



Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres

- mars 2012 -

Titre de l'original allemand :
Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des
Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen

Traduction du Bureau de coordination énergies renouvelables/
Koordinierungsstelle Erneuerbare Energien e.V.

Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres

Résultats d'un projet de recherche *)

Robert Brinkmann¹, Oliver Behr²,
Ivo Niermann¹ & Michael Reich¹ (éditeurs)

¹ Université Leibniz de Hanovre, Institut de planification environnementale,
Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hanovre

² Université Friedrich Alexander d'Erlangen-Nürnberg, Institut de physiologie
animale, Staudtstrasse 5, 91058 Erlangen

*) Le projet sur lequel se base le présent rapport a bénéficié du soutien financier du
Ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de
la Sûreté nucléaire (BMU) (références du dossier : 0327638 A et B). Les auteurs sont
seuls responsables du contenu de cette publication.



Informations bibliographiques de la Bibliothèque nationale allemande

La Bibliothèque nationale allemande répertorie cette publication dans la Bibliographie nationale allemande ; des données bibliographiques détaillées sont disponibles sur Internet à l'adresse <http://d-nb.ddb.de>.

1^{ère} éd. – Göttingen : Cuvillier, 2011

Direction de la publication

Institut de planification environnementale

Université Leibniz de Hanovre

Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hanovre,

Allemagne

www.umwelt.uni-hannover.de

Rédacteur en chef : Dr. Stefan Rüter

Les auteurs sont seuls responsables du contenu.

Photos de couverture : Klaus Echle (en haut), Ivo Niermann (au centre, en bas)

Relecture de la traduction en français : Marie-Jo Dubourg-Savage

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2011

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

www.cuvillier.de

Tous droits réservés. Sauf autorisation expresse de la maison d'édition, toute reproduction, intégrale ou partielle, de ce livre par des moyens photomécaniques (photocopie, microcopie) est interdite.

1^{ère} édition, 2011

Imprimé sur papier sans acide

ISBN 978-3-86955-753-3

ISSN 2190-7161

Chercheurs associés :



Prof. Dr. Otto von Helversen
Dr. Oliver Behr
Jürgen Mages

Universität Friedrich Alexander
d'Erlangen-Nürnberg,
Institut de physiologie
animale, Erlangen
Staudtstrasse 5
91058 Erlangen



Prof. Dr. Michael Reich
Dr. Robert Brinkmann
Ivo Niermann
Kristine Mayer

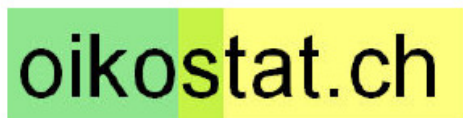
Universität Leibniz de
Hanovre, Institut de
planification
environnementale,
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hanovre

Partenaires de coopération :



Dr. Reinhard Ebert
Uwe Adomeit

Institut Fraunhofer d'optronique,
d'ingénierie des systèmes et
d'imagerie
Gutleuthausstr. 1
76275 Ettlingen



Dr. Fränzi Korner-Nievergelt
Dr. Stefanie von Felten
Prof. Dr. Barbara Hellriegel

oikostat GmbH
Ausserdorf 43
CH - 6218 Ettiswil



Boris de Wolf

ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich

Suggestions pour le référencement de citations du rapport intégral ou des rapports individuels :

- BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) (2011). Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. - Umwelt und Raum Bd. 4, 457 S., Cuvillier Verlag, Göttingen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres. – Environnement et espaces vol. 4, 457 p., éditions Cuvillier, Göttingen.*).
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT (2011). Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (*Détection acoustique de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes.*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. - Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286, Cuvillier Verlag, Göttingen. (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres. – Environnement et espaces vol. 4, pp. 177 - 286, éditions Cuvillier, Göttingen.*)

Table des matières

Résumé	3
Summary.....	10
BRINKMANN, R., O. BEHR, J. MAGES, I. NIERMANN et M. REICH Anlass, Aufgabenstellung und Studiendesign. (Contexte, problématique et conception de l'étude)	16
NIERMANN, I., R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT et O. BEHR Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse (<i>Recherches systématiques d'animaux victimes de collision – Cadre méthodologique, procédures d'analyse statistique et résultats</i>).	40
NIERMANN, I., R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT et O. BEHR Windbedingte Verdriftungen von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen – ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche (<i>Déplacement sous l'effet du vent de chiroptères victimes de collision avec des éoliennes – Une contribution au débat sur la méthodologie de la recherche d'animaux victimes de collision</i>).	116
BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et J. MAGES Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (<i>Méthodes de détection acoustique de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes</i>).....	130
ADOMEIT, U., I. NIERMANN, O. BEHR et R. BRINKMANN Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen (<i>Caractérisation de l'activité des chiroptères aux environs d'éoliennes à l'aide d'enregistrements stéréo infrarouges</i>).	145
BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (<i>Détection acoustique de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes</i>).	177
BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (Prévision de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes).....	287
KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, I. NIERMANN et R. BRINKMANN Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle (<i>Estimation du nombre de chauves-souris mortes accidentellement aux abords des éoliennes au moyen de mesures d'activité acoustique et de modèles statistiques modifiés utilisant la densité mélange à variable N</i>).	323
BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. (<i>Algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères pour les éoliennes</i>)	354

NIERMANN, I., S. VON FELTEN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. BRINKMANN
et O. BEHR

Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an
Windenergieanlagen (*Impact de variables d'installation et de paysage sur l'activité des
chauves-souris aux abords des éoliennes*).384

BRINKMANN, R., F. KORNER-NIEVERGELT, O. BEHR et I. NIERMANN

Darf bezüglich des Kollisionsrisikos von einer Windenergieanlage auf bestehende oder
geplante Anlagen in der Umgebung geschlossen werden? (*Est-il légitime de transposer,
concernant le risque de collision, les observations réalisées sur une éolienne aux installations
existantes ou futures dans les environs ?*)406

BRINKMANN, R., O. BEHR, F. KORNER-NIEVERGELT , J. MAGES, I. NIERMANN
et M. REICH

Zusammenfassung der praxisrelevanten Ergebnisse und offene Fragen (*Résumé des résultats
opérationnels et des questions non résolues*).425

Résumé des résultats opérationnels et des questions non résolues

ROBERT BRINKMANN^a, OLIVER BEHR^b, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^c, JÜRGEN MAGES^b,
IVO NIERMANN^a, MICHAEL REICH^a,

^a Université Leibniz de Hanovre, Institut de planification environnementale, Hanovre

^b Université Friedrich Alexander d'Erlangen-Nürnberg, Institut de physiologie animale,
Erlangen

^c oikostat GmbH, Ettiswil
(CH)

1 Résumé	426
2 Contexte et objectifs du projet de recherche	427
3 Conditions de conception et exigences juridiques relatives à la protection des espèces pour la conception et l'exploitation d'éoliennes	428
3.1 Risque de collision et interdiction de destruction d'espèces protégées.....	428
3.2 Déangement de la population locale et altération ou destruction d'habitats	431
4 Résultats opérationnels de ce projet de recherche et questions non résolues y afférentes	432
4.1 Méthodes d'analyse	432
4.1.1 Analyse du risque de collision avant la construction des éoliennes.....	432
4.1.2 Recherche de victimes de collision	436
4.1.3 Détection acoustique dans la zone de la nacelle	439
4.2 Espèces de chauves-souris concernées, nombre de victimes de collision par éolienne et hypothèses sur le risque de collision	441
4.3 Le risque de collision en fonction de paramètres d'implantation et des paramètres des éoliennes	444
4.4 Incidence de la saison, de l'heure de la nuit et des paramètres météorologiques sur l'activité – Possibilités de prévision de l'activité	447
4.5 Pilotage d'éoliennes respectueux des chauves-souris (algorithmes de fonctionnement).....	449
5 Références bibliographiques	453

1 Résumé

Le présent article résume les résultats opérationnels du projet de recherche « Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres » ainsi que les questions non encore résolues.

Pour atteindre les objectifs de protection du climat en Allemagne, il est notamment nécessaire de développer rapidement l'éolien terrestre. En même temps, il faut toutefois tenir compte des exigences liées à la protection de la nature et des espèces. Du point de vue de la protection des espèces, les chauves-souris, rigoureusement protégées par la réglementation européenne, jouent un rôle particulier, notamment en ce qui concerne leur risque de collision avec les éoliennes. Selon la jurisprudence actuelle, les faits constitutifs de destruction d'espèces protégées doivent être interprétés à l'échelle de l'individu. Ceux-ci sont établis si le risque de destruction d'espèces protégées augmente de façon significative. A contrario, les collisions isolées de chiroptères ne permettent pas d'établir de tels faits constitutifs.

Pour identifier, sur un site donné et avant la construction des éoliennes, le risque futur de collision des chauves-souris, nous recommandons de réaliser une détection de l'activité sur une période prolongée (d'avril à octobre), soit sur des éoliennes existantes (sur les installations à remplacer en cas de repowering ; sinon, sur des installations situées à proximité), soit au sol. Nous recommandons de perfectionner et de standardiser les méthodes habituellement utilisées pour la détection de l'activité lors du choix du lieu d'implantation, afin d'améliorer la fiabilité des pronostics et de reconnaître, dès la phase de conception, les sites particulièrement susceptibles de poser problème.

La méthode de recherche de victimes de collision permet d'identifier directement le risque de collision pour une installation existante, à condition toutefois d'identifier précisément et de prendre en compte les erreurs liées à la méthodologie utilisée (pourcentage de la surface prospectable, efficacité du « chercheur de cadavres » et taux de persistance des cadavres). Pour calculer le nombre de chiroptères morts, nous avons développé une nouvelle formule spécialement adaptée à la situation en Allemagne, et qui donne des résultats nettement plus fiables que les formules appliquées actuellement. Si moins de 40 % de la surface dans un rayon de rotor de 50 mètres peut être prospectée autour du pied du mât de l'éolienne, et que dans le même temps des taux de disparition moyens voire élevés sont constatés, aucun calcul valable ne peut plus être effectué. Dans ce cas, la réalisation de détections acoustiques automatiques dans la zone de la nacelle peut permettre d'identifier le nombre de victimes de collision.

Pour réaliser cette détection acoustique automatique de chiroptères dans la zone de la nacelle, les appareils suivants peuvent être utilisés : Batcorder de la société ecoobs, et Anabat SD1, de l'entreprise Titley Electronics. Pour pouvoir utiliser les données de référence de ce projet de recherche, il est indispensable d'installer et de faire fonctionner (calibrage) ces appareils dans l'éolienne, de la même façon que cela a été fait pour ce projet de recherche.

Tant les résultats des recherches de victimes de collision que les détections acoustiques dans la zone de la nacelle montrent que seules quelques espèces indigènes de chiroptères sont régulièrement concernées par les collisions avec des éoliennes. Aussi, dans le cadre du choix du lieu d'implantation, les détections et analyses concernant le risque de collision peuvent se limiter aux espèces suivantes de chauve-souris : *N. noctula*, *N. leisleri*, *E.*

serotinus, *P. pipistrellus*, *P. nathusii*, *V. murinus*, *P. pygmaeus*. Outre ces dernières, les espèces *E. nilssonii*, *P. kuhlii*, *B. barbastellus* pourraient être concernées, mais il n'existe pas encore d'études relatives à ces espèces dans leurs principales aires de répartition.

Sur la base de données acoustiques, nous avons identifié le nombre de victimes de collision par installation et par an (200 jours), et abouti à une moyenne de 12 animaux (fourchette de 1 à 40 animaux). Ces estimations doivent être considérées comme conservatrices. Dans la pratique, il y a de très grandes différences de risque de collision pour les chauves-souris en fonction du lieu d'implantation. Nous en déduisons que le risque de collision ne peut être identifié que par des études différenciées au cas par cas.

Il n'est que partiellement possible de décrire ou de pronostiquer l'activité des chauves-souris et, partant, le risque de collision en fonction de différentes variables liées au paysage. Parmi toutes les variables liées au paysage, seule la distance des installations aux bois et bosquets a montré, dans tous les rayons étudiés, une influence significative, bien que faible, sur l'activité des animaux. Selon ces observations, l'activité des chauves-souris diminue à mesure que la distance aux bois ou bosquets augmente. De même, la seule variable étudiée en lien avec l'installation, à savoir la hauteur de moyeu, a également une influence significative, bien que faible, sur l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes. L'activité acoustique mesurée des chauves-souris diminue à mesure que la hauteur de moyeu augmente.

Les stratégies pour éviter les collisions de chauves-souris ne devraient pas se baser uniquement sur la distance par rapport à différents éléments du paysage, par ex. une certaine distance aux bois ou bosquets, car nos résultats montrent que l'activité des chauves-souris ne diminue pas autant que ce que l'on a supposé jusqu'ici. Près des éoliennes situées en rase campagne, le risque de collision peut également être élevé. Une distance déterminée par rapport à certains paramètres du paysage, tels que la distance aux bosquets ou à la forêt, ne constitue pas, à nos yeux, un critère d'exclusion pour la construction d'éoliennes. Certes il faut dans ces cas s'attendre à une activité plus forte qu'en rase campagne, mais il est là aussi possible d'éviter les risques de collision par des algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères. Ces sites nécessitent toutefois en général des mesures d'évitement plus importantes que ceux situés en rase campagne. Globalement, comparée aux facteurs de vitesse du vent et de température, l'impact des paramètres liés au paysage et aux installations sur l'activité des chauves-souris est cependant faible.

Grâce à l'ensemble de données très vaste, et probablement unique au monde, que nous avons collecté sur l'activité des chauve-souris dans la zone du rotor d'un **aérogénérateur**, nous avons pu démontrer que l'activité des chauves-souris dépendait fortement de la saison, de l'heure de la nuit, de la vitesse du vent, de la température et des précipitations. Nous avons utilisé ces résultats pour mettre au point un modèle permettant de prévoir de manière différenciée l'activité des chauves-souris sur la base de ces variables d'influence. Toutes les variables d'influence testées ont eu un effet significatif sur l'activité des chauves-souris, et ont permis d'améliorer le modèle de prévision.

Dans la pratique, pour réduire le risque de collision, on a souvent recours aujourd'hui à des algorithmes de fonctionnement plutôt simples, lesquels ne tiennent compte que de la vitesse du vent et de la saison pour prévoir les périodes problématiques pour les chauves-souris. Si cette approche permet effectivement de réduire le risque de collision des chauves-souris avec les éoliennes, elle induit également des mises à l'arrêt inutiles, associées à des pertes de rendement. Notre approche repose sur la prévision de l'activité des chauves-souris pour différents intervalles de 10 minutes, d'une part, et d'autre part sur le calcul du chiffre de

mortalité des chauves-souris, à partir de la mesure de l'activité acoustique. La combinaison de ces deux approches méthodologiques permet d'obtenir une valeur prévisionnelle du nombre de chauves-souris tuées, pour une éolienne donnée et pour différentes périodes.

La comparaison des prévisions du nombre de victimes de collision avec le rendement énergétique obtenu par l'installation, permet alors de réaliser une évaluation pondérée de différentes périodes.

Cette évaluation de différentes périodes peut être utilisée dans un algorithme de fonctionnement des éoliennes respectueux des chiroptères, et à haute résolution temporelle. L'algorithme détermine les périodes au cours desquelles le quotient de la division des pertes de rendement prévues, par le nombre pronostiqué de chauves-souris mortes, est minimal. Durant ces périodes, l'éolienne est arrêtée et le rotor est bloqué, permettant ainsi d'éviter la collision de chauves-souris. Un tel pilotage de l'installation peut réduire le risque de collision des chauves-souris jusqu'à une valeur déterminée, correspondant à un chiffre moyen de chauves-souris mortes que l'on est prêt à accepter, tout en réduisant dans le même temps les pertes de rendement qui en résultent.

L'ensemble de données acquises dans le cadre du projet de recherche a permis de calculer des scénarios possibles d'algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères pour les éoliennes que nous avons étudiées. Pour un seuil de p. ex. deux chauves-souris mortes pendant la période étudiée (du 15 juin 2008 au 31 octobre 2008), il y a eu, en fonction de l'ensemble de données utilisées, au maximum 1,15 % à 1,46 % et en moyenne 0,32 % à 0,83 % de pertes par rapport à un rendement annuel supposé de 4500 MWh. Les pertes de rendement sont faibles, même pour une protection des chauves-souris que nous estimons étendue. Les chauves-souris montrent une activité maximale lorsque les vitesses de vent sont faibles et donc moins intéressantes pour la production d'énergie.

La démarche décrite peut être standardisée et appliquée immédiatement.

- Pour établir un algorithme de mise à l'arrêt pour un site donné, il faut, dans un premier temps, relever l'activité des chauves-souris aux abords d'une éolienne dans la zone du rotor, sur une période allant du mois d'avril au mois d'octobre d'une année donnée.
- Dans ce cadre, il est possible d'utiliser indifféremment les appareils de détection SD1 ou BC. Pour l'installation et l'utilisation de ces appareils, il faut obligatoirement procéder comme décrit dans le cadre de ce projet de recherche.
- Sur la base des valeurs d'activité relevées dans la zone du rotor, un algorithme de mise à l'arrêt peut ensuite être développé pour un site donné.
- Cet algorithme peut être mis en œuvre dans le pilotage de l'installation, ce qui exige une collaboration étroite avec le fabricant de l'éolienne.
- Une fois l'algorithme mis en œuvre, il est conseillé de relever l'activité des chiroptères pendant une année supplémentaire, afin de détecter la variabilité de l'activité d'une année à l'autre. Il est alors possible, dans la mesure où cela s'avérerait nécessaire, d'adapter l'algorithme sur la base des mesures collectées la deuxième année.

L'approche proposée ici, basée sur des algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères, permet de réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes. La protection des chauves-souris peut être prise en compte de façon exhaustive dans le développement de l'énergie éolienne terrestre, sans compromettre la mise en œuvre des objectifs de la politique énergétique.

2 Contexte et objectifs du projet de recherche

Le réchauffement climatique a un impact considérable sur la biodiversité. Aussi, le développement des énergies renouvelables dans le respect de la nature est l'une des priorités de la Stratégie nationale pour la biodiversité, permettant de réaliser les objectifs du gouvernement fédéral allemand. Concrètement, ce dernier vise une augmentation significative de la part des énergies renouvelables dans la consommation globale d'énergie. Toutefois, l'augmentation de la production et de l'utilisation des énergies renouvelables ne doit pas se faire au détriment de la biodiversité (BMU 2007).

L'énergie éolienne joue un rôle majeur dans le développement des énergies renouvelables. Le **Plan d'action national pour les énergies renouvelables, NAP** prévoit d'augmenter la puissance des éoliennes terrestres, pour passer de 27 500 MW en 2010 à 36 750 MW en 2020. L'une des conditions pour y arriver consiste à réduire largement les restrictions existantes, concernant d'une part la mise en place de nouvelles et plus grandes installations sur des sites à ce jour non utilisés, et d'autre part concernant le repowering de sites déjà utilisés (RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE 2010).

Les chauves-souris, espèces bénéficiant d'une protection particulière et rigoureuse en vertu de la directive européenne Habitats-Faune-Flore et de la **loi fédérale allemande de protection de la nature (BNatSchG)**, peuvent entrer en collision avec les éoliennes et de nombreux permis de construire pour des éoliennes sont refusés sur de nombreux sites, ou assortis de conditions. De plus, certains critères (notamment la distance à la forêt) sont utilisés pour définir des terrains prioritaires, sur lesquels la construction d'éoliennes est exclue au motif de la protection préventive des espèces.

Le manque de connaissances sur la nature et l'étendue des collisions de chauves-souris avec les éoliennes et, partant, l'évaluation très variable de l'impact possible sur les différentes espèces, font que les demandes de permis de construire sont traitées de façon très variable. Cela conduit, aux yeux des concepteurs et exploitants d'éoliennes, à fréquemment assortir les autorisations de conditions ou de réserves souvent déraisonnables ou, aux yeux des autorités et associations de protection de la nature, à une protection insuffisante des chauves-souris.

Pour cette raison, ce projet de recherche a exploré et perfectionné des mesures dont l'application permet de réduire le risque de collision, et qui sont donc aptes à répondre à court terme aux exigences légales existantes en matière de protection des espèces. Cette approche peut contribuer à ce que les éoliennes soient autorisées et construites avec davantage de sécurité juridique, plus rapidement et de façon plus homogène qu'auparavant.

Même avant le début du projet, certains travaux ont montré que la méthode la plus efficace pour réduire le risque de collision était de restreindre l'exploitation des éoliennes à certains moments et sous certaines conditions météorologiques (BEHR et al. 2006). Dans la pratique, cet état des choses conduit, en raison du manque de connaissances associé à une interprétation large du principe de prévention, à des restrictions relativement importantes qui diminuent en général la rentabilité du projet.

C'est pourquoi nous nous sommes attachés, dans le cadre de notre travail de recherche, à déterminer dans quelle mesure les facteurs temporels et météorologiques déterminent l'activité des chauves-souris et, partant, leur risque de collision avec les éoliennes. Sur la base de ces résultats, nous avons mis au point des modèles de prévision de l'activité des chauves-souris et, à partir de là, des algorithmes pour le pilotage des installations propres à

permettre une exploitation des éoliennes respectueuse des chiroptères, tout en réduisant au minimum les pertes de rendement.

Toutefois, il a fallu d'abord, dans la première phase du projet de recherche, développer et standardiser des méthodes fondamentales pour la détection de l'activité des chauves-souris et du risque de collision.

Notre approche étant centrée sur l'applicabilité, sur les exigences concrètes en termes de conception, et sur une mise en œuvre rapide, nous n'avons pas travaillé sur d'autres questions fondamentales touchant également à la problématique des chauves-souris et des éoliennes, mais ne promettant pas de mise en œuvre pratique à court terme. Ainsi, les questions par ex. relatives à l'impact à long terme des collisions de chauves-souris sur les populations concernées n'ont pas été abordées, car il aurait fallu pour cela élargir considérablement le périmètre de recherche dans une approche basée sur le long terme, ce qui n'aurait pas contribué à trouver une solution opérationnelle à court ou moyen terme aux problèmes actuels rencontrés dans le cadre de la conception de projets éoliens. De plus, la jurisprudence actuelle exige de toute façon de considérer le risque de mise à mort à l'échelle de l'individu (voir infra). Le traitement de ce type de questions est toutefois certainement souhaitable à long terme et sous différents aspects.

3 Conditions de conception et exigences juridiques relatives à la protection des espèces pour la conception de projets et l'exploitation d'éoliennes

Grâce aux prises de position du groupe de travail accompagnant le projet, ainsi qu'aux questions et contributions au débat mises en avant lors de la conférence organisée par nos soins à Hanovre en juin 2009, le traitement de ce projet de recherche a mis en évidence qu'outre les questions fondamentales de recherche biologique concernant p. ex. la migration des chiroptères en Europe centrale, un certain nombre de questions relatives aux exigences légales et à la mise en œuvre administrative des mesures de protection des chauves-souris, dans le cadre de la procédure d'autorisation des éoliennes, restaient encore à clarifier.

La plupart de ces questions opérationnelles, telles que l'interprétation de certains concepts juridiques non définis ou la mise en œuvre de mesures de protection des espèces dans les procédures d'autorisation et leur contrôle, ne peuvent pas être clarifiées, à nos yeux, dans le cadre d'un projet de recherche. Elles doivent trouver leur réponse grâce à une convention qui doit être mise au point, en premier lieu, par les autorités compétentes pour délivrer les autorisations et par les instances administratives intervenant dans le champ de la protection de la nature, en sus d'un accompagnement scientifique et d'une participation des fabricants et exploitants d'éoliennes.

Nous donnons ci-après un aperçu des conditions de conception et des exigences juridiques en matière de protection des espèces, dans lesquelles s'inscrivent nos recommandations concrètes pour la conception de projets éoliens. Les questions d'ordre juridique et d'ordre administratif liées à la mise en œuvre des mesures de protection des chauves-souris aux abords des éoliennes n'ayant pas été l'objet de ce projet de recherche, cette synthèse ne prétend pas être exhaustive.

3.1 Risque de collision et interdiction de destruction d'espèces protégées

Conformément au traitement habituel des demandes d'autorisation au moment du lancement du projet de recherche, début 2007, nous étions partis du principe qu'il pouvait être

nécessaire, pour des raisons de protection des espèces, de réduire le risque de collision des chiroptères sur certains sites éoliens, afin de ne pas contrevenir à l'interdiction de destruction d'espèces protégées à l'article 44 paragraphe 1 phrase 1 de la loi fédérale allemande de protection de la nature (BNatSchG).

Pendant la durée du projet de recherche, la conception juridique selon laquelle l'interdiction de destruction d'espèces protégées est à interpréter à l'échelle de l'individu pour les espèces bénéficiant d'une protection rigoureuse, a été confortée. Ainsi, le Tribunal administratif de Sarrelouis (TA de Sarrelouis, jugement du 19 septembre 2007, 5 K 58/06) a jugé, dans un cas où la construction d'éoliennes était prévue dans un habitat utilisé par différentes espèces de chauves-souris, et où il y a eu des cas avérés de victimes de collision dues au fonctionnement de l'éolienne, que l'interdiction de destruction d'espèces protégées s'appliquait.

Dans le cadre de différentes procédures relatives à la construction de grands axes routiers, le Tribunal administratif fédéral allemand a estimé que le risque de collision constituait un acte de destruction d'espèces protégées lorsqu'il s'agissait d'un risque de collision accru. Considérées comme des risques socialement acceptables, les collisions inévitables liées à l'exploitation, p. ex. de chauves-souris sur les routes, ne relèvent pas de cette interdiction (LANA 2009). Selon une définition de LANA (2009:5), « inévitable » signifie dans ce contexte « que, dans le cadre de la permission de l'intervention, le risque de destruction d'espèces protégées a été réduit par des mesures d'évitement appropriées et adaptées à l'espèce en question ». Pour l'exploitation d'éoliennes sur des sites présentant un risque de collision, il faut donc toujours prévoir des mesures d'évitement (dans le cadre d'un rapport raisonnable de proportionnalité entre les moyens employés et le but visé). L'analyse visant à déterminer si l'acte de destruction d'espèces protégées est constitué en raison d'un risque significativement accru, n'a lieu qu'après.

Ce point de vue a été repris sans restriction par un jugement du Tribunal administratif supérieur de Thuringe du 14 octobre 2009 (1KO 372/06) pour la mortalité de chauves-souris aux abords des éoliennes. Dans l'exposé des motifs, le tribunal explique que l'acte de destruction d'espèces protégées en vertu de la loi allemande BNatSchG, qui se base sur la transposition de l'art. 12 par. 1 de la directive Habitat-Flore-Faune, s'évalue à l'échelle de l'individu et non pas de la population. « Néanmoins, accepter le risque de chaque collision isolée inévitable ne veut pas dire contrevenir à l'interdiction de destruction d'espèces protégées..., car autrement, la quasi-totalité des projets ne pourraient être autorisés qu'en ayant recours à des dispenses et dérogations par rapport à la législation relative à la protection de la nature. Ceci aurait pour effet de les transformer en prescriptions pour le cas type. En raison des conditions rigoureuses sur lesquelles elles se basent, cette fonction de pilotage ne peut leur incomber dans la dynamique législative. Suite à cette réflexion, déjà menée... par le Tribunal administratif fédéral pour la procédure d'approbation des grands axes routiers fédéraux..., l'acte de destruction d'espèces protégées... est à interpréter dans les faits de telle façon, qu'il ne peut être considéré comme établi que lorsque le projet en question augmente de façon significative le risque de collision pour les espèces concernées. La jurisprudence citée oblige ici à tenir compte de mesures visant à réduire le risque de collision. L'infraction à l'interdiction de destruction d'espèces protégées n'est pas constituée si le projet ne provoque pas, selon une évaluation environnementale tenant compte de mesures d'évitement, de risque significativement accru de pertes liées à la collision d'individus isolés, si son impact reste donc au-dessous du seuil de danger dans un cadre équivalant aux risques liés aux événements naturels. » (Tribunal administratif supérieur de Thuringe, 14 octobre 2009, 1 KO 372/06, 1 aa).

Les résultats de nos recherches ne permettent pas de déduire directement à quel moment le risque de collision avec une éolienne doit être considéré comme significativement accru. Nous estimons que ces questions ne peuvent pas trouver de réponse dans le cadre d'un projet de recherche scientifique, et qu'il conviendrait plutôt de les aborder de façon systématique, par l'élaboration d'une convention permettant de réunir et de concilier les avis des experts des administrations compétentes et du monde scientifique. En l'absence d'une convention, la question de savoir s'il y a un risque significativement accru doit continuer d'être examinée au cas par cas, et en tenant compte du lieu concerné par la mesure prévue, des populations présentes et de la biologie des espèces (probabilité de destruction d'espèces protégées, cf. LANA 2009).

Aussi, les méthodes de réduction des risques de collision que nous proposons sont suffisamment flexibles pour permettre la prise en compte de différents seuils de tolérance définis (cf. chapitre 4.5).

La définition de seuils de tolérance basés sur les méthodes proposées dans le cadre de ce projet, peut tenir compte, comme point de référence, du groupe des chiroptères dans son ensemble au lieu des espèces individuelles. Cela est dû au fait que toute mesure d'évitement adaptée, telle que proposée dans ce projet, se base également sur la mesure de l'activité acoustique des chauves-souris dans la zone du rotor. Dans le cas présent, cette démarche nous paraît admissible, d'une part parce que les espèces de chauves-souris concernées ont un comportement très similaire, la mesure d'évitement ayant par conséquent également des effets similaires, et d'autre part parce que le calcul de l'algorithme de mise à l'arrêt tient compte de l'activité réelle des différentes espèces grâce à une mesure réalisée en amont (cf. BEHR et al. 2011d).

Pour les espèces impossibles ou difficiles à différencier par les mesures acoustiques, telles que *V. murinus* et *N. leisleri*, ou encore la paire d'espèces *P. nathusii* et *P. kuhlii*, seule la recherche de victimes de collision peut permettre d'évaluer le risque de collision spécifique aux espèces concernées au cas par cas. Toutefois, la recherche de victimes de collision n'est souvent pas appropriée, en raison de conditions méthodologiques peu favorables telles que la petite taille de l'aire de recherche ou un taux important de cadavres enlevés par des prédateurs, pour représenter le risque de collision aux abords d'une installation de façon aussi différenciée, que des enregistrements de l'activité acoustique le rendraient possible. De plus, pour pouvoir utiliser ce type de recherche pour quantifier le risque de collision, il faut que les éoliennes concernées fonctionnent sans entraves, ce qui sous-entend l'acceptation d'un risque de collision de chauves-souris.

Ces précisions montrent qu'il est nécessaire, pour pouvoir appliquer un seuil maximal admissible d'animaux morts aux abords d'une éolienne, de disposer de méthodes à la fois fiables, transparentes et vérifiables pour acquérir et mesurer les données de base. Nous avons à cet effet perfectionné et standardisé les méthodes de recherche de victimes de collision, et notamment de détection de l'activité acoustique dans la zone de la nacelle. Nous avons ainsi créé les bases scientifiques nécessaires afin de déterminer de manière qualitative (quelles espèces sont concernées) et quantitative (dans quelle mesure ces espèces sont-elles concernées), la probabilité de collisions de chauves-souris avec les éoliennes. Nous montrons les possibilités permettant de réduire le risque de collision à différents stades, et de vérifier cette réduction sur le terrain (cf. chapitre 4.5).

En l'absence de convention sur les seuils précis à appliquer pour évaluer les interdictions

édictees par la législation en matière de protection des espèces, il faut déterminer ces seuils en fonction du site et du projet concernés.

3.2 Dérangement de la population locale et altération ou destruction d'habitats

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous nous sommes exclusivement concentrés sur le risque de collision de chiroptères avec les éoliennes, les collisions létales ayant un impact bien plus important sur les populations de chauves-souris que les effets non létaux tels que les dérangements, les déplacements ou les pertes d'habitat qui peuvent être associés à la construction ou à l'exploitation des installations (cf. HÖTKER et al. 2005), et qui sont également susceptibles de relever de l'interdiction visée à l'art. 44 par. 1 phrases 2 et 3 de la loi BNatSchG. À l'heure actuelle, aucune indication de dérangement ou de déplacement de chauves-souris par les éoliennes n'est connue. BACH (2001) évoque bien dans une étude la possibilité d'un déplacement des **Sérotines communes** provoqué par les éoliennes, mais cette étude a été réalisée sur un type d'éolienne qui n'est plus construit aujourd'hui. Les résultats de cette étude ne sont donc plus transposables à la situation actuelle (BACH comm. orale).

Les pertes d'habitat et notamment la destruction de biotopes peuvent à la rigueur survenir lors de la construction d'éoliennes en forêt, où les gîtes de chauves-souris situés dans les cavités ou les fissures des arbres risquent d'être altérés ou détruits. Toutefois, étant donné que les éoliennes et les voies d'accès nécessaires ont la plupart du temps une faible emprise au sol, ces conflits ne devraient toucher, en règle générale, que des surfaces restreintes. Dans la pratique, les faits visés par l'interdiction formulée par l'article 44 paragraphe 1 phrases 2 et 3 concernant la protection des chauves-souris, ne sont donc en général pas déterminants pour la conception des projets éoliens. En l'état actuel des connaissances, ils sont bien moins importants que le risque de collision et les faits constitutifs de destruction d'espèces protégées.

Pour le recensement et l'évaluation d'interventions susceptibles d'altérer ou de détruire des habitats de chauves-souris, il existe un certain nombre de méthodes reconnues, qui peuvent être appliquées de façon standardisée dans le cadre d'autres projets d'intervention liés à l'occupation du sol, et peuvent donc être considérées comme établies. Il s'agit notamment du recensement de gîtes de chauves-souris vivant dans des cavités d'arbres à l'aide d'une caméra prévue à cet effet (endoscope), de la recherche d'animaux volant devant le gîte, ou encore le radiopistage et la télémétrie de chauves-souris capturées dans l'habitat de chasse. Les habitats de chasse et les routes de vol des chauves-souris peuvent être identifiés à l'aide de détecteurs manuels ou automatisés, ou encore à l'aide de captures au filet (pour un aperçu des méthodes, cf. p. ex. BRINKMANN et al. 1996, BRINKMANN et al. 2008, SCHNITTER et al. 2006). Outre les méthodes de recensement et d'évaluation, il existe aussi des méthodes établies pour compenser les pertes d'habitats. Ainsi, en cas de destruction de gîtes dans les arbres, le développement de bosquets d'arbres-gîtes et d'îlots de vieillissement ou, dans certains cas, la mise en place de gîtes artificiels pour chauves-souris, permettent d'augmenter nettement le nombre de gîtes dans le périmètre de l'intervention. Si ces mesures sont réalisées en amont de l'intervention, permettant ainsi de préserver de façon continue la fonction écologique de l'habitat (mesures CEF, *Continuous Ecological Functionality*), les faits générateurs visés par l'interdiction posée à l'article 44 paragraphe 1 phrase 3 n'interviennent pas non plus. Dans ce cas, la destruction d'espèces protégées, p. ex. lors de l'abattage d'arbres contenant des gîtes, ne relève pas non plus de cette interdiction.

Toutefois, de telles mesures CEF ne peuvent être employées que pour compenser les pertes d'habitat. La loi sur la protection de la nature ne prévoit pas, à ce stade de la conception, la possibilité de compenser la mortalité des chauves-souris par collision par la création d'habitats. L'algorithme ne peut donc tenir compte des éventuels habitats créés. Ces mesures peuvent se décliner par des mesures FCS (*Favourable Conservation Status*), après octroi d'une dérogation conforme à la réglementation en matière de protection des espèces, p. ex. pour maintenir et conforter l'état de conservation d'une population affectée par l'impact de l'intervention.

4 Résultats opérationnels de ce projet de recherche et questions non résolues y afférentes

Ce chapitre résume et présente de façon synthétique les résultats pertinents pour la conception des projets éoliens et pour le traitement des demandes d'autorisation. Les chapitres thématiques précédents contiennent toutefois encore d'autres précisions et recommandations opérationnelles qui, pour des raisons de clarté, ne sont pas toutes reprises dans ce résumé. Ainsi, il est nécessaire de se référer aux recommandations formulées par NIEMANN et al. (2011a) pour par ex. planifier la recherche de victimes de collision, et aux indications de BEHR et al. (2011b) pour planifier une détection acoustique automatique.

4.1 Méthodes d'analyse

4.1.1 Analyse du risque de collision avant la construction des éoliennes

Le développement ou l'évaluation de méthodes visant à analyser le risque de collision des chauves-souris avec les éoliennes avant la construction de ces dernières, n'était pas l'objet du présent projet de recherche. Il est néanmoins possible de tirer certaines conclusions à ce sujet sur la base des mesures réalisées sur des installations existantes, et d'en déduire des conseils pour le choix du lieu d'implantation.

L'approche que nous avons développée dans le cadre de ce projet de recherche, qui consiste à relever l'activité des chiroptères dans la zone de la nacelle, permet d'identifier le risque de collision avec les installations existantes de manière quantitative, et en tenant compte des variations temporelles. La réalisation de relevés métrologiques sur une période d'activité allant d'avril à octobre permet déjà de juger de la nécessité ou non de prendre des mesures sur un site donné. Dans l'affirmative, un algorithme de mise à l'arrêt peut être développé sur la base des données d'activité, lequel réduit nettement le risque de collision, et ainsi minimise les pertes de rendement. Pour les éoliennes de deux mégawatts que nous avons étudiées, les calculs modèles ont montré que l'application de l'algorithme sur la période-test est associée, pour la très grande majorité des installations, à de très faibles pertes de rendement, pour un nombre de victimes de collision défini qui ne peut être supérieur à deux animaux par éolienne en moyenne (cf. BEHR et al. 2011d). Il est néanmoins possible, pour les sites présentant un potentiel de conflit très important, que les mises à l'arrêt répétées diminuent nettement le rendement.

Aussi, il peut être important pour l'évaluation de la rentabilité d'une installation, de pouvoir cerner au plus près le risque de collision avant même la construction des éoliennes ou, au moins, de pouvoir identifier les sites particulièrement porteurs de conflits. Pour cette raison, nous estimons qu'il est judicieux de perfectionner les méthodes actuellement utilisées pour les études préliminaires, afin d'améliorer la qualité du pronostic.

À l'heure actuelle, les études sur les éoliennes et les chauves-souris réalisées dans le cadre

du choix du lieu d'implantation font appel à des méthodes très diverses, et les efforts mis en œuvre sont très variables. Il n'existe pas de standards d'analyses à l'échelle nationale, même si de nombreuses analyses et recommandations sont basées sur l'accord EUROBATS (RODRIGUES et al. 2006). La plupart des analyses utilisent une combinaison de plusieurs méthodes : détection individuelle le long de transects dans le périmètre de la future éolienne, utilisation de systèmes d'écoute automatiques sur les sites éoliens concernés, recherche individuelle de gîtes à l'aide d'un détecteur de chauves-souris. Dans de rares cas, des ballons ou des cerfs-volants sont utilisés afin de détecter l'activité des chauves-souris à l'aide d'enregistreurs automatiques à des altitudes plus importantes. Très inégale, la durée de l'échantillonnage varie concrètement de quelques nuits à environ 20 nuits d'observation, réparties sur toute la période d'activité des chauves-souris. Il n'existe pas non plus de standards quant à la technique employée. Aussi, différents détecteurs de chauves-souris avec des sensibilités très variables sont utilisés. Même lorsqu'il s'agit du même appareil, la sensibilité peut être différente ou varier selon l'utilisateur. En règle générale, les coffrets d'enregistrement automatique¹ utilisés ne fournissent pas non plus de mesures d'activité qui puissent être comparées au-delà du champ des analyses des différents intervenants, car ils se composent de différents types de détecteurs de chauves-souris et de différents enregistreurs, et peuvent en outre être réglés sur des sensibilités différentes.

En général, les valeurs d'activité identifiées ne sauront donc être interprétées ou évaluées qu'à titre d'argumentation orale. Pour les länder de Brandebourg (cf. DÜRR 2007) et de Schleswig-Holstein (cf. LANU 2008), des seuils ont été définis pour permettre d'affecter les données d'activité d'un site donné à des catégories de risque et aux types de mesures en découlant. Toutefois, pour l'heure, aucune étude ayant vérifié l'exactitude des pronostics de risque établis sur la base des données d'activité collectées, n'a encore été publiée.

Outre l'absence de standardisation, les méthodes utilisées actuellement posent à nos yeux deux autres problèmes majeurs. D'une part, les enregistrements par détecteurs sont réalisés, dans leur très grande majorité, au sol, ce qui ne permet pas de représenter correctement l'activité en hauteur des chauves-souris. D'autre part, il existe un risque, en raison de la faible durée de l'échantillonnage, de ne pas détecter ou de détecter de façon insuffisante au cours de l'année, les pics d'activité des chauves-souris pertinents, et souvent de brève durée, pour l'analyse des risques de collision, notamment en période de migration.

L'enregistrement de l'activité réalisé par nos soins simultanément au pied du mât et sur la nacelle de l'éolienne, a montré (cf. BEHR et al. 2011b) que le pourcentage de cris de *N. noctula* et d'autres cris du type « nyctaloïde » était plus important au niveau de la nacelle qu'au pied du mât. Toutefois, pour le groupe « pipistrelloïde » et pour les *P. pipistrellus*, ce rapport était exactement inverse. Pour les *P. nathusii*, des pourcentages quasi égaux ont été relevés au niveau de la nacelle et du pied du mât.

Globalement, il y a eu une corrélation positive évidente entre le nombre de séquences de cris enregistrés au pied du mât et au niveau de la nacelle, c'est-à-dire que plus le nombre de cris enregistrés au pied du mât était grand, plus il y avait aussi de cris enregistrés au niveau de la nacelle. Néanmoins, les prévisions quantitatives de l'activité à hauteur de la nacelle, sur la base des activités mesurées au pied du mât, étaient très imprécises. La fiabilité de la prévision de l'activité des chauves-souris à hauteur de la nacelle d'une éolienne sur la base des mesures réalisées au pied du mât augmentait avec le nombre de nuits passées à

¹ Note du Bureau de coordination énergies renouvelables : Les „Horchboxen“, bien plus utilisés en Allemagne qu'ailleurs consistent en un détecteur, un enregistreur « voice activated » et une montre pour donner le top horaire, le tout dans un coffret.

réaliser les mesures. Cependant, même pour 20 à 30 nuits par installation passées à réaliser les mesures, à peine 30 % des prévisions se situaient dans la zone de tolérance allant de 50 à 150 % de la valeur mesurée, respectivement 30 à 60 % dans la zone de tolérance allant de 33 à 300 % de la valeur mesurée (cf. BEHR et al. 2011b).

Pour relever l'activité des chiroptères également à plus haute altitude, il est fréquent aux États-Unis, dans le cadre d'études préliminaires pour le choix du site d'implantation, de monter des enregistreurs Anabat sur des mâts érigés à cette fin ou, lorsque ces enregistrements sont associés à des mesures du vent, sur les mâts anémométriques. Plusieurs appareils sont alors fixés à différentes hauteurs, près du sol, à hauteur du rotor de la future éolienne et, en forêt, à hauteur des cimes des arbres (KUNZ et al. 2007). L'utilisation d'enregistreurs Anabat permet ainsi d'enregistrer les données pendant toute la durée de la saison.

Outre la possibilité de mesurer l'activité des chauves-souris sur le site concerné, il est également possible d'enregistrer l'activité sur une éolienne située à proximité. Pour les projets de repowering, il est préférable de réaliser les mesures sur les installations existantes. Même si les hauteurs de moyeu sont dans ce cas généralement plus faibles que pour l'éolienne future, la détection de l'activité en hauteur est probablement plus appropriée pour établir un pronostic du risque de collision, que celle réalisée au sol. De plus, l'enregistrement des données sur l'éolienne existante permet également, dans une certaine mesure, de tenir compte d'un possible effet attractif des éoliennes, ce qui constitue une hypothèse pour expliquer le risque de collision (CRYAN et BARCLAY 2009).

Cet éventuel effet attractif est également pris en compte si les mesures de l'activité sont réalisées sur des installations situées à proximité des éoliennes prévues. L'étude réalisée par nos soins sur deux éoliennes par parc éolien, a montré que la variété des espèces et l'apparition dans le temps des différentes espèces (p. ex. le transit de *P. nathusii*), étaient tout à fait comparables pour les deux installations (cf. BRINKMANN et al. 2011).

Même si les valeurs quantitatives de l'activité sont transposables dans une mesure plus restreinte, cette approche s'est révélée plus fiable que celle consistant à se baser sur les activités mesurées au pied du mât, pour tirer des conclusions sur les activités à hauteur de la nacelle. Pour les estimations de l'activité à hauteur de la nacelle basées sur les mesures réalisées au pied du mât, 10 à 30 % des cas se trouvaient dans la zone de tolérance (50 à 150 % de la valeur réelle, cf. BEHR et al. 2011b), tandis que pour la transposition d'une éolienne à une autre du même parc, 20 à 50 % des cas se situaient dans cette zone de tolérance.

Selon nos données, la fiabilité de la transposition de l'activité moyenne des chauves-souris d'une installation à une autre dans le même parc éolien, a augmenté avec le nombre de nuits passées à réaliser les mesures. Là aussi, il est donc préférable d'enregistrer l'activité sur toute la durée de la saison, soit de début avril à fin octobre, pour atteindre un résultat optimal. Même si nous ne l'avons pas explicitement vérifié sur l'ensemble de nos données, nous partons du principe que plus le lieu d'implantation de l'éolienne future est proche de celui de l'éolienne existante, et plus les installations se ressemblent globalement, plus les résultats sont transposables (influence des paramètres de l'installation cf. NIERMANN et al. 2011b).

Recommandations opérationnelles :

- Si le risque de collision des chauves-souris pour un site donné avant la construction des éoliennes doit être identifié, nous recommandons d'enregistrer l'activité, si possible, sur des nacelles d'installations voisines (p. ex. dans le même parc éolien ou dans un parc éolien voisin) ou, dans le cas du repowering, sur les installations à remplacer.
- En l'absence de ce type de structures, il est possible de réaliser des enregistrements au sol à l'aide d'enregistreurs automatiques. Les résultats obtenus seront probablement meilleurs si les enregistreurs peuvent être fixés sur des mâts érigés à cet effet, ou sûr des mâts anémométriques déjà en place sur le site en question, y compris à une hauteur plus importante.
- Il est préférable de relever l'activité des chauves-souris sur toute la période d'avril à octobre, afin de prendre en compte les pointes d'activité qui ne durent que quelques nuits, p. ex. lors du transit des *P. nathusii*, particulièrement pertinentes pour l'évaluation du lieu d'implantation.
- Il faudrait mettre au point des standards méthodologiques pour l'utilisation d'enregistreurs et de détecteurs, afin de pouvoir comparer les données de différents sites avant et après la construction des éoliennes. Pour ce type d'acquisition de données, nous conseillons d'utiliser des appareils Anabat ou Batcorder, réglés sur la même sensibilité que celle utilisée pour relever l'activité sur la nacelle.
- Outre la détection automatique de l'activité des chiroptères, nous recommandons de continuer à recenser les gîtes de mise bas, de reproduction et d'hivernage des espèces particulièrement menacées par le risque de collision, dans le périmètre du lieu d'implantation prévu, car la présence de ces gîtes présage souvent une forte activité de chauves-souris aux alentours. (cf. p. ex. RODRIGUES et al. 2006).

Questions non résolues :

- Il faudrait mettre au point, standardiser et, dans la mesure du possible, prescrire de façon obligatoire des standards méthodologiques sous forme de convention entre les experts et les autorités compétentes pour délivrer les autorisations.
- Nous suggérons de centraliser dans une base de données unique les données acquises de façon standardisée lors des études préliminaires, ou encore dans le cadre d'analyses de l'activité des chauves-souris après la mise en service des éoliennes. Une évaluation centralisée des données, déclinée par zone naturelle, pourrait permettre à moyen terme, au regard de la distribution spatiotemporelle des espèces pertinentes de chauves-souris, d'atteindre un état des connaissances suffisant pour évaluer le risque de collision. Une base de connaissances pourrait voir le jour, similaire à celle qui existe pour les valeurs anémométriques. Dans le cadre des projets d'implantation d'éoliennes, ces valeurs se basent aujourd'hui déjà prioritairement sur les données existantes relatives aux parcs éoliens situés à proximité.
- Pour vérifier l'exactitude des pronostics des études préliminaires, nous suggérons de réaliser, dans le cadre d'autres recherches et à titre exemplaire, des études avant/après.

- Pour tenir compte du caractère variable de l'activité des chauves-souris, ces études devraient être menées sur une durée de quatre à cinq ans, afin de couvrir les deux années précédant la construction des éoliennes, et les deux années suivant leur mise en service.
- Concrètement, il peut également être utile de comparer les résultats d'études préliminaires aux données relevées dans les nacelles durant la première année d'exploitation, en particulier s'il est possible de regrouper, pour un échantillon conséquent, les analyses réalisées sur plusieurs sites.
- Il reste également à étudier si le risque de collision est corrélé à la densité d'activité mesurable des chauves-souris aux abords des éoliennes. Si une telle corrélation était établie, il serait envisageable de créer, sur la base de la détection des différentes densités d'activité spatio-temporelles et, éventuellement, d'une modélisation des variables paysagères déterminantes pour l'intensité de l'activité (présence de certains types d'habitat, altitude, etc.), la possibilité d'un pilotage à grande échelle des lieux d'implantation d'éoliennes, p. ex. dans le cadre de la définition de zones prioritaires à l'échelle régionale.

4.1.2 Recherche de victimes de collision

La recherche de victimes de collision est la seule méthode permettant d'analyser directement les collisions de chauves-souris avec les éoliennes. Largement répandue dans la pratique, la recherche de victimes de collision est utilisée depuis de nombreuses années pour identifier le risque de collision aux abords des éoliennes existantes.

Toutefois, pour la recherche de victimes de collision comme d'ailleurs pour la détection acoustique de l'activité des chauves-souris, il n'existe à ce jour aucun standard méthodologique d'application générale. Depuis le milieu de cette décennie, il existe cependant des recommandations claires quant aux aspects méthodologiques à prendre en compte pour la recherche de victimes de collision (cf. ARNETT et al. 2005, NIERMANN et al. 2007, RODRIGUES et al. 2006). Malgré ce fait, les recherches de victimes de collision réalisées aujourd'hui sont encore souvent insuffisantes sur le plan de la méthodologie et, partant, pratiquement sans valeur pour la conception de projets éoliens et pour l'évaluation de sites potentiels.

Pour identifier le nombre réel de chauves-souris entrées en collision avec une éolienne, il est indispensable, dans le cadre de la recherche des victimes de collision, de tenir compte des erreurs méthodologiques suivantes :

- le pourcentage de la surface prospectable sous une éolienne est à déterminer globalement, et à différencier selon plusieurs catégories de visibilité permettant de retrouver plus ou moins vite les chauves-souris mortes ;
- l'efficacité des « chercheurs de cadavres » est à déterminer à titre individuel et pour les différentes catégories de visibilité ;
- le taux de persistance des cadavres de chauves-souris dans les aires de recherche est à identifier sur toute la période de recherche.

La prise en compte de ces erreurs en partie méthodologiques permet de calculer par extrapolation le nombre effectif prévisible de chauves-souris tuées. À cet effet, nous avons développé une nouvelle formule optimisée pour les conditions de recherche en Allemagne (cf.

NIERMANN et al. 2011a), qui fournit des valeurs nettement plus précises et, partant, plus réalistes, que les formules utilisées jusqu'à présent sur le terrain.

Associée au taux de persistance des cadavres, la durée des intervalles de recherche a une incidence particulièrement grande sur la probabilité de trouver des cadavres de chauves-souris. Dans les études menées par nos soins ainsi que dans d'autres recherches systématiques réalisées en Allemagne (p. ex. BRINKMANN et al. 2006, BEHR et HELVERSEN 2005), le taux de persistance était relativement faible. Si l'on part du principe que ces valeurs peuvent être appliquées à d'autres installations, il faudra en général, pour obtenir des données pertinentes et fiables, déterminer des intervalles courts de recherche, p. ex. tous les jours, ou tous les deux à trois jours.

Dans une certaine mesure, il est possible de compenser des conditions de recherche défavorables, telles qu'un faible pourcentage de surface prospectable, par un autre facteur, par ex. une intensité de recherche élevée, pour réduire la marge d'erreur du calcul du nombre effectif de victimes de collision. Si la surface prospectable sous une éolienne est petite (moins de 20 % dans un rayon de 50 m sous l'éolienne), la recherche donne des résultats très peu fiables. Même pour des surfaces prospectables couvrant jusqu'à 40 % du rayon de recherche, les extrapolations seront de qualité moyenne si le taux de persistance des cadavres est supérieur ou égal à 80 %, une valeur rarement atteinte dans de nombreuses études. Il faut que l'aire de recherche représente plus de 60 % du rayon de recherche et que dans le même temps le taux de persistance des cadavres soit élevé, pour qu'il soit possible de réaliser des projections de bonne qualité (cf. NIERMANN et al. 2011a).

En raison des restrictions évoquées, l'un des objectifs du projet de recherche était de mettre au point une démarche alternative pour identifier le nombre de victimes de collision avec une éolienne, sur la base de la détection acoustique à hauteur de la nacelle et de la déduction du nombre de victimes de collision en fonction de l'activité acoustique. Cette démarche permet de déterminer assez précisément le nombre de victimes de collision, y compris lorsque les conditions de recherche sont mauvaises, notamment en raison de la faible dimension des aires de recherche sous les éoliennes et, partant, lorsque le calcul du nombre de victimes de collision manque de fiabilité. Cette procédure est présentée au chapitre 4.5.

Recommandations opérationnelles :

- Pour réaliser une recherche de victimes de collision, il convient de recourir au protocole standard mis au point par NIERMANN et al. (2011a).
- Pour chaque recherche de victimes de collision, il est indispensable d'identifier les erreurs méthodologiques (taux de persistance, efficacité de la recherche, pourcentage des surfaces prospectable et prospectée) et d'en tenir compte pour le calcul du nombre de victimes de collision.
- Pour les tests visant à identifier les taux de persistance, il est également possible d'utiliser des souris domestiques. Ces dernières peuvent être utilisées à titre de leurre pour évaluer l'efficacité de la recherche.
- Pour une hauteur de moyeu inférieure ou égale à 110 m, nous estimons qu'un rayon de 50 m autour du pied du mât est suffisant.
- En Europe centrale, les taux de persistance des cadavres sont, pour beaucoup de sites, très faibles. Pour cette raison, il est souvent nécessaire de prévoir des intervalles de recherche brefs.

- Pour calculer le nombre effectif de victimes de collision sur la base du nombre de chauves-souris trouvées, nous avons mis au point une nouvelle formule spécialement adaptée à la situation en Allemagne (cf. NIERMANN et al. 2011a) qu'il convient d'utiliser dans tous les cas.
- Pour identifier un nombre réaliste de victimes de collision, il est nécessaire de réaliser une recherche de cadavres pour toutes les périodes d'activité de chauves-souris sur le site concerné. Afin de pouvoir évaluer le nombre de victimes de collision, il faut notamment enregistrer les pics d'activité de courte durée des chauves-souris aux abords des éoliennes. Pour une identification exhaustive du nombre de victimes de collision, il est donc nécessaire de réaliser des recherches de victimes de collision sur une durée s'étendant sur toute la période d'activité.
- Si les recherches de victimes de collision sont réalisées en association avec une procédure de mesures acoustiques ou que l'on doit éventuellement vérifier ces mesures (qui peuvent permettre d'indiquer le nombre de victimes de collision), il peut être suffisant de réaliser ces recherches sur une courte durée (p. ex. durant 6 à 8 semaines), et pendant les périodes de l'année (p. ex. de mi-avril à mi-mai ou de mi-juillet à fin septembre) généralement associées au plus grand nombre de victimes de collision.
- Si, pour un site donné, la recherche de victimes de collision n'est possible qu'avec un grand investissement financier et humain, il convient de vérifier si la détection acoustique et l'estimation du nombre de victimes de collision, sur la base de l'activité acoustique mesurée, peuvent être réalisées à moindre frais.
- Dans les cas où les conditions spécifiques d'un site (p. ex. aires de recherche faiblement dimensionnées) ne permettent pas de réaliser une extrapolation de qualité moyenne, le suivi acoustique donne dans tous les cas de meilleurs résultats.

Questions non résolues :

- Dans la plupart des études, le dépôt des cadavres d'animaux destinés à déterminer leur taux de disparition se fait à l'aube, de même que le début des recherches de victimes. Nous suggérons de vérifier par des études scientifiques si un dépôt le soir permettrait de mieux estimer le taux de disparition de cadavres de chauves-souris.
- On pourrait vérifier, outre la distance entre les surfaces prospectables et le mât, si leur position par rapport au mât et à la direction dominante du vent a une incidence sur l'extrapolation.
- On en sait très peu sur les variations saisonnières du taux de persistance des cadavres aux abords des éoliennes, il faudrait les étudier de plus près au regard de leurs effets sur les extrapolations.
- Nous recommandons en outre de vérifier à titre exemplaire dans le cadre d'un projet de recherche, quels prédateurs sont responsables de la disparition des cadavres de chauves-souris. Pour ce faire, des pièges photographiques peuvent être utilisés, à l'instar de ce qui se fait pour le recensement des grands et moyens mammifères. Sur la base des résultats, des mesures pourront être mises au point pour augmenter le taux souvent très bas de persistance, grâce à une défense contre les prédateurs identifiés.

4.1.3 Détection acoustique dans la zone de la nacelle

L'un des objectifs de ce projet de recherche était l'établissement d'une détection acoustique dans la zone du rotor des éoliennes. L'approche méthodologique devait être suffisamment simple pour permettre une application large. De plus, il devait être possible de standardiser la méthode de telle manière, qu'il devienne possible de comparer les résultats obtenus sur différentes installations, et à l'aide d'appareils différents (du même type). Il s'agissait en particulier de permettre aux utilisateurs de collecter des données qui puissent être comparées avec l'ensemble très vaste de données collectées dans le cadre de ce projet de recherche.

Parmi les détecteurs disponibles dans le commerce pour la détection acoustique de l'activité des chiroptères, nous avons testé et comparé Anabat SD1 de la société Titley Electronics (ci-après « SD1 »), et Batcorder de la société EcoObs (ci-après « BC »), en conditions de laboratoire et sur des éoliennes (cf. BEHR et al. 2011a). D'autres appareils, tels que Avisoft-UltraSoundGate (société Avisoft Bioacoustics) et D1000X (société Pettersson Elektronik AB) ont été écartés en raison d'un coût d'acquisition trop élevé. Un autre système proposé par la société Laar Bioacoustics Equipment n'était pas disponible dans le commerce pendant la période des tests. Aujourd'hui, d'autres appareils (p. ex. D500X Pettersson Elektronik AB) spécialement conçus pour la détection acoustique automatique des cris de chauves-souris, sont disponibles sur le marché.

Les deux détecteurs que nous avons testés peuvent être utilisés pour la détection acoustique automatique dans les nacelles des éoliennes, et fournissent des résultats exploitables. Les avantages de BC sont un meilleur système de calibrage (garanti uniquement pour BC par le fabricant), et la possibilité d'automatiser, et donc d'objectiver, une plus grande partie des étapes d'évaluation de l'analyse des cris. Les avantages de SD1 sont un coût moindre et des temps d'arrêts réduits en cas d'installation dans une éolienne. Comme il fallait s'y attendre, les caractéristiques des microphones sont différentes. Néanmoins, les deux détecteurs enregistrent à peu près le même nombre de passages de chauves-souris dans la zone du rotor d'une éolienne, comme l'ont démontré les mesures optiques réalisées à l'aide de caméras thermiques infrarouges pour valider les détecteurs (ADOMEIT et al. 2011). Au début du projet, la possibilité de consulter à distance l'état de l'appareil n'était disponible que pour BC (un système de consultation développé pour le compte du fabricant à l'aide du système Scada d'ENERCON). Pour cette raison, nous avons choisi ce système pour l'échantillonnage conséquent réalisé sur des éoliennes en 2008.

Aujourd'hui, le fabricant de BC propose un kit éolienne spécifique qui comprend également la possibilité de consulter l'état du système à distance via le réseau de téléphonie mobile. De plus, Anabat SD1 permet aujourd'hui en principe, outre la consultation à distance de l'état du système, le transfert quotidien des fichiers de cris enregistrés sur un serveur externe, via le réseau de téléphonie mobile. Comme ces deux possibilités de consultation à distance n'étaient pas encore disponibles au moment de la collecte des données dans le cadre de ce projet de recherche, nous ne les avons pas testées.

Nous avons exploité et traité en parallèle les ensembles de données fournies par SD1 et par BC. Ainsi, le calcul du nombre de victimes de collision a été réalisé sur la base des données acoustiques des deux systèmes d'enregistrement. Deux systèmes équivalents sont donc disponibles pour l'utilisation sur le terrain.

Recommandations opérationnelles :

- Pour la détection acoustique automatique de l'activité des chiroptères, nous recommandons d'utiliser les détecteurs Anabat SD1 ou Batcorder. Pour déterminer le nombre de victimes de collision pour une éolienne, il est généralement toujours nécessaire de prévoir un échantillonnage couvrant au moins la période de début avril à fin octobre (cf. également chapitre 4.5).
- Pour transposer la corrélation identifiée dans le cadre de ce projet de recherche, entre l'activité acoustique et le nombre de victimes de collision sur les nouveaux lieux d'implantation d'éoliennes, il faut obligatoirement installer et exploiter les appareils dans l'éolienne de la même façon que cela a été fait pour ce projet de recherche. Les appareils à installer doivent notamment avoir la même sensibilité que ceux utilisés pour le projet de recherche. De ce fait, un calibrage de tous les appareils est indispensable.
- Pour l'installation de détecteurs dans la nacelle d'une éolienne, il faut respecter certains détails techniques parfois ardues. Pour cela, veuillez vous référer à la notice d'installation déjà publiée (http://www.umwelt.uni-hannover.de/fledermaeuse_wea.html).
- L'installation elle-même requiert dans tous les cas l'assistance d'une équipe du SAV du fabricant des éoliennes concernées, car elle nécessite d'intervenir sur la coque extérieure de l'éolienne.

Questions non résolues :

- Pour l'heure, le calibrage de SD1, indispensable pour pouvoir utiliser les valeurs de référence identifiées dans le cadre du projet de recherche, n'est possible qu'à l'aide de l'appareil de référence utilisé dans le cadre du projet de recherche. Pour cette raison, l'utilisation de SD1 nécessite la mise au point d'autres possibilités de calibrage, par exemple par le fabricant, à l'instar de Batcorder.
- En principe, il est également envisageable d'utiliser les deux appareils standard dans une autre configuration, ou d'utiliser des appareils totalement différents pour la détection acoustique automatique dans les éoliennes. Toutefois, pour utiliser une approche méthodologique différente de celle présentée ici, il faut quantifier les effets qui en résultent par des mesures réalisées en parallèle à l'aide de la démarche choisie par nous, d'une part, et à l'aide de la démarche divergente, d'autre part.
- Les mesures effectuées dans le cadre du projet de recherche ont été réalisées exclusivement sur quelques types d'éoliennes de la société ENERCON. Il faut donc vérifier, pour des types d'éoliennes plus récents (p. ex. E 101), si les systèmes de détection peuvent être montés et exploités de la façon décrite.
- Cette exigence de vérification vaut à plus forte raison pour les éoliennes d'autres fabricants, notamment pour les éoliennes avec multiplicateur. Nous avons eu des retours du terrain selon lesquels certaines éoliennes avec multiplicateur produisent tellement de bruits parasites, qu'il n'est pas possible d'utiliser efficacement Anabat SD1 (contrairement à BC) avec les réglages utilisés dans le cadre de ce projet de recherche. Il est donc important de tester et d'adapter les systèmes de détection sur d'autres types d'éoliennes, éventuellement en coopération avec les fabricants concernés.

Jusqu'à présent, seules quelques mesures de validation par caméra thermique ont été réalisées pour évaluer l'enveloppe de détection des capteurs acoustiques, qui n'ont détecté, à une exception près, que des individus du groupe nyctaloïde (ADOMEIT et al. 2011). Pour cette raison, nous suggérons d'étendre ces mesures, dans le cadre d'un autre projet de recherche, aux lieux d'implantation affichant une forte activité de *P. pipistrellus* et de *P. nathusii*, afin d'identifier également les zones de détection de ces deux espèces. Il serait bon que ces mesures comprennent également des nuits à vents forts, afin de vérifier encore la corrélation entre la portée des détecteurs et le vent.

4.2 Espèces de chauves-souris concernées, nombre de victimes de collision par éolienne et hypothèses sur le risque de collision

Notre travail nous a permis de confirmer que seules certaines espèces de chauves-souris sont concernées, à un niveau non négligeable, par les collisions avec les éoliennes. Les 100 chauves-souris que nous avons trouvées dans le cadre de nos recherches de cadavres, appartenaient à sept espèces différentes. La première espèce en nombre était *P. nathusii*, avec 31 animaux trouvés, suivie par *N. noctula* avec 27 individus, puis *P. pipistrellus*, *N. leisleri*, *E. serotinus* et *V. murinus* (cf. NIERMANN et al. 2011a). Les résultats obtenus dans le cadre de notre étude, sur un choix d'éoliennes situées dans différents espaces naturels d'Allemagne, s'accordent très bien avec les données collectées de façon plus ou moins aléatoire pour le répertoire national centralisé des victimes de collision. Les résultats de notre recherche de victimes de collision s'accordent également très bien avec ceux obtenus grâce à la détection acoustique sur un échantillon bien plus conséquent. Globalement, on peut donc considérer ces résultats comme fiables.

Pour les 59 victimes de collision que nous avons trouvées aux mois de juillet et août des deux années de l'étude, nous avons pu identifier s'il s'agissait d'animaux subadultes ou adultes. Pour les *P. nathusii*, il y a eu nettement plus d'animaux adultes que subadultes, alors que pour toutes les autres espèces, la plupart des animaux trouvés étaient subadultes (notamment *N. noctula* avec un rapport animaux adultes/animaux subadultes de 1 à 5,3 et *N. leisleri* avec un rapport de 1 à 2,5 – cf. NIERMANN et al. 2011a).

Une partie des animaux trouvés présentaient des blessures externes, d'autres n'avaient à l'inverse pas de blessures visibles. Comme cela a déjà été identifié dans d'autres études, les blessures externes sont très probablement liées à un contact direct avec les pales du rotor, tandis que les animaux sans lésions externes présentent des blessures internes provoquant la mort (cf. p. ex. BRINKMANN et al. 2006). On suppose que les blessures internes peuvent être provoquées par des effets de sillage aux abords des rotors. Nos analyses thermo-optiques nous ont permis d'observer comment un animal ayant été pris dans le sillage du rotor, a poursuivi ensuite son vol dans le champ de vision des caméras (ADOMEIT et al. 2011).

Les éoliennes que nous avons étudiées étaient très inégales en termes de risque de collision. Pour le nombre de chauves-souris trouvées mortes et, partant, pour les résultats de l'extrapolation des données issues de la recherche de victimes de collision, de très grandes différences ont été constatées en fonction du lieu d'implantation. Ces grandes divergences ont été confirmées par les chiffres de victimes de collision calculés sur la base des données acoustiques enregistrées.

Un calcul du nombre de victimes de collision a été établi par extrapolation du nombre de chauves-souris effectivement trouvées au pied des éoliennes (cf. chapitre 4.1.2 pour la méthode utilisée). Selon ce calcul, 9,5 (valeur moyenne) ou 6,0 (valeur médiane) chauves-souris, ont heurté en moyenne chaque éolienne pendant la durée de l'étude, réalisée de juillet à septembre (92 jours). La fourchette allait de 0 à 57,5 animaux (NIERMANN et al. 2011a).

L'étroite corrélation que nous avons mise en évidence entre la présence de victimes de collision et l'activité mesurée dans la zone de la nacelle, nous a permis de mettre au point un modèle permettant d'estimer le nombre de chauves-souris probablement tuées sur la base des valeurs d'activité (*mixture-model*, modèle statistique utilisant la densité mélange, cf. KORNER-NIEVERGELT et al. 2011).

Pour les éoliennes aux abords desquelles nous avons effectué des recherches de victimes de collision, nous avons ainsi également déterminé le nombre de victimes de collision sur la base des valeurs d'activité acoustique, et comparé les deux valeurs pour une période donnée identique. Sur la base des données acoustiques, nous avons identifié respectivement seulement 5,04 (valeur médiane) et 6,02 (valeur moyenne) victimes de collision aux abords des éoliennes, la fourchette allant de 0,4 à 20,5. Les données de comparaison collectées grâce aux enregistrements acoustiques se situaient donc globalement un peu en dessous de celles collectées grâce à la recherche de victimes de collision.

Les chiffres mentionnés de chauves-souris tuées se réfèrent aux trois mois de juillet à septembre, cette période correspondant à la plus forte intensité d'échantillonnage. Toutefois, pour évaluer le risque de collision pour un site donné, il est nécessaire d'identifier le nombre de victimes de collision sur toute la période d'activité. Pour cette raison, nous avons calculé le nombre de victimes de collision sur la base des enregistrements de l'activité acoustique pour une période allant d'avril à octobre (200 jours). Pour cette période, une moyenne d'environ 12 (1 à 40) victimes de collision par éolienne et par an a été identifiée pour les éoliennes que nous avons étudiées (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011).

Le calcul du nombre de victimes de collision sur la base des données d'activité acoustique ne tient pas compte des deux phénomènes de regroupement (*swarming*) de *P. pipistrellus* constatés dans la zone de la nacelle des éoliennes concernées. Comme ces valeurs d'activité extrêmement élevées par vent faible ont provoqué des distorsions pour l'analyse par vent fort, elles ont été écartées de l'ensemble des données. Dans les deux cas, le vent était relativement faible et les rotors bougeaient à peine (BEHR et al. 2011b), ce qui nous a laissé supposer que le risque de collision était faible. Toutefois, il fallait en principe s'attendre à ce que le risque de collision soit particulièrement élevé en raison de l'activité très forte pendant ces périodes. Il se peut que le phénomène de regroupement (*swarming*) soit également à l'origine de l'apparition accrue de victimes de collision en une seule nuit, comme cela a été constaté lors de différentes recherches de victimes de collision (cf. p. ex. SEICHE et al. 2008, 14 décès de *N. noctula* en une seule nuit dans la lande de Muskau, Saxe).

Aussi, les chiffres de victimes de collision que nous avons calculés sur la base de données acoustiques sont à considérer comme estimations conservatrices. La large fourchette de 1 à 40 victimes par éolienne et par an, montre qu'il y a en réalité de très grandes différences d'un site à l'autre en ce qui concerne le risque de collision pour les chauves-souris, et qu'il est donc indispensable d'identifier le risque de collision au cas par cas par des analyses spécifiques au site concerné.

Les résultats de nos recherches ne permettent pas de donner une réponse univoque à la question de savoir pourquoi des chiroptères entrent en collision avec les éoliennes. CRYAN et BARCLAY (2009) déclinent les hypothèses discutées en trois catégories : les interactions aléatoires avec les éoliennes, le fait que certains comportements des chauves-souris les exposent à un risque accru (p. ex. flux migratoires au-dessus de lieux d'implantation d'éoliennes), et l'effet attractif des éoliennes (p. ex. en tant que lieu possible de gîte). Nous supposons qu'aucune des hypothèses actuellement débattues ne permet à elle seule d'expliquer le phénomène. Nos résultats ont donné des indications pour les trois hypothèses.

Sans doute est-il possible que les éoliennes aient un effet attractif. Les observations thermo-optiques ont permis de documenter l'approche d'un animal se dirigeant vers la nacelle (ADOMEIT et al. 2011). HORN et al. (2008) ont montré que des chauves-souris inspectaient des rotors arrêtés ou tournant à peine. Pendant la durée de l'acquisition de nos nombreuses données acoustiques, nous avons pu enregistrer, sur plusieurs heures d'affilée pendant deux nuits, une activité très forte de pipistrelles communes dans la zone de la nacelle. Nous avons interprété cette activité comme un comportement d'essaimage, habituel pour cette espèce lors de l'exploration de gîtes (BEHR et al. 2011b).

De plus, nos résultats ont montré très clairement que le risque de collision est particulièrement élevé lorsqu'une activité importante de chauves-souris est constatée dans la zone du rotor. Une forte densité de chiroptères peut être constatée à proximité de gîtes (de mise bas ou d'hivernage) et dans des espaces temporairement riches en nourriture, qui peuvent être importants pendant la période de reproduction comme en phase de migration. Nous supposons que ces faits peuvent expliquer au moins en partie les variations importantes d'un site à l'autre que nous avons observées. Cela explique peut-être également les variations importantes d'un espace naturel à l'autre que nous avons constatées quant à l'activité et à la présence de victimes de collision. Selon cette théorie, l'activité acoustique moindre observée par ex. aux abords des éoliennes étudiées dans l'espace naturel du Geest dans la région de Frise orientale et d'Oldenbourg, serait le résultat d'une densité globalement plus faible d'espèces de chauves-souris pertinentes dans cet espace naturel, que p. ex. dans la région de Haute Lusace, où nous avons relevé des densités élevées de chauves-souris, et un nombre également important de victimes de collision aux abords des éoliennes étudiées. De plus, l'activité plus faible mesurée sur un site peut aussi être due au fait que la vitesse moyenne du vent y est plus élevée.

Par ailleurs, plusieurs éléments portent à croire que les chauves-souris, notamment les *P. nathusii*, les *N. noctula* et les *N. leisleri*, sont également présentes en fortes densités dans certains paysages lors des périodes de migration (sur la côte et au-dessus de la Mer Baltique cf. AHLÉN et al. 2007, dans certaines régions de moyenne montagne ou en bordure des Alpes, sur les cols ou les crêtes). Nous n'avons peut-être pas suffisamment recensés ces sites dans le cadre de notre étude, ni dûment représenté le phénomène qui y est associé.

Recommandations opérationnelles :

- En raison du nombre de victimes de collision constaté, il faut probablement s'attendre à ce qu'il y ait, sur certains sites, un risque de collision significativement accru au sens de la réglementation en matière de protection des espèces. Par conséquent, il est nécessaire d'identifier le risque de collision pour chaque site individuellement et, le cas échéant, de prendre des mesures d'évitement.

- Nous recommandons aux concepteurs de projets de se concentrer, lors du choix du lieu d'implantation, sur les espèces de chauves-souris considérées ici comme menacées par le risque de collision : *N. noctula*, *N. leisleri*, *E. serotinus*, *V. murinus*, *P. pipistrellus*, *P. nathusii* et *P. pygmaeus*. Selon nos données, le risque de collision avec une éolienne est négligeable pour toutes les autres espèces, p. ex. pour les espèces du genre *Myotis*.
- En ce qui concerne le risque de collision, il existe de très grandes variations d'un site à l'autre, parfois même d'une éolienne à l'autre dans un même parc éolien. Aussi, il est nécessaire de considérer chaque site séparément.

Questions non résolues :

- Pour certaines espèces, on ne sait pas s'il convient de les classer parmi les espèces menacées par le risque de collision. C'est le cas notamment pour les espèces *B. barbastellus*, *P. kuhlii* et *E. nilssonii*, classées comme sensibles en raison de leur écologie et de leur comportement (p. ex. chasse dans l'espace aérien libre), mais peut-être insuffisamment représentées dans les études réalisées jusqu'ici en raison de leur rareté et/ou de leur répartition limitée. Pour le choix d'un lieu d'implantation d'éoliennes dans l'aire de répartition de ces espèces, il convient donc de prendre également en compte ces espèces.
- Le comportement migratoire des *P. nathusii*, des *N. leisleri* et des *N. noctula*, probablement également des *V. murinus*, est sans doute une importante source potentielle de conflits. Il est nécessaire de réaliser d'autres recherches sur le comportement migratoire, notamment en ce qui concerne d'éventuels espaces de regroupement ou goulets d'étranglement durant la migration, p. ex. le long des côtes, au-dessus de la Mer Baltique, au niveau des cols en moyenne montagne ou en bordure nord des Alpes.

4.3 Le risque de collision en fonction de paramètres d'implantation et d'installation

Pour réduire le nombre de chauves-souris victimes de collision aux abords des éoliennes, il est beaucoup question depuis plusieurs années de l'influence possible de certaines caractéristiques des installations ou du paysage sur le niveau d'activité et, partant, sur le risque de collision des chauves-souris avec les éoliennes. Afin de protéger les chiroptères, des distances minimales à respecter pour la construction d'éoliennes ont été définies pour un certain nombre de types d'habitat et d'espaces fonctionnels. En général, ces distances ont été définies suivant un principe de précaution. Ces règles relatives aux distances à respecter ne sont que très rarement fondées empiriquement. Sur la base d'un vaste ensemble de données collectées dans le cadre de ce projet de recherche, qui intègre les données relatives à 68 éoliennes ayant fait l'objet d'analyses acoustiques, seule l'influence de certaines variables des installations et du paysage sur l'activité des chauves-souris a pu être vérifiée à l'aide d'analyses statistiques.

Les résultats des analyses ont montré que la vitesse du vent et la température ont une influence considérable sur l'activité des chauves-souris au niveau des nacelles des éoliennes. Le mois et l'espace naturel jouent également un rôle important dans l'activité des chauves-souris. Pour les autres variables du paysage, seule la mesure de l'écartement, c'est-à-dire de la distance entre les installations et les bois ou bosquets, s'est révélée avoir dans tous les périmètres étudiés une influence significative, bien que faible, sur l'activité des animaux.

L'activité des chauves-souris diminue en effet légèrement au fur et à mesure que la distance aux bois ou bosquets augmente (cf. NIERMANN et al. 2011b). Pour les installations que nous avons étudiées, cet effet était cependant à peine significatif, et son importance, notamment comparée à l'influence de la vitesse du vent, était faible. Pratiquement, le fait d'éloigner une éolienne située à proximité immédiate de bois ou de bosquets pour la placer à une distance de 200 m entraîne, selon notre modèle, une réduction de l'activité de chauves-souris attendue de 10 à 15 % en moyenne. Les effets d'évitement dans la mesure escomptée jusqu'à présent, ne peuvent donc être obtenus en respectant des distances relativement faibles, telle que celle de 150 m recommandée par DÜRR et BACH (2004), à laquelle il convient d'ajouter le rayon du rotor. S'il est possible de diminuer le risque de collision en respectant une certaine distance entre les installations et les bois ou bosquets, ce n'est pas pour autant très efficace. Une exploitation des installations respectueuse des chiroptères permet toutefois de réduire ce risque de façon beaucoup plus directe (cf. chapitre 4.4).

Dans certains périmètres, la distance de l'éolienne aux paramètres paysagers « zones humides » et « mosaïque d'habitats » a également eu une influence significative sur l'activité des chauves-souris. Du point de vue écologique, cette relation ne serait pas surprenante, car la plupart des espèces tuées aux abords des éoliennes, aux États-Unis (JAIN et al. 2007) comme en Europe centrale, montrent une activité accrue dans les zones humides, notamment lorsque ce type d'habitat est localement imbriqué dans des cours ou plans d'eau (DIETZ et al. 2007). Les pourcentages de surface occupée par trois autres types d'habitat (forêts de conifères, mosaïque d'habitats, prairies naturelles) n'ont montré que dans certains périmètres une influence significative sur l'activité des chauves-souris, et doivent donc être interprétés avec réserve.

L'influence de la proximité de gîtes de mise-bas, d'hivernage, de reproduction ou de regroupement sur l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes, n'a pas été vérifiée dans le cadre de ce projet de recherche, par manque de données pertinentes sur la présence de gîtes de chauves-souris. Il est toutefois très probable que l'activité des chauves-souris dans les environs de gîtes soit accrue au moment de l'utilisation de ces gîtes et que cela entraîne un risque accru pour les espèces concernées par le risque de collision.

Nos analyses montrent que la seule variable étudiée en lien avec l'éolienne, à savoir la hauteur de moyeu, a également une influence significative, bien que faible, sur l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes. L'activité acoustique mesurée des chauves-souris a diminué au fur et à mesure que la hauteur de moyeu a augmenté. Pour les éoliennes que nous avons étudiées, l'activité mesurée à hauteur de la nacelle a nettement baissé, passant d'une hauteur de moyeu de 65 m à 110 m.

Recommandations opérationnelles :

- Les stratégies pour éviter les collisions de chauves-souris ne devraient pas se baser sur les seules mesures de distance à certains éléments du paysage, tels que les bois ou bosquets, car nos données montrent que l'impact est nettement plus faible que supposé jusqu'ici. Près des éoliennes situées en rase campagne, le risque de collision peut également être élevé.
- À nos yeux, une distance déterminée à certains paramètres du paysage, tels que les bois ou bosquets, ne constitue pas un critère d'exclusion pour la construction d'éoliennes. Même s'il faut dans ces cas s'attendre à une activité plus forte comparée à la rase campagne, il est là aussi possible d'éviter les risques de collision par des algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères. Ces sites nécessitent toutefois en général

des mesures d'évitement plus importantes que ceux en rase campagne.

- La méthode consistant à classer comme « sensibles », à titre préventif, certaines zones à importance particulière pour la protection des chauves-souris (cf. LANU 2008), sur la base des mesures de distance à certains types d'habitat, peut être utile pour indiquer un potentiel de risque particulier pour la construction d'éoliennes. Nous sommes toutefois d'avis qu'elle ne devrait pas exclure d'emblée une étude individuelle de lieux d'implantation potentiels.
- Les résultats obtenus sur les installations que nous avons étudiées montrent qu'il est possible de réduire le risque de collision en augmentant la hauteur de moyeu des éoliennes, tout en conservant le diamètre du rotor. Toutefois, l'augmentation de la hauteur de moyeu associée à l'augmentation du diamètre du rotor diminuerait, voire inverserait, probablement cet effet, car l'on peut supposer que le risque de collision augmente avec un diamètre de rotor plus grand.
- Globalement, les paramètres du paysage et des installations représentés n'ont qu'une faible influence sur l'activité des chauves-souris, comparés aux facteurs vitesse du vent et température. Par conséquent, les mesures visant à éviter les collisions de chauves-souris devraient se baser prioritairement sur l'influence des paramètres météorologiques. Même le fait d'opter, dans le cadre d'un projet éolien, pour un lieu d'implantation optimisée au regard des critères mentionnés (plus grande distance aux bois et bosquets, aux cours et plans d'eau et aux gîtes connus), et de construire des éoliennes avec une hauteur de moyeu très élevée ne permet probablement pas, dans beaucoup de cas, de diminuer le risque de collision dans la mesure requise.

Questions non résolues :

- La corrélation négative de la hauteur de moyeu avec l'activité des chiroptères identifiée dans le cadre de la présente étude, est en contradiction évidente avec les résultats obtenus par BARCLEY et al. (2007). L'étude mentionnée a identifié une augmentation exponentielle du nombre de victimes de collision pour les éoliennes dont la hauteur de moyeu était supérieure à 65 m, en se basant sur les données collectées en Amérique du Nord relatives à plusieurs milliers d'installations dont la hauteur de moyeu variait de 24 à 94 m. Les auteurs présumant que l'augmentation de la hauteur de moyeu fait que les rotors atteignent des altitudes davantage concernées par la migration des chauves-souris. Il faudrait vérifier s'il existe en Europe centrale des lieux d'implantation comparables, p. ex. sur les voies de migration des *P. nathusii*.
- Dans le cadre de notre étude, nous avons surtout étudié des éoliennes dont le diamètre du rotor était de 70 mètres (fourchette allant de 66 à 82 mètres) et d'une hauteur de moyeu comprise entre 63 et 114 mètres. Nous recommandons d'étudier l'impact de diamètres de rotor plus importants sur le risque de collision.
- Nous recommandons de vérifier si et dans quelle mesure l'implantation d'éoliennes à proximité de vastes gîtes d'été et d'hiver (gîtes de regroupement à forts effectifs) peut conduire à une activité accrue et, partant, à un risque de collision plus élevé.
- L'espace naturel a une influence considérable sur le niveau d'activité des chauves-souris. Nous recommandons d'identifier les facteurs responsables de ce fait, autres que ceux déjà vérifiés dans le cadre de notre étude, tel que le vent.
- Offshore, notamment au-dessus de la Mer Baltique, il existe également des voies de

migration de chiroptères. Par conséquent, les chauves-souris peuvent également entrer en collision avec des éoliennes bâties en mer. Comme le lieu ne permet pas d'effectuer des recherches de victimes de collision, la méthode mise au point dans le cadre de ce projet, basée sur la mesure de l'activité acoustique dans les nacelles, représente une bonne alternative pour vérifier le risque de collision avec les éoliennes en mer. Aussi, nous recommandons de vérifier et éventuellement de perfectionner la méthode présentée ici pour une application aux éoliennes offshore.

4.4 Incidence de la saison, de l'heure de la nuit et des paramètres météorologiques sur l'activité – Possibilités de prévision de l'activité

Connue depuis assez longtemps, la corrélation entre l'activité des chiroptères aux abords d'éoliennes et les paramètres météorologiques ainsi que l'heure de la nuit et la saison, a été identifiée dans de nombreuses études réalisées sur des éoliennes ou dans des parcs éoliens isolés (cf. p. ex. BEHR et al. 2007). Dans le cadre de nos recherches, nous avons toutefois collecté un ensemble de données comparables d'une envergure unique au monde, qui permet d'analyser exhaustivement les différents paramètres. Les résultats obtenus fournissent une base excellente pour classer et comparer les données collectées dans le cadre d'études séparées.

Pour les éoliennes que nous avons étudiées, l'activité des chauves-souris dans la zone du rotor montre un rapport de dépendance marqué avec la saison, l'heure de la nuit, la vitesse du vent, la température et les précipitations (cf. BEHR et al. 2011b).

Saison

En ce qui concerne le lien entre l'activité et le mois, d'importantes différences ont été constatées entre les (groupes d') espèces. Toutes connaissent une légère baisse d'activité de mai (début de l'étude) à juin, et une nouvelle hausse d'activité pour atteindre leur niveau maximal à la fin de l'été ou au début de l'automne (deuxième moitié de juillet à première moitié de septembre). Ce maximum était atteint dès le mois de juillet pour *P. pipistrellus*, et plus tard en août pour le groupe d'espèces nyctaloïde. Pour *P. nathusii*, la hausse automnale de l'activité a eu lieu encore plus tard, avec un maximum au mois d'août, et une activité encore forte en septembre. Cette espèce montre d'ailleurs d'importantes différences en fonction de l'espace naturel dans lequel elle se trouve.

Notre étude ne comporte pas d'observations sur le mois d'avril, mais nous avons démontré pour le mois de mai qu'il faut s'attendre à un risque non négligeable, en particulier pour les espèces *P. pipistrellus* et *P. nathusii*. On sait par ailleurs, grâce à des études réalisées dans le sud-ouest de l'Allemagne, que la migration printanière des *P. nathusii* y commence dès le début ou le milieu du mois d'avril (FIEDLER 1998, KRETZSCHMAR 2000).

L'heure de la nuit

En moyenne, l'activité des chiroptères a montré une distribution à un seul pic, avec un maximum au premier quart de la nuit, et une baisse plus ou moins constante jusqu'au lever du soleil. Sur quelques éoliennes, nous avons toutefois observé une distribution à deux pics, avec un deuxième maximum à l'aube. Des études plus anciennes réalisées au Bade-Wurtemberg ont également montré un deuxième maximum d'activité, bien que moins marqué, peu avant le lever du soleil (BEHR et al. 2007).

Les *P. nathusii* ont montré une distribution nettement différente, avec un maximum à peu près au milieu de la nuit, et une large baisse vers les heures du soir et du matin. Ce comportement divergent des *P. nathusii* par rapport au modèle des autres espèces, est pour nous un indice,

tout comme le pic d'activité tardif dans l'année et la « résistance au vent » élevée de l'espèce (voir infra), d'un comportement migratoire plutôt que de recherche de nourriture, comme ce serait le cas pour les autres espèces. Le décalage temporel de la présence de cette espèce du nord au sud, dans les espaces naturels concernés par nos échantillonnages, est un autre indice pour le comportement migratoire des *P. nathusii*.

Le vent

Pour toutes les espèces, nos données ont montré une forte baisse d'activité dans la zone du rotor des éoliennes par vents plus forts (pour des vitesses de vent supérieures à 6 ms⁻¹ et à 7 ms⁻¹, l'activité tombe respectivement à 15 % et 6 %). La vitesse de vent la plus élevée, associée à une activité de chiroptères dans la zone du rotor, était de 11,5 ms⁻¹.

Nos résultats ont montré la baisse la plus rapide de l'activité par vents plus forts pour *P. pipistrellus* (seulement 6,4 % de l'activité pour des vitesses de vent supérieures à 6 ms⁻¹). Pour cette espèce, des vitesses d'environ 6 ms⁻¹ ont été mesurées en vol de transit (KALKO 1991). Il n'est donc pas surprenant que cette espèce ne montre plus guère d'activité par vents de plus de 6 ms⁻¹.

Parmi les espèces étudiées, *P. nathusii* était par contre la plus « résistante au vent » (18 % des enregistrements supérieurs à 6 ms⁻¹). Que *P. nathusii* montre une activité encore relativement forte par vents plus forts pourrait être dû, outre une plus grande tolérance aux vitesses de vent élevées, au fait que cette espèce a montré son maximum d'activité relativement tard dans l'année, donc à un moment où la vitesse du vent est plus élevée en moyenne qu'en été. Par ailleurs, un pourcentage relativement élevé de l'activité de *P. nathusii* pourrait être lié à des mouvements migratoires et donc, dans une moindre mesure, à l'activité des insectes, laquelle baisse beaucoup par vents plus forts.

La température et les précipitations

La température et les précipitations ont également une influence importante sur l'activité des chiroptères. Notre ensemble de données montre une hausse importante de l'activité dans la plage de 10 à 25 °C. Par contre, lors de précipitations même de faible volume (brouillard ou nuages), l'activité des chiroptères baisse très fortement.

Prévision de l'activité

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous avons mis au point un modèle pour une prévision différenciée de l'activité des chiroptères sur la base des variables influentes que sont la vitesse du vent, l'effet exponentiel de la vitesse du vent, la température, les précipitations, le mois et l'heure de la nuit, auxquelles s'ajoute la mesure de l'activité des chauves-souris comme facteur spécifique à chaque site (BEHR et al. 2011c). Toutes les variables influentes testées ont eu un effet significatif sur l'activité des chauves-souris et ont permis d'améliorer le modèle de prévision. Ce modèle d'activité a permis, pour les installations étudiées, de réaliser une prévision différenciée de l'activité des chauves-souris pour différents intervalles de 10 minutes. La prise en compte des facteurs température et précipitations n'ayant toutefois que très faiblement amélioré la précision du modèle, ces facteurs ont été écartés du modèle pour des raisons pratiques.

Recommandations opérationnelles :

- Nos résultats montrent la grande influence de la vitesse du vent sur l'activité des chauves-souris. Nous en concluons que les sites exposés à des vents forts (notamment durant les mois d'été et d'automne) présentent un risque de collision plus faible en raison de l'activité également plus faible des chauves-souris. De plus, pour ces lieux d'implantation à haut rendement, une exploitation respectueuse des chiroptères entraîne des pertes de rendement relativement faibles, car non seulement les rendements y sont globalement plus élevés, mais les restrictions requises pour l'exploitation seront très probablement d'importance bien moindre.
- Dans le cadre des mesures d'activité acoustique, il faudrait davantage tenir compte de la période printemps/début de l'été, car, malgré des pics d'activité souvent marqués en plein été ou à la fin de l'été, certains sites peuvent montrer durant cette période des activités fortes de *P. pipistrellus* et de *P. nathusii*. Aussi, nous recommandons de relever l'activité des chauves-souris pendant la période d'avril à octobre.
- Dans le cas où des temps d'arrêt systématiques doivent être déterminés pour des éoliennes afin de réduire le risque de collision, p. ex. la première année d'exploitation d'une éolienne pendant laquelle des mesures d'activité sont encore réalisées pour établir un algorithme de mise à l'arrêt (cf. chapitre 4.5), il est possible de se baser sur les résultats présentés dans ce projet de recherche quant à la corrélation entre l'activité et p. ex. la vitesse du vent et la température. Si, dans le cadre d'une étude préliminaire ou sur la base de détections d'activité réalisées sur des installations voisines, des périodes présentant une activité maximale ont été identifiées pour certaines espèces (p. ex. transit de *P. nathusii*), les mises à l'arrêt peuvent aussi être différenciées en fonction de la vitesse du vent.

Questions non résolues :

- Outre les paramètres météorologiques vérifiés, la lumière de la lune pourrait également avoir une incidence sur l'activité des chiroptères. Par conséquent, nous recommandons de vérifier l'influence de la lumière de la lune sur l'activité à l'aide d'un détecteur de lumière prévu à cet effet.

4.5 Pilotage d'éoliennes respectueux des chauves-souris (algorithmes de fonctionnement)

Dans la pratique, afin de réduire le risque de collision, les algorithmes de fonctionnement souvent utilisés aujourd'hui sont simples, basés uniquement sur la vitesse du vent et sur la saison pour prévoir les périodes problématiques pour les chauves-souris. Cette démarche permet effectivement de diminuer le risque de collision de chiroptères avec des éoliennes (BEHR et al. 2006; ARNETT et al. 2009; BAERWALD et al. 2009). Dans les études citées, les éoliennes ont été arrêtées dès qu'elles passaient sous un seuil de 5 à 6,5 ms⁻¹, ou bien, la vitesse de démarrage a été augmentée via le système de commande de l'installation (la vitesse de démarrage normale des installations se situait approximativement entre 3 et 4 ms⁻¹).

L'inconvénient de cette démarche courante est que, pour des raisons de prévention de risque, les algorithmes de mise à l'arrêt sont définis de façon large et très générale. Dans le cadre de ce projet de recherche, nous avons mis au point une méthode permettant de quantifier et de réduire au cas par cas le risque de collision pour les chauves-souris aux

abords des éoliennes. Grâce à cette méthode, il est possible de réaliser une pondération quantitative des intérêts de la protection des espèces et de la production d'énergie.

Les travaux présentés ici reposent d'une part sur la prévision de l'activité des chauves-souris pour différents intervalles de 10 minutes, et d'autre part sur le calcul du chiffre de mortalité des chauves-souris à partir de la mesure de l'activité acoustique. L'association de ces deux approches méthodologiques a permis de préciser une valeur prévisionnelle du nombre de chauves-souris tuées pour une éolienne donnée et pour des périodes données. La prévision s'est basée sur les facteurs influents suivants : le mois, l'heure de la nuit et la vitesse de vent mesurée aux abords de l'éolienne (la prise en compte de la température et des précipitations pour la prévision n'a pas permis d'améliorer notablement cette dernière). La comparaison du nombre de chauves-souris tuées par rapport au rendement énergétique obtenu par l'installation, permet alors de réaliser une évaluation pondérée de différentes périodes.

Cette évaluation de différentes périodes peut être utilisée dans un algorithme de fonctionnement des éoliennes respectueux des chiroptères et à haute résolution temporelle. Cet algorithme détermine les périodes au cours desquelles le quotient de la division des pertes de rendement par le nombre prévu de chauves-souris mortes, est minimal. Durant ces périodes, l'éolienne est arrêtée, permettant ainsi d'éviter la collision de chauves-souris. Un tel pilotage de l'installation peut permettre de réduire le risque de collision des chauves-souris jusqu'à une valeur déterminée, correspondant à un chiffre moyen de chauves-souris mortes que l'on est prêt à accepter, tout en réduisant les pertes de rendement qui en résultent. Si nos résultats permettent de quantifier le risque de collision de chiroptères auquel on se résigne, la définition du seuil doit être le résultat d'un processus de pondération politico-social.

L'ensemble de données acquises dans le cadre du projet de recherche a permis de calculer des scénarios possibles d'algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères pour les éoliennes que nous avons étudiées. En utilisant les facteurs vitesse de vent, mois et heure de la nuit pour établir une prévision de l'activité des chauves-souris, ainsi qu'un seuil de p. ex. deux chauves-souris mortes pour la durée de l'étude (du 15 juin 2008 au 31 octobre 2008), les valeurs obtenues pour la perte de rendement par rapport au rendement annuel supposé de 4500 MWh, étaient les suivantes : au maximum 1,15 % (détection acoustique sur la nacelle à l'aide de Batcorder) et 1,46 % (détection acoustique à l'aide d'Anabat SD1), en moyenne respectivement 0,32 % et 0,83 %, et en valeur médiane respectivement 0,28 % et 0,75 %.

Les différences entre BC et SD1 sont liées au fait que les ensembles de données pris en compte dans l'évaluation n'étaient pas les mêmes, et non pas à une sensibilité différente ou à un calibrage différent des appareils. De ce fait, la fourchette des pertes de rendement calculées témoigne de la variation des données utilisées. En général, les algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères basés sur l'ensemble de données SD1, se traduisaient par des mises à l'arrêt un peu plus fréquentes, et surtout par des mises à l'arrêt liées à des vitesses de vent plus élevées que pour BC. Sur la base des données dont nous disposons, nous ne pouvons pas déterminer lequel des deux ensembles de données (BC ou SD1) reproduit mieux la réalité. Certains indices portent cependant à croire que le nombre de chauves-souris tuées est légèrement sous-estimé sur la base des données BC (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011). Par conséquent, les algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères basés sur l'ensemble de données SD1 permettent plus sûrement d'atteindre au moins la réduction visée du nombre de collisions de chauves-souris.

Les pertes de rendement sont relativement faibles, car les pics d'activité de chiroptères étaient corrélés à des vents faibles. Le rendement d'une éolienne augmentant approximativement à partir de la puissance trois de la vitesse du vent, l'algorithme de mise à l'arrêt arrête l'éolienne en général pendant des périodes relativement peu importantes en termes de production d'énergie.

La démarche décrite pour identifier un algorithme spécifique à l'installation peut être transposée aux installations non étudiées dans le cadre de ce projet de recherche : pour ces installations, il faut dans un premier temps mesurer l'activité spécifique des chiroptères et les facteurs d'influence à prendre en compte dans la prévision, puis, mettre au point sur cette base le modèle de prévision d'activité. Pour les éoliennes présentant la variété d'espèces typique en Europe centrale, et équipées de rotors de dimensions semblables, le modèle que nous avons calibré permet de calculer le nombre attendu de chauves-souris mortes et, éventuellement, de le limiter grâce un algorithme de fonctionnement respectueux des chiroptères.

Recommandations opérationnelles :

- Pour établir un algorithme de mise à l'arrêt pour un site donné, il faut, dans un premier temps, relever l'activité des chauves-souris aux abords d'une éolienne dans la zone du rotor, sur une période allant du mois d'avril au mois d'octobre.
- Pour ces détections, il est possible d'utiliser indifféremment les appareils SD1 ou BC. Pour l'installation et l'utilisation de ces appareils, il faut obligatoirement procéder comme décrit dans le cadre de ce projet de recherche. Ce n'est qu'à cette condition qu'il sera possible de recourir aux valeurs de référence identifiées dans le cadre de ce projet de recherche.
- Sur la base des valeurs d'activité relevées dans la zone du rotor, un algorithme de mise à l'arrêt peut ensuite être développé pour un site donné.
- En présence d'une bonne base de données, il peut être judicieux de mettre en place un modèle spécifique pour une éolienne donnée. Pour une base de données peu conséquente, il vaudra mieux en revanche utiliser les paramètres utilisés pour notre modèle global en ce qui concerne la vitesse du vent, l'heure de la nuit et le mois, et en calculant uniquement le paramètre spécifique à l'installation (c'est-à-dire le niveau d'activité de chauves-souris aux abords de l'installation concernée), sur la base du nouvel ensemble de données.
- Cet algorithme peut alors être mis en oeuvre dans le pilotage de l'installation, ce qui nécessite une collaboration étroite avec le fabricant de l'éolienne.
- En raison de la variabilité de l'activité des chiroptères d'une année à l'autre, nous suggérons de continuer la détection de l'activité des chauves-souris dans la zone de la nacelle pendant la deuxième année suivant la mise en service. Sur la base des résultats de cette deuxième année de détection, il faut alors vérifier si l'algorithme de mise à l'arrêt mis au point a permis de prévoir l'activité effective des chiroptères avec un degré de précision suffisant, et le cas échéant s'il convient de l'ajuster.
- Nous proposons en outre de vérifier, dans le cadre de projets précis, l'efficacité des algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères en réalisant des recherches de victimes de collision. Il n'est pas nécessaire de procéder ainsi pour chaque projet, il s'agit plutôt de réaliser des vérifications à titre d'exemple dans certains parcs éoliens comportant un grand nombre d'éoliennes (voir infra).

- Le calcul d'algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères suivant la procédure mise au point par nos soins, est en principe applicable à toutes les installations de taille semblable à celle des installations que nous avons étudiées. Dans ce cadre, le
- diamètre du rotor (de 60 à 70 m) constitue l'élément déterminant, la détection acoustique de l'activité selon les différentes espèces de chauves-souris ne couvrant qu'une partie de la zone du rotor. Si les paramètres que nous avons identifiés étaient appliqués à des installations dont le diamètre du rotor est plus grand, le nombre de chauves-souris mortes serait sous-estimé (et inversement pour des diamètres de rotor plus petits). Les différences en termes de hauteur de moyeu sont moins importantes, l'activité des chiroptères étant relevée dans la zone de la nacelle.
- Contrairement aux installations de la société ENERCON, les éoliennes de la plupart des autres fabricants transmettent la puissance du rotor au générateur à l'aide d'un multiplicateur. Le multiplicateur étant généralement soumis à une usure importante, un nombre accru de mises à l'arrêt et de redémarrages peut être problématique pour les éoliennes avec multiplicateur, et nécessiter un ajustement spécifique des algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères, p. ex. en prévoyant, dans le cadre du pilotage de l'installation, des intervalles de temps plus grands.

Questions non résolues :

- L'efficacité des algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères n'ayant pas encore été vérifiée, nous suggérons de les vérifier dans le cadre d'un travail de recherche ou sur une sélection de projets éoliens, en réalisant en parallèle des recherches de victimes de collision. En raison de la variabilité attendue, il faut toutefois veiller à ce que cette vérification se base sur un échantillonnage conséquent d'au moins 15 à 20 éoliennes.
- Un ensemble de données plus conséquent permettrait, à l'avenir, de calculer des algorithmes plus spécifiques pour des groupes d'espèces ou pour certaines espèces, ce qui pourrait être intéressant pour le groupe d'espèces nyctaloïde, extrêmement dominant aux abords de certaines installations. Pour les sites présentant une activité élevée de *P. nathusii*, une telle spécification de l'algorithme pourrait également permettre d'obtenir des résultats encore plus précis, en raison du modèle d'activité divergent de cette espèce (cf. BEHR et al. 2011b).
- La mise au point d'un algorithme de fonctionnement spécifique au lieu d'implantation ne peut avoir lieu qu'après la construction et la mise en service des éoliennes. À l'heure actuelle, il reste encore à définir comment intégrer cette procédure dans les différents processus d'autorisation et comment l'inscrire dans le droit. Ainsi, certaines autorisations actuellement délivrées exigent, par des dispositions annexes, qu'une détection de l'activité soit mise en oeuvre. Nous suggérons de mettre au point une procédure à suivre si possible à l'échelle nationale pour toutes les questions juridiques liées à la planification et à l'autorisation des projets éoliens.
- Il convient en outre de mettre au point des procédures qui permettraient de contrôler le respect des dispositions annexes. Ces procédures doivent, d'une part, tenir compte du respect par l'exploitant de l'éolienne des temps d'arrêt identifiés et, d'autre part, permettre à l'exploitant de vérifier lui-même les mesures de l'activité et la mise au point des algorithmes dans une démarche d'assurance qualité.

5 Références bibliographiques

- ADOMEIT, U., I. NIERMANN, O. BEHR et R. BRINKMANN (2011). Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Caractérisation de l'activité des chiroptères aux environs d'éoliennes à l'aide d'enregistrements stéréo infrarouges. Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN und M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*) - Umwelt und Raum Bd. 4, 145-176, Cuvillier Verlag, Göttingen. (*Environnement et espaces vol. 4, 145-176, éditions Cuvillier, Göttingen*)
- AHLÉN, I., L. BACH, H.J. BAAGOE et J. PETTERSSON (2007). Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. The Swedish Environmental Protection Agency, Report 5571.
- ARNETT, E. B., W. P. ERICKSON, J. KERNS et J. HORN (2005). Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines, Final report prepared for the bats and wind energy cooperative.
- ARNETT, E. B., M. SCHIRMACHER, M. M. P. HUSO et J. P. HAYES (2009). Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- BACH, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung - reale Probleme oder Einbildung? (*Chauves-souris et utilisation de l'énergie éolienne : problèmes réels ou imaginaires ?*) Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen 33: 119-124 (*Rapports ornithologiques de Basse-Saxe 33 : 199 à 124*).
- BAERWALD, E. F., J. EDWORTHY, M. HOLDER et R. M. R. BARCLAY (2009). A large-scale mitigation experiment to reduce bat fatalities at wind energy facilities. *Journal of Wildlife Management* 73 : 1077-1081.
- BARCLEY, R.M.R., E.F. BAERWALD et J.C. GRUVER (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology* 85 : 381-387.
- BEHR, O. et O. VON HELVERSEN (2005). Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.). Erlangen, Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind, Freiburg. (*Expertise relative à l'effet négatif d'éoliennes existantes sur les chiroptères chassant et migrant dans l'espace aérien libre – Contrôle d'impact relatif au parc éolien « Roßkopf » [Fribourg-en-Brisgau]*). Erlangen, expertise non publiée mandatée par regiowind, Fribourg.
- BEHR, O. et O. VON HELVERSEN (2006) : Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark "Roßkopf" (Freiburg i. Br.) im Jahr 2005 (*Expertise relative à l'effet négatif d'éoliennes existantes sur les chiroptères chassant et migrant dans l'espace aérien libre – contrôle d'impact relatif au parc éolien « Roßkopf » [Fribourg-en-Brisgau] en 2005*). Erlangen, expertise non publiée mandatée par

regiowind, Fribourg.

- BEHR, O., D. EDER, U. MARCKMANN, H. METTE-CHRIST, N. REISINGER, V. RUNKEL et O. V.HELVERSEN (2007). Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Fledermaus-Schlagopfern – Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald. *Nyctalus* 12: 115-127. (*Suivi acoustique dans la zone de rotor des éoliennes et problèmes méthodologiques relatifs à la recherche de chauves-souris victimes de collision – Résultats d'études réalisées en Forêt-Noire centrale et méridionale*). *Nyctalus* 12 : 115-127.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et J. MAGES (2011a). Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (*Méthodes de détection acoustique de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 130-144, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 130-144, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT (2011b). Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (*Détection acoustique de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 177-286, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT (2011c). Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen (*Prévision de l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 287-322, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 287-322, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN et F. KORNER-NIEVERGELT (2011d). Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen (*Algorithmes de fonctionnement respectueux des chiroptères*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 354-383, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 354-383, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- BRINKMANN, R., L. BACH, C. DENSE, H.J.G.A. LIMPENS, G. MÄSCHER et U. RAHMEL (1996). Fledermäuse in Naturschutz- und Eingriffsplanungen, Hinweise zur Erfassung, Bewertung und planerischen Integration. - Naturschutz u. Landschaftsplanung 28: 229-236

(Les chiroptères dans les projets d'interventions et de protection de la nature, précisions relatives à la détection, à l'évaluation et à l'intégration au stade de la conception du projet – Protection de la nature et ingénierie du paysage 28 : 229-236).

- BRINKMANN, R., M. BIEDERMANN, F. BONTADINA, M. DIETZ, G. HINTEMANN, I. KARST, C. SCHMIDT et W. SCHORCHT (2008). Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse. – Ein Leitfaden für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, 134 Seiten. *(Planification et conception d'aménagements de franchissement pour les chiroptères. – Un guide pour les projets de construction routière dans l'État libre de Saxe).* Ministère d'État de l'économie et du travail de Saxe, 134 pages.
- BRINKMANN, R., H. SCHAUER-WEISSHAHN et F. BONTADINA (2006) : Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg (*Études sur les effets possibles du fonctionnement des éoliennes sur les chauves-souris dans la circonscription administrative de Fribourg*), expertise non publiée mandatée par le Regierungspräsidium Freiburg (*Conseil régional de Fribourg*), avec l'aide de la fondation Naturschutzfonds Baden-Württemberg (*Fonds de protection de la nature de Bade-Wurtemberg*)
- BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., BEHR, O. et I. NIERMANN (2011). Darf bezüglich des Kollisionsrisikos von einer Windenergieanlage auf bestehende oder geplante Anlagen in der Umgebung geschlossen werden? (*Est-il légitime de transposer, concernant le risque de collision, les observations réalisées sur une éolienne aux installations existantes ou futures dans les environs ?*) – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 406-424, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 406-424, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire [BMU]) (2007). Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt, Reihe Umweltpolitik, Berlin. (*Stratégie nationale relative à la biodiversité, collection Politique de l'environnement, Berlin*)
- BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2010). (*République fédérale d'Allemagne*) Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG sowie der Entscheidung K(2009) 5174 der Kommission vom 30.06.2009 - Entwurf Stand: 29.06.2010. (*Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables en vertu de la directive 2009/28/CE et de la décision K(2009) 5174 du 30 juin 2009 – Projet, version du 29 juin 2010*).
http://www.bmu.de/f-iles/pdfs/allgemein/application/pdf/entwurf_aktionsplan_ee.pdf
- CRYAN, P.M. et R.M.R. BARCLAY (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy* 90 : 1330-1340.
- DIETZ, C., D. NILL et O.V. HELVERSEN (2007). Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. (*Guide des chiroptères d'Europe et d'Afrique du Nord-Ouest*).

Kosmos.

- DÜRR, T. (2007). Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg (*Possibilités de réduction des pertes de chiroptères aux abords des éoliennes implantées au Brandebourg*). *Nyctalus* (N.F.) 12 : 238-252.
- DÜRR, T. et L. BACH (2004). Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergie-Anlagen - Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei (*Les chauves-souris victimes de collision avec les éoliennes – État des connaissances et aperçu du registre national de recensement*). Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz Band 7 (*Contributions de Brême à la science de la nature et à la protection de la nature, volume 7*). Brême, BUND Landesverband Bremen e.V. (*association environnementale BUND, fédération du land de Brême*) : 253-263.
- FIEDLER, W. (1998). Paaren-Pennen-Pendelzug: Die Raufledermaus (*Pipistrellus nathusii*) am Bodensee. (*Accouplement-siestes-trajets : la pipistrelle de Nathusius (Pipistrellus nathusii) dans la région du Lac de Constance*). *Nyctalus* 6 : 517-522.
- HORN, J., E. ARNETT et T. KUNZ (2008). Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines, *Journal of Wildlife Management* 72 : 123-132.
- HÖTKER, H., K.-M. THOMSEN et H. KÖSTER (2005). Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen (*Impact de la production d'énergies renouvelables sur la biodiversité, à l'exemple des oiseaux et des chauves-souris – Faits, lacunes, exigences pour la recherche, critères ornithologiques pour le développement des formes de production d'énergies renouvelables*). BfN Skripten (*publications de l'Office fédéral allemand pour la protection de la nature, BfN*). Bonn - Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz (*Office fédéral allemand pour la protection de la nature*) (éditeurs). 142 p.
- JAIN, A. A., P. KERLINGER, R. CURRY et L. SLOBODNIK (2007). Annual report for the Maple Ridge wind power project post-construction bird and bat fatality study 2006. Annual report prepared for PPM Energy and Horizont Energy.
- KALKO, E. V. K. (1991). Das Echoortungs- und Jagdverhalten der drei europäischen Zwergfledermausarten, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber 1774), *Pipistrellus nathusii* (Keyserling & Blasius 1939) und *Pipistrellus kuhli* (Kuhl 1819) (*Le comportement d'écholocation et de chasse des trois espèces européennes de pipistrelles, Pipistrellus pipistrellus [Schreber 1774], Pipistrellus nathusii [Keyserling & Blasius 1939] et Pipistrellus kuhli [Kuhl 1819]*). Tübingen, Universität de Tübingen.
- KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, I. NIERMANN et R. BRINKMANN (2011). Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle (*Estimation du nombre de chauves-souris tuées aux abords des éoliennes au moyen de mesures acoustiques d'activité et de modèles statistiques modifiés utilisant la densité mélange à variable N*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 323-353, Cuvillier Verlag, Göttingen

(*Environnement et espaces vol. 4, 323-353, éditions Cuvillier, Göttingen*).

- KRETZSCHMAR, F. (2000). Zur Fledermausfauna der Trockenaue unter besonderer Berücksichtigung der Rauhhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*). Vom Wildstrom zur Trockenaue (*Sur la faune de chiroptères de la lande sèche, notamment la pipistrelle de Nathusius (Pipistrellus nathusii). Du fleuve sauvage à la lande sèche*). Landesministerium für Umweltschutz (*Agence régionale de l'environnement*) Karlsruhe, éditions Regionalkultur : 183-194.
- KUNZ, T. H., E. B. ARNETT, W. P. ERICKSON, A. R. HOAR, G. D. JOHNSON, R. P. LARKIN, M. D. STRICKLAND, R. W. THRESHER et M. D. TUTTLE (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ* 5 : 315-324.
- LANA BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT NATURSCHUTZ, LANDSCHAFTSPFLEGE UND ERHOLUNG, STA „ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZ“ (*Groupe de travail fédéral/régional sur la protection de la nature, la gestion des paysages et les loisirs, Comité permanent « Protection des espèces et des biotopes »*) (2009). Hinweise zu zentralen unbestimmten Rechtsbegriffen des Bundesnaturschutzgesetzes (*Précisions concernant d'importants termes juridiques non définis de la loi fédérale allemande de protection de la nature [BNatSchG]*). Manuscrit non publié.
- LANU LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (HRSG.) (*Agence régionale de la nature et de l'environnement du land de Schleswig-Holstein [éditeur]*) (2008) : Empfehlungen zur Berücksichtigung tierökologischer Belange bei Windenergieplanungen in Schleswig-Holstein (*Conseils pour la prise en compte des intérêts écologiques de la faune lors de la conception de projets éoliens au Schleswig-Holstein*). Flintbek, Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) (*Agence régionale de la nature et de l'environnement du land de Schleswig-Holstein [LANU]*). 90 p.
- NIERMANN, I., BEHR, O. et BRINKMANN, R. (2007). Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergiestandorten (*Précisions méthodologiques et recommandations pour la détermination du nombre de chauves-souris victimes de collision sur les lieux d'implantation d'éoliennes*). *Nyctalus (N.F.)* 12 : 152-162.
- NIERMANN, I., R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT et O. BEHR (2011a). Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse (*Recherches systématiques de victimes de collision – Cadre méthodologique, procédures d'analyse statistique et résultats*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR, I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 40-115, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 40-115, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- NIERMANN, I., S. VON FELTEN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. BRINKMANN und O. BEHR (2011b). Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen (*Impact de variables d'installation et de paysage sur l'activité des chauves-souris aux abords des éoliennes*). – In : BRINKMANN, R., O. BEHR,

- I. NIERMANN et M. REICH (éditeurs) : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (*Développement de méthodes pour étudier et réduire le risque de collision de chauves-souris avec les éoliennes terrestres*). - Umwelt und Raum Bd. 4, 384-405, Cuvillier Verlag, Göttingen (*Environnement et espaces vol. 4, 384-405, éditions Cuvillier, Göttingen*).
- RODRIGUES, L., L. BACH, L. BIRASCHI, M.-J. DUBOURG-SAVAGE, J. GOODWIN, C. HARBUSCH, T. HUTSON, T. IVANOVA, L. LUTSAR et K. PARSONS (2006). Annex 1 to Resolution 5.6: WindTurbines and Bats: Guidelines for the planning process and impact assessments (Version 1.0, Septembre 2006).
- SCHNITTER, P., C. EICHEN, G. ELLWANGER, M. NEUKIRCHEN et E. SCHRÖDER (édition) (2006). Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Arten als Basis für das Monitoring nach Artikel 11 und 17 der FFH- Richtlinie in Deutschland (*Recommandations pour le recensement et l'évaluation des espèces comme base du suivi en Allemagne en vertu des articles 11 et 17 de la directive Habitat-Flore-Faune*). - Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Halle), Sonderheft 2 (*Rapports de l'Agence régional de la protection de la nature du land de Saxe-Anhalt (Halle), cahier spécial 2*).
- SEICHE, K., P. ENDL et M. LEIN (2008). Chauves-souris et éoliennes en Saxe.