
- 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 behavioural interactions with wind turbines. – A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- BACH, L. (2001): Fledermäuse und Windenergienutzung – reale Probleme oder Einbildung ? – *Vogelkdl. Ber. Niedersachs.* 33: 119-124.
- BACH, L., BRINKMANN, R., LIMPENS, H., RAHMEL, U., REICHENBACH, M. & ROSCHEN, A. (1999): Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten im Rahmen der Windkraftplanung. – *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 4: 162-170.
- BACH, L. & DIETZ, M. (2003): „Dresdener Erklärung“ – Mindestanforderungen zur Durchführung von Fledermausuntersuchungen während der Planungsphase von Windenergieanlagen. – Ergebnis der Tagung der Akademie der Sächsischen Landesstiftung Natur und Umwelt vom 17.-18.11.2003 an der TU Dresden.
- BACH, L. & RAHMEL, U. (2004): Überblick zu Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse – eine Konfliktabschätzung. – *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz*, 7: 245-252.
- BEHR, O. & HELVERSEN, O.V. (2005): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roskopf“ (Freiburg i. Br.). – Unveröff. Gutachten der Univ. Erlangen-Nürnberg, Institut für Zoologie.
- BRINKMANN, R., BACH, L., DENSE, C., LIMPENS, H.J.G.A., MÄSCHER, G. & RAHMEL, U. (1996): Fledermäuse in Naturschutz- und Eingriffsplanungen, Hinweise zur Erfassung, Bewertung und planerischen Integration. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung*, 28(8): 229-236.
- BRINKMANN, R. (1998): Fledermausschutz im Rahmen der Landschaftsplanung. – *Berichte der Akademie für Natur- und Umweltschutz in Baden-Württemberg*. – 26: 59-94.
- BRINKMANN, R. (2004): Welchen Einfluss haben Windkraftanlagen auf jagende und wandernde Fledermäuse in Baden-Württemberg? – *Tagungsdokumentation der Umweltakademie Baden-Württemberg*, 15: 38-63.
- BRINKMANN, R. & SCHAUER-WEISSHAHN, H. (2004): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse in Südbaden – Zwischenbericht. – Unveröff. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg, gefördert durch die Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg. Kurzfassung des Zwischenberichtes 2005 veröffentlicht durch das RP FREIBURG (2005) unter (<http://www.rp-freiburg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf>).
- BRUDERER, B. & BOLDT, A. (2001): Flight characteristics of birds: I. Radar measurements of speed. – *Ibis* (143): 178-204.
- BRUDERER, B. & LIECHTI, F. (1998): Intensität, Höhe und Richtung von Tag- und Nachtzug im Herbst über Südwestdeutschland. – *Der Ornithologische Beobachter* (95): 113-128.
- DENSE, C. & RAHMEL, U. (1999): Fledermäuse. – In: VUBD: Handbuch landschaftsökologischer Leistungen – Empfehlungen zur aufwandsbezogenen Honorarermittlung. – 3. Aufl., Selbstverlag Vereinigung umweltwissenschaftlicher Berufsverbände Deutschlands e.V., Nürnberg.

- DÜRR, T. (2002): Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. – *Nyctalus*, 8(2): 115-118.
- DÜRR, T. (2004): Beobachtungsergebnisse über Totfunde von Vögeln und Fledermäusen an Windenergieanlagen im In- und Ausland. - Tagungsdokumentation der Umweltakademie Baden-Württemberg, 15: 5-22.
- DÜRR, T. & BACH, L. (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundortkartei. – *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz*, 7: 253-263.
- ENDL, P. (2004): Untersuchungen zum Verhalten von Fledermäusen und Vögeln an ausgewählten Windkraftanlagen – Landreis Bauzen, Kamenz, Löbau-Zittau, Niederschlesischer Oberlausitzkreis, Stadt Görlitz, Freistaat Sachsen. – Unveröff. Gutachten im Auftrag des Staatlichen Umwelfachamtes Bauzen.
- ERICKSON, W., JOHNSON, G., YOUNG, D., STRICKLAND, D., GOOD, R., BOURASSA, M., BAY, K. & 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., Prepared for Bonneville Power Administration, Oregon.
- HALL, L.S. & RICHARDS, G.C. (1972): Notes on *Tadarida australis* (Chiroptera: Molossidae). – *Austr. Mamm.*, 1: 46-47.
- HÄUSSLER, U. (2004): Untersuchung von toten Fledermäusen, Fundort: Windkraftanlagen, Sammler Dr. Robert Brinkmann / Horst Schauer-Weisshahn. – Unveröff. Kurzbericht, 5 S.
- HELVERSEN, O. v., ESCHE, M., KRETZSCHMAR, F. & BOSCHERT, M. (1987): Die Fledermäuse Südbadens. – *Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz N.F.* 14 (2): 409-475.
- HORN, J. & ARNETT, E.B. (2005): Timing of nightly bat activity and interactions with wind turbine blades, pages 96-116. – In: ARNETT, E.B., (2005): Relationship 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. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- HÖLZINGER, J. (1999): Die Vögel Baden-Württembergs, Band 3.1: Singvögel 1. Passeriformes – Sperlingsvögel: Alaudidae (Lerchen) bis Sylviidae (Zweigsänger). – Stuttgart: Ulmer.
- HÖTKER, H., THOMSEN, K.-M. & KÖSTER, H. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und Fledermäuse. BfN-Skripten 142, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn – Bad Godesberg.
- 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. – *Am. Midl. Nat.*, 150: 332-342.
- KERNS, J., ERICKSON, W.P. & ARNETT, E.B. (2005): Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia, pages 24-95. In: ARNETT, E.B., (2005): Relationship 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. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- KOFORD, R., AFTAB, J., ZENNER, G. & HANCOCK, A. (2005): Avian mortality associated with the Top of Iowa Wind Farm – Progress Report Calendar Year 2004.
- OSBORN, R.G., HIGGINS, K.F., DIETER, C.D. & USGAARD, R.E. (1996): Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota. – *Bat Research News*, 37: 105-108.
- ROLL, E., WALTER, B., HAUKE, C. & SOMMERLATTE, K. (2005): Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebbahnen – Teil V: Behandlung besonders und streng geschützter Arten



in der eisenbahnrechtlichen Planfeststellung. – 5. Fassung (Stand: Juni 2005, Teil V neu).

- RAHMEL, U. BACH, L., BRINKMANN, R., LIMPENS, H. & ROSCHEN, A. (2004): Windenergieanlagen und Fledermäuse – Hinweise zur Erfassungsmethodik und zu planerischen Aspekten. – Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, 7: 265-271.
- RODRIGUES, L., HARBUSCH, C., SMITH, L., BACH, L., CATTO, C., LUTSAR, L., IVANOVA, T., HUTSON, T. & DUBOURG-SAVAGE, M.-J. (2005): Report of the Intersessional Working Group on Wind Turbines and Bat Populations. – Doc. EUROBATS AC 10.9, 10<sup>th</sup> Meeting of the Advisory Committee, Bratislava, Slovak Republic, 25-27 April 2005.
- SIMON, M., HÜTTENBÜGEL, S., SMIT-VIERGUTZ, J. & BOYE, P. (2004): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten. – Schriftenreihe für Landschaftspf. u. Naturschutz, Heft 76, Bonn-Bad Godesberg.
- TRAPP, H.; FABIAN D.; FÖRSTER F. & ZINKE, O. (2002): Fledermausverluste in einem Windpark in der Oberlausitz. – Naturschutzarbeit in Sachsen, 44: 53-56.
- TRAXLER, A., WEGLEITNER, S. & JAKLITSCH, H. (2004): Vogelschlag, Meideverhalten & Habitatnutzung an bestehenden Windkraftanlagen Prellenkirchen – Obersdorf – Steinberg/Prinzendorf. Unveröff. Bericht im Auftrage WWS Ökoenergie, WEB Windenergie, evn Naturkraft, IG Windkraft und dem Amt der NÖ Landesregierung, 107 S.
- VIERHAUS, H. (2000): Neues von unseren Fledermäusen. ABU info 24 (1): 58-60.

## Annexe

Tableau A-1 : Vue d'ensemble des éoliennes contrôlées à intervalles réguliers en 2004 et 2005 (avec mention des découvertes de chauves-souris et d'oiseaux)

Tableau A-2 : Vue d'ensemble des éoliennes contrôlées en sus en 2004 (avec mention des découvertes de chauves-souris et d'oiseaux)

Tabl. A-1 : Caractéristiques, fréquence des contrôles et résultats des éoliennes contrôlées à intervalles réguliers (contrôles en 2004 de fin juillet à fin octobre sous l'ensemble des 16 éoliennes ; contrôles en 2005 de début avril à mi-mai, puis de mi-juillet à mi-octobre sous les 8 éoliennes en gras dans le tableau).

Désignation de l'éolienne	Type	Hauteur du moyeu (m)	Ø du rotor (m)	Site	Altitude	Nb de contrôles	Dates des découvertes de chauves-souris et d'oiseaux
Ettenheim Mahlberg 1	Nordex N 80	80,0	80,0	Ventis	470	18	03/08/04 : 1 P. pipistrellus
Ettenheim Mahlberg 2	Nordex N 80	80,0	80,0	Forêt	470	18	08/08/04 : 1 N. leisleri
<b>Ettenheim Mahlberg 3</b>	Südwind S 77	90,0	77,0	Forêt	500	48	31/07/04 : 1 P. pipistrellus ; 07/10/04 : 1 N. leisleri
<b>Ettenheim Brudergarten 1</b>	Nordex N 62	69,0	62,0	Forêt	470	49*	31/07/04 : 1 P. pipistrellus ; 01/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 08/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 17/10/04 : 1 Regulus spec. ; 17/08/05 : 1 P. pipistrellus
<b>Ettenheim Brudergarten 2</b>	Nordex N 62	69,0	62,0	Forêt	470	48	03/08/04 : 2 P. pipistrellus
<b>Ettenheim Brudergarten 3</b>	Nordex N 62	69,0	62,0	Forêt/ventis	470	48	13/08/04 : 2 P. pipistrellus ; 12/07/05 : 1 V. murinus ; 02/08/05 : 1 N. leisleri
<b>Freiamt Hohe Eck</b>	Enercon E 66	86,0	70,0	Forêt	600	49*	03/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 08/08/04 : 3 P. pipistrellus ; 13/08/04 : 2 P. pipistrellus ; 03/09/04 : 1 N. leisleri ; 12/09/04 : 1 D. urbica ; 17/09/04 : 1 D. urbica ; 28/07/05 : 1 A. apus ; 02/08/05 : 1 P. pipistrellus ; 22/08/05 : 1 P. pipistrellus ; 16/09/05 : 1 P. pipistrellus ; 06/10/05 : 1 P. pipistrellus
<b>Freiamt Schillinger Berg 1</b>	Enercon E 66	86,0	70,0	Forêt	720	50*	03/08/04 : 1 N. leisleri ; 08/08/04 : 2 P. pipistrellus, 1 N. leisleri, 1 V. murinus ; 13/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 18/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 03/09/04 : 1 P. pipistrellus, 1 N. leisleri ; 12/08/05 : 1 P. pipistrellus ; 01/09/05 : 1 P. pipistrellus
Freiamt Schillinger Berg 2	Enercon E 66	86,0	70,0	Prairie	710	18	Aucune

Désignation de l'éolienne	Type	Hauteur du moyeu (m)	Ø du rotor (m)	Site	Altitude	Nb de contrôles	Dates des découvertes de chauves-souris et d'oiseaux
St. Peter Plattenhöfe 1	Enercon E 40	78,0	44,0	Prairie/forêt	1 000	16	04/08/04 : 1 D. urbica
Simonswald Plattenhöfe 2	NEG Micon 60/1000	70,0	60,0	Prairie/forêt	1 000	16	18/09/04 : 1 P. pipistrellus
Simonswald Plattenhöfe 3	NEG Micon 60/1000	70,0	60,0	Prairie/forêt	1 000	16	13/09/04 : 1 P. pipistrellus
Simonswald Plattenhöfe 4	NEG Micon 60/1000	70,0	60,0	Prairie	1 000	9	Aucune
<b>Freiburg Holzschlägermatte 1</b>	Enercon E 66	98,0	70,0	Forêt	920	48	09/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 04/09/04 : 3 P. pipistrellus, 1 N. leisleri ; 07/08/05 : 1 A. spec. cf apus ; 17/08/05 : 1 A. apus ; 27/08/05 : 1 P. pipistrellus, 1 H. polyglotta
<b>Freiburg Holzschlägermatte 2</b>	Enercon E 66	98,0	70,0	Forêt	920	48	09/08/04 : 1 P. pipistrellus ; 14/08/04 : 1 A. melba
Fürstenberg	REpower MD 77	90,0	77,0	Prairie	920	17	Aucune

\* contrôles occasionnels inclus

Tabl. A-2 : Caractéristiques, fréquence des contrôles et résultats des éoliennes contrôlées occasionnellement entre le mois d'août et le mois d'octobre 2004

Désignation de l'éolienne	Type	Hauteur du moyeu (m)	Ø du rotor (m)	Site	Altitude	Nb de contrôles	Dates des découvertes de chauves-souris et d'oiseaux
Hornberg 1	Fuhrländer	70,0	54,0	Forêt/prairie	830	2	Aucune
Hornberg 2	Fuhrländer	70,0	54,0	Forêt	830	2	Aucune
Schweighausen 1	Seewind	65,0	52,0	Terres arables/prairie	590	3	Aucune
Schweighausen 2	Seewind	33,0	20,0	Terres arables/prairie/forêt	590	3	Aucune
Herbolzheim	Tacke	77,0	46,0	Parking d'une aire de repos	170	2	Aucune
Reichenbach Windkapf 1	REpower MD 77	100,0	77,0	Prairie/forêt	890	2	Aucune
Reichenbach Windkapf 2	Enercon E 66	98,0	70,0	Prairie/forêt	890	2	Aucune
Reichenbach Windkapf 3	REpower MD 77	100,0	77,0	Forêt	890	2	Aucune
Schonach 1	Südwind S 77	96,5	77,0	Forêt	990	2	Aucune
Schonach 2	Südwind S 77	90,0	77,0	Forêt	1020	2	Aucune
Rohrhardsberg	Enercon E 66	78,0	70,0	Forêt	1100	2	06/08/04 : 2 P. pipistrellus, 1 E. serotinus 06/09/04 : 1 P. pipistrellus
Neueck 1	Enercon E 40	78,0	44,0	Forêt/prairie	990	2	04/09/04 : 1 P. pipistrellus
Neueck 2	Enercon E 40	78,0	44,0	Forêt/prairie	990	2	Aucune
Gütenbach Kaisersebene 1	Enercon E 40	65,0	44,0	Prairie	1000	2	Aucune
Gütenbach Kaisersebene 2	Enercon E 66	65,0	70,0	Prairie/terres arables	1000	2	Aucune
Gütenbach Kaisersebene 3	Enercon E 40	65,0	44,0	Prairie	990	2	Aucune