

Toutes les espèces de chauves-souris sont protégées en France et la plupart des espèces sont en déclin depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle (changement des pratiques agricoles, utilisation de pesticides, développement des infrastructures et de l'éclairage extérieur...). 31 % des espèces françaises sont menacées.

Comment les routes et les installations éoliennes impactent-elle ces espèces ? A quelle échelle l'impact se fait-il sentir ? Quelles recommandations peuvent être proposées pour mieux étudier et réduire les impacts ? Autant de questions traitées dans cette thèse ...

Analyse de la thèse « *Bat movement ecology at the local scale and anthropogenic collision risks* »
Charlotte ROEMER, soutenue le 14 novembre 2018 à Montpellier¹

Intérêt de cette thèse pour la Trame Verte et Bleue :

Elle améliore la connaissance des déplacements des chauves-souris aux abords des routes et notamment en fonction de la configuration de la végétation en bordure des routes. Ceci donne des pistes pour l'aménagement des bords de route pour limiter les impacts sur ces espèces.

Elle analyse aussi l'effet à différentes échelles de paysage des éoliennes et des paysages autour de celles-ci en distinguant l'effet selon les espèces et notamment selon leur hauteur de vol.

Elle aborde sans pouvoir y apporter de réponses la question du cumul des obstacles (dont les champs d'éoliennes) dans des grands couloirs de migration telle la vallée du Rhône ou le littoral méditerranéen.

Contexte des connaissances :

Les aménagements anthropiques sont pour les chauves-souris un nouveau type de prédation. A la différence des prédateurs naturels avec lesquels les espèces ont co-évolué, l'apparition de ces nouveaux dangers (circulation routière, pales d'éoliennes...) est récente et n'a pas permis aux espèces de développer des réponses comportementales adaptées.

Les routes ou les éoliennes causent une mortalité qui peut induire des risques d'extinction notamment des chiroptères migrateurs. Elles vont aussi réduire leur survie par diminution du territoire de chasse (effet barrière de certaines routes) ou augmentation du temps de recherche de nourriture (par exemple du fait de la perturbation liée au bruit des voitures) ou de partenaire sexuel quand les routes sont évitées par exemple. Or les populations de chauves-souris de par leurs traits de vie (un seul petit par an en moyenne) sont très sensibles à toute augmentation du taux de mortalité qui peut mettre en danger les populations. En Allemagne, des estimations montrent qu'en 10 ans les éoliennes pourraient représenter plus de 2 millions de chauves-souris tuées si des mesures de réduction d'impact n'étaient pas appliquées.

Les espèces migratrices sont plus sensibles du fait de leur exposition à une série de champs éoliens successifs lors de leurs trajets migratoires.

Des études montrent que les chauves-souris sont attirées par les pales d'éoliennes et se nourrissent à proximité. Le risque de mortalité est alors élevé (les pointes des pales peuvent tourner à 300 km/h) et l'impact à plusieurs échelles sur les populations n'est pas connu.

Les mortalités des chauves-souris sont difficiles à évaluer du fait de la petite taille et du faible poids des espèces qui peuvent être tuées par une collision (un choc) mais aussi par la pression de l'air (liée à la vitesse du véhicule ou des pales : barotraumatisme). Les études d'impact préalables aux projets d'aménagement doivent bien évidemment prendre en compte les chiroptères. Bien que de progrès aient été faits dans les dernières décennies, aucune méthode consensuelle n'existe pour classer la sensibilité aux collisions des espèces de chauves-souris dans les évaluations environnementales. La plupart des études prennent en compte les cadavres au pied des éoliennes mais ne permettent pas de définir la sensibilité des espèces en fonction des caractéristiques de leur vol (hauteur de vol notamment). Cependant, dans de nombreux pays, il est obligatoire de fournir une étude acoustique basée sur l'installation de mâts pour

¹ Sous la direction Dr. Aurélie Coulon, Dr. Yves Bas & Prof. Romain Julliard



estimer l'activité des chauves-souris et prédire les risques de collision.

Encart 1 : Biologie des chiroptères

Chaque espèce de chauve-souris a développé des adaptations comportementales, morphologiques et sensorielles afin d'optimiser son succès de chasse. Pour toutes les espèces, l'automne et le printemps sont les périodes stratégiques de très forte consommation d'insectes afin de constituer et reconstituer les réserves de graisse en lien avec l'hibernation et/ou la migration.

L'écholocation permet aux chauves-souris de se nourrir et de se déplacer et à ce titre, des études ont montré que deux types de cartes mentales leur permettant de se déplacer. La mémorisation spatiale des repères acoustiques permet d'établir des cartes mentales à petite échelle comme par exemple des trouées dans la canopée. Mais des cartes à grande échelle sont aussi mémorisées entre les différents gîtes au cours de l'année parfois distants de centaines de kilomètres.

Les espèces sont classées en fonction de la portée de leur appareil d'écholocation : celles à courte portée (SRE), celles à moyenne portée (MRE) et celles à longue portée, plus de 25 m (LRE)

Pour mieux comprendre l'importance des collisions anthropogènes, il faudrait mesurer le taux de mortalité par individu (le nombre d'individus tués divisé par la taille de la population) plutôt qu'un nombre brut de cadavres. Ceci est nécessaire pour tenir compte de l'abondance différente des espèces sur un site et de la sensibilité différentes des espèces aux collisions, par exemple, en relation avec leur hauteur ou rapidité de vol.

Pour les espèces migratrices, les repères remarquables (ligne de côte, vallées, cols...) sont des signaux sensoriels. La topographie est une contrainte importante pour le mouvement des espèces, notamment pour minimiser la consommation d'énergie. Les courants aériens produits par les reliefs n'auront pas le même effet pour les espèces à ailes courtes et larges ou celles à ailes grandes, longues et élancées.

Les propriétés de l'habitat physique (structure des arbres, présence d'eau...) et à échelle plus fine, la structure de la végétation (notamment sa hauteur) vont aussi influencer le vol.

Les conditions météorologiques influent aussi les capacités de vol des chauves-souris.

Facteurs de collision

De nombreuses études ont montré le lien entre la vitesse du vent et les collisions avec les pales des éoliennes. Par contre, l'effet du paysage sur les collisions est moins clair, il semble que la distance aux arbres et la pente jouent un rôle important sur les collisions avec les éoliennes. Mais ces données de la littérature sont principalement basées sur le comptage de cadavres et il manque des données sur les comportements de vol et la présence des espèces.

Pour les collisions sur les routes, la proximité de milieux favorables à la recherche de nourriture (pièces d'eau, forêt, habitats de bords de cours d'eau...) est un facteur d'augmentation des collisions. Cependant là aussi, il manque d'éléments sur les hauteurs de vol et sur l'orientation des trajectoires de vol des espèces de chauves-souris à proximité d'une route.

Cette thèse a étudié ces éléments en explorant les hypothèses suivantes :

La sensibilité des espèces aux collisions avec les éoliennes est liée à la distribution verticale du vol. Plus le temps de recherche de nourriture passé à hauteur des pales d'éoliennes est important, plus l'espèce sera sensible. Afin d'améliorer les études d'impact, une nouvelle méthode de mesure de l'estimation des risques de collision est proposée afin d'estimer l'effet de l'environnement sur la densité en chauves-souris et sur leur mouvement.

Les collisions sur les routes résultent d'un vol au niveau du sol et la structure de la végétation (hauteur, orientation, densité) va influencer le vol.

Des enregistrements acoustiques sont captés par plusieurs micros :

- pour les éoliennes les micros sont placés à différentes hauteurs sur des mâts² mis en place lors d'études d'impacts de projets éoliens,

² Ces mâts étaient initialement mis en place pour mesurer les conditions de vent. L'amélioration de la connaissance des sites à condition de vent favorable, ne nécessite plus d'utiliser des mâts pour ces besoins techniques. Ils sont par contre très intéressants pour mesurer les hauteurs de vol des chiroptères comme le montre cette thèse.

- pour les routes, ils sont placés à différents emplacements en bord de route et à différentes hauteurs.

La thèse est une thèse Cifre portée par le bureau d'études Biotope, elle utilise un logiciel de tri automatique SonoChiro³ et la base de données « Actichiro » qui référencent les sons produits pas les espèces françaises.

Résultats sur les éoliennes :

Une première analyse met en évidence que les caractéristiques acoustiques du sonar des chauve-souris (pic de fréquence et bande passante) prédisent leur distribution verticale sans avoir à tenir compte des stratégies acoustiques des espèces (durée et modulation).

Une deuxième analyse montre que la sensibilité aux collisions est corrélée avec le pourcentage de passage de chauve-souris à hauteur des pales. Elle montre aussi que cette mesure faite sur un mât est un bon prédicteur des collisions (une autre étude avait déjà prouvé que l'activité des chauves-souris au niveau des nacelles des éoliennes était corrélée avec le nombre de cadavres trouvés au pied). Cette étude a été menée sur des mâts simulant des éoliennes de hauteur moyenne (rotor des pales situé autour de 32 m).

Quelques exemples de résultats par espèces :

Les pipistrelles sont les plus communes dans les enregistrements (330 000 enregistrements) et elles passent en moyenne 10 % de leur temps en hauteur.

Les Rhinolophes sont les seules espèces qui ne sont jamais enregistrées à hauteur des pales.

Les Noctules, le Molosse de Cestoni et les Sérotines passent plus de 40% du temps en hauteur.

Ainsi ces 3 dernières espèces ont une plus forte sensibilité aux collisions que les Pipistrelles, les Minioptères et les Eptesicus. Les Rhinolophes, les Murins, les Barbastelles et les Oreillardes sont les moins sensibles.

Une troisième analyse modélise la densité et la distribution verticale des espèces en fonction de la distance à l'eau, des bois et des bâtiments et de la topographie dans des rayons de 200 m, 1000 m et 5000 m. Cette étude a été menée pendant 1 an pour analyser aussi les variations saisonnières.

Cette étude montre que l'échelle spatiale de 5000 m est plus pertinente pour expliquer la densité et la hauteur de vol que les échelles plus fines. La distance aux bois a un effet sur la densité de la plupart des espèces (-76 % pour les mâts situés à 200 m des arbres les plus proches). La composition du paysage ne donne pas d'information sur la hauteur de vol. Ceci contredit l'hypothèse commune que les chauves-souris volent plus haut en forêt qu'en milieu ouvert.

Les observations augmentent régulièrement du printemps à l'été et déclinent en automne. Cependant il y a un antagonisme entre l'effet sur la densité et celui sur la hauteur de vol. Le pic de densité est situé en fin d'été/début d'automne alors que les probabilités de vol en hauteur sont plus importantes au printemps et en automne. Cette période de fin d'été et automne est donc la période avec le plus haut risque de collision.

Discussion de ces résultats :

Les corrélations avec les densités d'espèces (comptage de cadavres) sont basées sur des données européennes et n'ont pas été réalisées sur les sites où ont été faits les suivis acoustiques sur les mâts. Il faudrait pouvoir faire ces études lors de suivis d'installation d'éolienne quand l'étude d'impact a été basée sur un suivi acoustique par mât.

Les connaissances sur les trajectoires de migration des chauves-souris sont tout à fait insuffisantes. Il y a aussi un manque de connaissance sur comment l'habitat modifie les hauteurs de vol.

Installer des éoliennes à plus de 200 m d'une lisière forestière est un moyen de limiter les impacts (via la réduction de la densité) pour les espèces à vol plutôt bas mais doit être accompagné de mesures de réduction d'impact opérationnelles⁴ pour les espèces à vol en hauteur.

L'échantillonnage des sites ne permet pas de conclure pour la proximité aux habitations et aux plans d'eau car il n'y a pas assez de sites de ce type dans l'échantillon étudié. De la même manière, cette étude ne donne pas d'information sur les situations d'éolienne en crête en zone montagneuse.

Il faudrait produire des cartes prédictives de densité de chauves-souris par région pour avoir une planification régionale raisonnée des emplacements de champs éoliens (actuellement cette carte de densité n'existe qu'au niveau national). Ces données seraient notamment nécessaires pour les espèces de haut vol

³ Outils développés par Biotope

⁴ Les mesures de réduction de la mortalité directe consistent en une régulation du fonctionnement (bridage) soit en fonction des horaires (au lever et coucher du soleil), de paramètres météorologiques...

dont la densité n'est pas influencée par la distance entre le mât et la lisière forestière.

Résultats sur les routes :

Il est connu qu'un environnement de bonne qualité (proximité de plans d'eau, de forêts et de ripisylves) augmente les collisions. Mais les études ne distinguent pas la part liée à la densité des chauves-souris et celle liée à la trajectoire de vol. La mortalité sur les routes est liée à la densité locale de l'espèce, la proportion de temps passé dans la zone à risque de collision et la présence simultanée de chauve-souris et de véhicule dans la zone à risque de collision. Pour ces deux derniers facteurs c'est principalement des trajectoires de vol basses (au niveau ou à proximité des véhicules) qui vont causer des collisions. C'est donc la structure de la végétation ou du paysage à petite échelle qui va influencer ces trajectoires de vol.

L'étude a été menée sur 66 sites sur des routes secondaires de la région méditerranéenne pendant 4 et 5 mois sur deux années consécutives. Elle mesure à la fois l'activité des chauves-souris et le comportement de vol (situation dans la zone de risque de collision, évitement des véhicules et orientation de la trajectoire de vol).

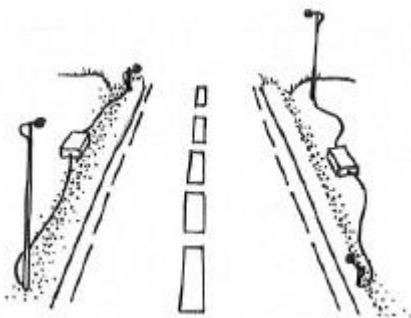
Le suivi acoustique mis en place permet de détecter à la fois les passages de chauves-souris mais aussi de véhicules et de définir les trajectoires de vol. En effet, l'utilisation de micros synchronisés permet d'avoir des informations sur la position des chauves-souris en une, deux ou trois dimensions ce qui permet un suivi acoustique de la trajectoire de vol.

Encart 2 : Principe de la trajectométrie acoustique

Le son produit par la chauve-souris est enregistré par les différents micros à des temps différents. Les différences de temps d'arrivée entre les micros sont analysées pour en déduire la position de la chauve-souris par triangulation puisque la position des micros est connue.

Avec 3 micros placés en ligne, on peut calculer la position précise en une dimension, s'ils ne sont pas placés en ligne on a accès à la position en 2 dimensions. A partir de 4 micros la position en 3 dimensions peut être calculée.

Schéma de l'installation pour étudier le comportement des chauves-souris au niveau des routes



4 micros sont séparés d'environ 15 à 20 m. La portée acoustique maximale est de 10 m autour du centroïde des micros.

Ce dispositif permet de calculer la densité en espèces, la probabilité de vol dans la zone à risque de collision, la probabilité d'évitement d'une voiture et celle de vol parallèlement ou perpendiculairement à la route.

Chaque enregistrement est donc classé comme :

Non conservé (1 seul enregistrement, donc sur 1 seul micro)

Passage dans la zone à risque

Passage hors zone à risque

L'angle de la trajectoire par rapport à la route est aussi calculé : parallèle ou perpendiculaire à la route.

Les statistiques de l'enregistrement conjoint des chauves-souris et des véhicules permet de définir un taux d'évitement des véhicules si plus de 10 secondes séparent l'enregistrement dans une même séquence de ces deux échos.

L'étude a testé 6 configurations de bord de route : allée d'arbres des deux côtés de la route, allée d'arbres d'un seul côté, forêt des deux côtés, forêt d'un seul côté, allée d'arbres perpendiculaire à la route (de chaque côté) et pas de végétation boisée en bord de route.

Schéma des 6 configurations de la végétation du bord de route



Résultats :

Plus de 120 000 passages de chauves-souris ont été enregistrés et 31 000 ont permis de retracer une trajectoire de vol.

La densité de présence a été analysée par type d'environnement de la route et par espèce (ou groupe pour les Pipistrelles, les Oreillards et les Murins).

L'effet du paysage local sur la densité de vols varie selon les espèces.

La densité d'activité des Pipistrelles pygmées est beaucoup plus importante quand l'alignement d'arbres est perpendiculaire à la route et plus importante pour le Vespère de Savi en contexte forestier.

La distance au feuillage des arbres diminue l'activité de 5 espèces (Murin de Daubenton, Pipistrelle commune, Pipistrelle pygmée et Noctule de Leiser) alors qu'elle augmente pour les Oreillards).

L'augmentation de la hauteur des arbres augmente la densité d'activité des murins.

Pour la plupart des espèces, le pic d'activité est typiquement en milieu d'été sauf pour Pipistrelle pygmée, Minioptère de Schreibers, Oreillards, Noctule de Leiser qui ont leur pic d'activité en automne.

Le type de paysage ne produit pas les mêmes effets sur la densité et sur le comportement de vol des chauves-souris ni selon les espèces.

Globalement, la position dans la zone à risque est plus importante quand une forêt est de chaque côté de la route. Pour la Sérotine commune, la distance au feuillage⁵ augmente la présence dans la zone à risque mais elle la diminue pour la Noctule de Leiser. La diminution de la hauteur des arbres augmente la présence du Murin de Daubenton dans la zone à risque.

L'augmentation du trafic routier diminue la présence des chauves-souris dans la zone à risque quand la route est bordée d'une ou deux allée boisée mais l'augmente quand de la forêt n'est présente que d'un côté de la route.

Pour toutes les espèces, la proportion de vols dans la zone à risque augmente du printemps à l'automne⁶ et la saison n'a aucun effet sur le taux d'évitement des voitures.

La Noctule de Leiser évite plus les véhicules quand la route est bordée par une seule allée boisée que dans elle est entourée par deux alignements. Les espèces à écholocation à courte portée volent généralement plus bas (dont potentiellement plus à hauteur des véhicules) mais elles évitent mieux les véhicules que celles à écholocation à moyenne portée. Cependant une augmentation du trafic routier diminue les évitements chez toutes les espèces de Pipistrelles. Ces résultats montrent que le comportement d'évitement selon les espèces peut réduire leur vulnérabilité aux collisions.

Une grande majorité des trajectoires de vol est parallèle à l'axe de la route et ce dans tous les types de configuration de la végétation du bord de route. Cependant, l'augmentation de la distance au feuillage augmente la proportion de ces trajectoires parallèles pour le Vespère de Savi. Une augmentation du trafic induit chez les Pipistrelles plus de vols parallèles à la route.

Synthèse sur les guildes d'espèces en fonction de la portée de leur écholocation :

Les espèces à portée moyenne d'écholocation ont généralement un risque de collision avec les véhicules que les autres espèces du fait de leur taux plus faible d'évitement et de leur plus forte proportion de trajectoires dans la zone à risque de collision que les espèces à petite ou grande portée d'écholocation.

Cependant pour une espèce comme le Rhinolophe⁷, le protocole avec 4 micros ne peut pas permettre de mesurer ses trajectoires de vol.

Recommandations pour la gestion

1 - En phase d'évitement des impacts : ne pas créer de route dans des situations très favorables aux chauves-souris où les densités vont être importantes ce qui augmente les risques de collision. **Donc éviter les zones boisées et prioriser les zones sans arbres⁸.**

Il est nécessaire de faire des études d'impact sur toute une année pour avoir une meilleure connaissance des secteurs à risque en distinguant les différentes espèces qui ont des densités, des comportements et capacités de vol très différentes.

⁵ Cependant dans le contexte des sites d'étude (route secondaires de la zone méditerranéenne), les alignements d'arbres sont rarement à plus de 5 m du bord de route (toute la gamme de distance n'a donc pas pu être testée).

⁶ Ceci peut être lié à la présence en automne des jeunes de l'année au vol et écholocation moins expérimentés.

⁷ En raison de son sonar à hautes fréquences.

⁸ Cette recommandation est basée sur les résultats sur les espèces à moyenne et grande portée d'écholocation et non à faible portée.

2 – En termes de gestion de la végétation autour de la route, il serait important d'avoir au minimum un distance de 5 m entre le feuillage et le bord de la route ce qui diminue de manière significative le niveau d'activité de la plupart des espèces. Il ne s'agit cependant pas d'inciter à couper les arbres présents ce qui engendrerait des fortes pertes d'habitat. Il s'agit de réfléchir aux possibilités locales de gestion des bords de route en fonction de la biodiversité présente (animaux, flore, fonge).

Commentaire pour la trame verte et bleue

Aussi bien pour l'implantation des éoliennes que des routes, l'analyse des impacts doit être mesurée sur toutes les espèces fréquentant le site en distinguant leur densité et les risques de collision du fait de leur comportement de vol et de leur capacité à éviter les collisions.

Les enjeux de continuités écologiques doivent être étudiées à plusieurs échelles notamment pour l'implantation d'éoliennes : échelle locale de quelques centaines de mètres pour les enjeux de perturbation des espèces « résidentes » et échelle du paysage pour les espèces en migration.

Pour les routes comme les éoliennes éloigner les infrastructures des boisements (200 m pour les éoliennes, 5 m pour les routes) permet de limiter les risques pour certaines espèces mais pas toutes.

Les connaissances sur les voies de migration et les conditions (météorologiques, topographiques...) ne sont pas suffisantes pour pouvoir évaluer correctement l'impact des constructions d'éoliennes sur les espèces de chauves-souris migratrices. Ceci s'applique à l'échelle de l'étude d'impact d'un projet mais aussi à celle encore moins prise en compte de la multiplication des obstacles le long des corridors de migration (effets cumulés).

Il serait indispensable de produire des cartes régionales de densité des différentes espèces de chauves-souris et des cartes des voies de migration.

La mise en évidence que les trajectoires de vol sont plus fréquemment parallèles aux routes que perpendiculaires montre que les bords de route boisés peuvent être des sites de nourrissage voire de déplacement des chauves-souris. Cette étude portant sur quelques dizaines de mètres, elle ne permet pas contrairement à ce qu'en dit l'auteur de conclure que les routes peuvent être utilisées comme corridor par les espèces. D'autres études à une autre échelle devraient être mises en place pour identifier sur quelle longueur ces trajectoires suivent ou non les routes.