



HAL
open science

Trame verte et bleue et espèces volantes. Note d'enjeux et de problématique

R Sordello, J Amsallem, Y Bas, L Billon, L Borner, J Comolet-Tirman, A Daloz, E Dugué A.L Guinard, J.F Julien, A Lacoeuilhe, et al.

► To cite this version:

R Sordello, J Amsallem, Y Bas, L Billon, L Borner, et al.. Trame verte et bleue et espèces volantes. Note d'enjeux et de problématique. PatriNat (AFB-CNRS-MNHN). 2019, pp.26. mnhn-04256474

HAL Id: mnhn-04256474

<https://mnhn.hal.science/mnhn-04256474>

Submitted on 24 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Trame verte et bleue et espèces volantes

Note d'enjeux et de problématique

Février 2019



Romain Sordello, Jennifer Amsallem, Yves Bas, Lucille Billon, Leyli Borner, Jacques Comolet-Tirman, Aurélien Daloz, Anne-Laure Dugué, Eric Guinard, Jean-François Julien, Aurélie Lacoeuilhe, Antoine Lombard, Julie Marmet, Geoffroy Marx, Catherine Ménard, Fabien Paquier, Yorick Reyjol, Nathalie Schweigert, Jean-Philippe Sibley, Chloé Thierry, Sylvie Vanpeene, Vincent Vignon

Unité Mixte de Service Patrimoine Naturel

Nom du Programme/Projet : Trame verte et bleue

Chef de projet : Romain Sordello

Chargé(e) de mission : Lucille Billon

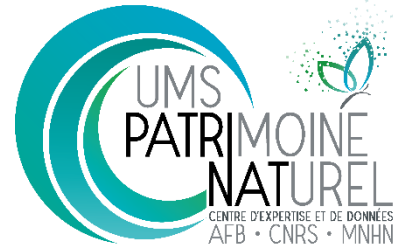
Experts mobilisés/relecteurs : Jennifer Amsallem (Irstea), Yves Bas (CESCO), Lucille Billon (UMS PatriNat), Leyli Borner, Jacques Comolet-Tirman (UMS Patrinat), Aurélien Daloz (AFB), Anne-Laure Dugué (LPO), Eric Guinard (Cerema), Jean-François Julien (CESCO), Aurélie Lacoeylthe (UMS Patrinat), Antoine Lombard (MTES), Julie Marmet (UMS Patrinat/CESCO), Geoffroy Marx (LPO), Catherine Ménard (DREAL Nouvelle Aquitaine), Fabien Paquier (AFB), Yorick Reyjol (UMS PatriNat), Nathalie Schweigert (DGAC, STAC), Jean-Philippe Sibley (UMS Patrinat), Chloé Thierry (UMS Patrinat), Sylvie Vanpeene (Irstea), Vincent Vignon (OGE)

Référence du rapport conseillée : Sordello R., Amsallem J., Bas Y., Billon L., Borner L., Comolet-Tirman J., Daloz A., Dugué A.L., Guinard E., Julien J.F., Lacoeylthe A., Lombard A., Marmet J., Marx G., Ménard C., Paquier F., Reyjol Y., Schweigert N., Sibley J.P., Thierry C., Vanpeene S., Vignon V. (2019). *Trame verte et bleue et espèces volantes. Note d'enjeux et de problématique*. UMS Patrinat, Cerema, CESCO, Irstea LPO, MTES. 26p.

Crédit photo couverture : Alexis Orseau/LPO

L'UMS Patrimoine naturel

Centre d'expertise et de données sur la nature



Depuis janvier 2017, l'Unité Mixte de Service 2006 Patrimoine naturel assure des missions d'expertise et de gestion des connaissances pour ses trois tutelles, que sont le Muséum national d'Histoire naturelle, l'Agence française pour la biodiversité et le CNRS.

Son objectif est de fournir une expertise fondée sur la collecte et l'analyse de données de la biodiversité et de la géodiversité, et sur la maîtrise et l'apport de nouvelles connaissances en écologie, sciences de l'évolution et anthropologie. Cette expertise, fondée sur une approche scientifique, doit contribuer à faire émerger les questions et à proposer les réponses permettant d'améliorer les politiques publiques portant sur la biodiversité, la géodiversité et leurs relations avec les sociétés et les humains.

En savoir plus : patrinat.mnhn.fr/

Directeur : Jean-Philippe SIBLET

Directeur adjoint en charge du centre de données : Laurent PONCET

Directeur adjoint en charge des rapportages et de la valorisation : Julien TOUROULT

Inventaire National du Patrimoine Naturel



Porté par l'UMS Patrimoine naturel, cet inventaire est l'aboutissement d'une démarche qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France. Les données fournies par les partenaires sont organisées, gérées, validées et diffusées par le MNHN. Ce système est un dispositif clé du SINP et de l'Observatoire National de la Biodiversité.

Afin de gérer cette importante source d'informations, le Muséum a construit une base de données permettant d'unifier les données à l'aide de référentiels taxonomiques, géographiques et administratifs. Il est ainsi possible d'accéder à des listes d'espèces par commune, par espace protégé ou par maille de 10x10 km. Grâce à ces systèmes de référence, il est possible de produire des synthèses, quelle que soit la source d'information.

Ce système d'information permet de consolider des informations qui étaient jusqu'à présent dispersées. Il concerne la métropole et l'outre-mer, aussi bien la partie terrestre que marine. C'est une contribution majeure pour la connaissance naturaliste, l'expertise, la recherche en macroécologie et l'élaboration de stratégies de conservation efficaces du patrimoine naturel.

En savoir plus : inpn.mnhn.fr

Sommaire

1	Introduction.....	5
2	Quelles espèces sont concernées ?.....	5
3	Quels sont les enjeux ?.....	6
3.1	Le bâti.....	7
3.2	Les éoliennes	7
3.3	Les lignes électriques.....	8
3.4	Les aéronefs.....	9
3.5	Conclusion.....	11
4	Quelles mesures de gestion pour résorber ces obstacles ou réduire leurs impacts ?..	12
4.1	Le bâti.....	13
4.2	Les éoliennes	13
4.3	Les lignes électriques.....	14
4.4	Les aéronefs.....	15
5	Quelle prise en compte de la problématique des déplacements aériens dans la TVB actuellement ?.....	17
5.1	Dans les Orientations nationales TVB.....	17
5.2	Dans les Schémas régionaux de cohérence écologique.....	17
5.2.1	Eléments de diagnostic	17
5.2.1.1	Les axes de déplacements des espèces aériennes :.....	18
5.2.1.2	Le réseau d'infrastructures aériennes.....	19
5.2.2	La démonstration de prise en compte de la carte avifaune ONTVB.....	19
5.2.3	La caractérisation des obstacles aux continuités écologiques	20
6	Aller plus loin : vers une trame aérienne ?.....	21
7	Conclusion et perspectives	22
8	Références citées	23

1 Introduction

Depuis quelques années, différentes trames dites « complémentaires » à la trame verte et bleue (ex : trame noire, trame brune, ...) ont fait leur apparition dans les débats et les projets relatifs aux réseaux écologiques (Sordello, 2017).

Parmi elles, on retrouve notamment la **trame aérienne**, qui fait référence à la prise en compte des déplacements des espèces volantes. Cette terminologie pose des questions à la fois fondamentales (pertinence, intérêt, justification, ...) et opérationnelles. S'agit-il « seulement » de gérer au sein de la trame verte et bleue des obstacles particuliers pour les espèces volantes ? Ou bien est-il nécessaire d'aller vers une trame constituée de réservoirs et de corridors précisément identifiés pour les organismes qui se déplacent ou se dispersent par voie aérienne (faune, flore, fonge...)?

Ce rapport a pour objectif d'identifier les enjeux sur ce sujet afin d'y voir plus clair sur les espèces concernées, les types d'obstacles qui posent problème et les solutions pour y remédier. Il fournit ainsi un état des lieux pour alimenter la réflexion sur l'intérêt et l'application d'une éventuelle trame aérienne.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du Centre de ressources TVB. Il est piloté par l'UMS PatriNat en collaboration avec un groupe d'experts. Ce groupe a été réuni lors d'une réunion de présentation et de discussion en janvier 2019 à Paris. Cette réflexion a vocation à se poursuivre et être renforcée sur la base du présent rapport.

2 Quelles espèces sont concernées ?

Il existe principalement trois groupes d'animaux capables de vols actifs (pour cette première approche, nous nous sommes concentrés sur ces espèces) :

- les Insectes : la plupart des Insectes sont volants (au stade « Imago »), en particulier les Coléoptères, les Lépidoptères, les Odonates, les Hyménoptères ou encore les Diptères. Les insectes sont les premiers organismes à avoir développé la capacité de vol, ce qui a constitué une innovation majeure au cours de l'évolution (comportement anti-prédateur, conquête de nouveaux territoires, *etc.*). Chez la plupart des insectes, le vol est effectué grâce aux deux paires d'ailes rattachées au thorax qui effectuent des battements à très haute fréquence (chez les diptères et les coléoptères, le vol s'effectue à l'aide d'une seule des deux paires d'aile, respectivement la première et la seconde). Les Insectes sont les seuls Invertébrés à être réellement capables de voler, et ce pour certains sur de longues distances en migration. En effet, les arachnides et de nombreux autres arthropodes peuvent se laisser porter par le vent mais ils n'ont pas d'ailes et ne peuvent diriger intentionnellement leur mouvement.

- les Oiseaux : Le vol est une caractéristique des oiseaux à l'exception de quelques espèces qui ont perdu cette capacité. Le vol des oiseaux est permis grâce à un corps aérodynamique et une forte musculature, un squelette très léger contenant des sacs aériens (os pneumatiques), une forte densité du réseau sanguin ou encore un métabolisme très actif. Les ailes des oiseaux résultent de la transformation des membres antérieurs. Quelques espèces d'oiseaux ne pratiquent pas le vol mais elles ne concernent pas la France métropolitaine (autruches, manchots, ...). Pour se repérer en vol, les oiseaux mobilisent la vue, la lumière polarisée, le magnétisme terrestre et pour certaines espèces l'odorat en approche de la destination finale lors des migrations. Lors des vols de nuit (migration), ils peuvent utiliser les repères célestes (constellations). Ils possèderaient également des capacités de perception du champ magnétique (Able & Able, 1989) qui leur permettent de s'orienter. A noter aussi que certains oiseaux planeurs sont fortement dépendants des courants thermiques pour leur ascendance ou leurs déplacements ; ils ne volent donc pas « où ils veulent quand ils veulent ». Les oiseaux peuvent voler à très haute altitude comme l'oie à tête barrée (*Anser indicus*) qui vole jusqu'à 10 000 m d'altitude pour passer l'Himalaya.

- les Chauves-souris : Les Chauves-souris sont les seuls Mammifères capables d'un vol actif c'est-à-dire possédant des ailes qui battent. Contrairement aux oiseaux, leurs ailes sont formées sur la base d'une hypertrophie des doigts de la main (d'où le nom de « chiro »-ptères). Une fine membrane de peau s'étend entre le corps, les membres antérieurs/extérieurs et les doigts de la main des membres antérieurs. Les chauves-souris utilisent principalement l'écholocation pour se repérer en vol c'est-à-dire qu'elles analysent l'écho de leurs propres cris (émis dans des fréquences de 10 à 120 kHz sachant que les humains entendent jusqu'à 20 kHz) pour décrypter leur environnement. Certains autres Mammifères pratiquent un vol passif (« écureuils volants ») mais ces espèces ne sont pas présentes en France.

Différents types de déplacements en vol

Les insectes, les oiseaux et les chauves-souris effectuent plusieurs types de déplacements. Certains sont **quotidiens et répondent à des besoins trophiques ou de regroupements** et d'autres sont plus ponctuels ou concentrés sur une période de l'année (ex : reproduction). Ces trois groupes comprennent des espèces qui pratiquent également des **migrations**. En effet, certains Oiseaux mais aussi des Insectes et des Chauves-souris ne fréquentent pas le même territoire en période d'hivernage et de reproduction. Ces animaux effectuent ainsi un mouvement pendulaire saisonnier : une migration « aller » à l'automne depuis les sites de reproduction vers les quartiers d'hivernage et une migration « retour » au printemps depuis les quartiers d'hivernage vers les sites de reproduction.

Selon les espèces, la France peut représenter un lieu d'hivernage ou de reproduction. Il n'est pas toujours possible de parler « d'espèces migratrices » car au sein d'une même espèce, certaines populations peuvent ou non pratiquer cette migration, en fonction de la latitude de leur implantation.

La migration est un mouvement particulier en ce sens que, généralement, les populations migrent de manière groupée. Elle se traduit ainsi par de très nombreux effectifs empruntant une même route, souvent la même d'une année à l'autre. Ce phénomène amplifie fortement les enjeux relatifs à la trame aérienne, d'autant plus lorsque les déplacements sont nocturnes.

Par ailleurs, sans pour cela être assimilé à une véritable migration, certains oiseaux effectuent des mouvements erratiques, parfois de grande ampleur, en fonction par exemple de conditions climatiques particulières.

3 Quels sont les enjeux ?

Par définition, les espèces volantes effectuent leurs déplacements totalement ou partiellement dans la strate aérienne, qu'elle soit basse ou plus ou moins haute. Les espèces volantes ont donc par définition des capacités de déplacement supérieures, qui leur permettent de survoler la plupart des obstacles terrestres. Par contre, elles sont confrontées à d'autres formes d'obstacles que ne rencontrent pas - ou pas de la même manière - les espèces qui vivent au sol ou dans l'eau. Ces obstacles particuliers peuvent induire un dérangement ou une mortalité élevée. C'est sur ces obstacles que ce rapport va se concentrer. Elle abordera ainsi uniquement les problématiques spécifiquement soulevées par le caractère aérien. Par exemple, les collisions sur les infrastructures linéaires de transport terrestres (avec des véhicules), qui ne sont pas propres aux espèces volantes mais touchent aussi la faune terrestre ne seront pas abordées ici (cf. encadré).

Faune aérienne et collisions routières ou ferroviaires

La mortalité sur les réseaux d'infrastructures ferroviaires et routiers concerne aussi bien des espèces volantes que des espèces terrestres. Néanmoins, les oiseaux représentent une part importante dans ces collisions - environ 50 % des collisions de vertébrés sur les routes sont des oiseaux (com. pers. Eric Guinard) - ce qui peut laisser supposer un facteur aggravant du mode de déplacement aérien. A titre indicatif, en 2016-2017, 4,9 % des oiseaux accueillis dans les 7 centres de sauvegarde de la LPO (com. pers. Anne-Laure Dugué) se font suite à une collision routière (mais attention ce ne sont que les individus trouvés vivants et transférés en centres de sauvegarde habilités ; base de données OISILYS de la LPO). Dans le cadre du protocole de recensement des collisions porté par l'UMS Patrinat avec les Directions Interdépartementales des Routes, les données récoltées montrent que les oiseaux sont majoritaires.

Pour certaines espèces d'oiseaux la mortalité par collision peut être très importante proportionnellement à leur population nationale. Pour la Chouette effraie (*Tyto alba*) par exemple, il est estimé qu'entre 25 000 oiseaux et 37 000 oiseaux sont tués chaque année sur les 11 000 km d'autoroutes (Guinard, 2013) alors que la population nationale est estimée entre 30 000 couples et 90 000 couples avec environ 250 000 poussins produits chaque année (Source : <http://www.atlas-ornitho.fr/>).

Enfin, certaines mesures de résorption des zones de conflits peuvent aussi être spécifiques à la faune volante. Par exemple, la présence d'arbres sur l'accotement préconisée à une époque semble en réalité délétère pour les oiseaux comme pour les chiroptères, surtout si cela recoupe un réseau de haies. Le déblai, quant à lui, semble favorable pour réduire les collisions de l'avifaune, de même que la pose de merlons de part et d'autre de la voie routière ou ferroviaire (Guinard, 2013).

Parmi les principales problématiques qui touchent spécifiquement la faune aérienne on peut citer :

- le bâti,
- les éoliennes,
- les lignes électriques,
- les aéronefs.

3.1 Le bâti

Le bâti représente une importante source de collisions pour les oiseaux. En particulier, les oiseaux peuvent se heurter aux vitres des bâtiments ainsi qu'à des murs acoustiques ou parapets vitrés de ponts en bordure d'infrastructures linéaires de transport. Globalement, à partir du moment où il y a un obstacle dans l'espace aérien il est source de collision pour les oiseaux. Les phares, les piles de ponts, les tours de télécommunication, les plateformes pétrolières en mer (ex : Huppopp *et al.*, 2016) causent donc également une mortalité aviaire. Toutes les espèces d'oiseaux sont concernées. Le phénomène est aggravé la nuit ou par mauvais temps. La désorientation des oiseaux en milieu urbain dense sous l'effet des différentes nuisances (lumineuses, sonores, ...) est aussi très probablement un facteur aggravant. Les animaux transmis aux centres de sauvegarde de la LPO après avoir reçu un choc représentent entre 8 et 10 % des accueils selon les années (com. pers. Anne-Laure Dugué).

Concernant les chiroptères, il est difficile de savoir si le phénomène et son ampleur sont similaires à la situation constatée pour les oiseaux. A titre indicatif, une seule chauve-souris a été accueillie en centre de sauvegarde de la LPO. Néanmoins la petite taille de ces animaux diminue la probabilité qu'ils soient récupérés et transmis en centres.

Concernant les vitres, la collision serait due à deux principaux effets :

- la transparence du verre qui fait que l'animal ne voit pas l'obstacle,
- le reflet de l'environnement sur la vitre qui leurre l'oiseau sur la présence d'un milieu naturel à la place de la vitre.

Ainsi, les vitres totalement transparentes à travers lesquelles on peut voir le paysage ou celles qui font miroir sont particulièrement dangereuses. Les grandes baies vitrées souvent présentes sur les bâtiments modernes provoquent le plus d'accidents. Les vitres teintées, qui réfléchissent l'environnement plus fortement que celles qui ne le sont pas, sont également très meurtrières.

Il est difficile de quantifier le phénomène. Tout d'abord parce qu'il y a probablement bien plus d'oiseaux tués que de collisions comptabilisées car beaucoup de chocs passent inaperçus (petits oiseaux, délai de persistance des cadavres, bâtiments hauts, ...). Par ailleurs, même si certains oiseaux paraissent sortir indemnes du choc, des lésions internes peuvent se déclarer par la suite et entraîner la mort de l'individu plus tard. Aux Etats-Unis, il a été estimé qu'en moyenne 500 millions d'oiseaux par an étaient tués par collision avec des vitres ou des immeubles (Erickson *et al.*, 2005 d'après Klem, 1990).

3.2 Les éoliennes

Il n'existe pas de chiffre officiel en ce qui concerne le nombre d'éoliennes implantées en France. En effet, les données fournies par les gestionnaires de réseaux et les représentants de la filière éolienne sont exprimés en puissance (Watt) et non en nombre de mâts. A ce sujet, au 31/12/2018, la puissance installée était de 15,3 GigaWatt et la puissance unitaire moyenne des éoliennes avoisinait 2 MW. On peut donc estimer qu'environ 7 650 éoliennes sont actuellement exploitées en France. La hauteur moyenne des éoliennes, de l'ordre de 120 à 130 m de haut en bout de pale, masque une très forte hétérogénéité suivant les modèles : de quelques dizaines de mètres à près de 200 m de haut

Contrairement aux éléments de bâti fixes évoqués précédemment, la spécificité des éoliennes est que leurs pales bougent (le bout de la pale d'une éolienne peut se déplacer à 250 voire 300 km/h). Néanmoins ces dernières n'ont pas besoin de tourner pour être source de collision. Par ailleurs, lorsque les pales tournent, il peut y avoir mortalité sans qu'il y ait nécessairement contact avec l'éolienne. En effet, en plus des **collisions** les éoliennes peuvent engendrer également des **barotraumatismes**. La mortalité causée par barotraumatisme se fait à distance, sous l'effet des variations brutales de pression autour des pales, qui causent des lésions pulmonaires mortelles sans qu'il y ait contact direct entre l'animal et l'éolienne.

Les collisions touchent plutôt les **oiseaux** (Liechti *et al.*, 2013) alors que les **chauves-souris** quant à elles sont beaucoup plus exposées au phénomène de barotraumatisme, à cause de la fragilité de leurs tissus (Baerwald *et al.*, 2008).

Concernant les oiseaux, la LPO France a compilé et analysé 197 rapports de suivis réalisés entre 1997 et 2015 par des bureaux d'études et des associations naturalistes sur un total de 1 065 éoliennes réparties sur 142 parcs français (Marx, 2017). Le nombre de cas de collisions constatées apparaît relativement faible au regard de l'effort de prospection mis en œuvre : 37 839 prospections documentées ont permis de retrouver 1 102 cadavres d'oiseaux. L'estimation de la mortalité réelle (prenant notamment en compte la durée de persistance des cadavres et le taux de détection) varie selon les parcs de 0,3 à 18,3 oiseaux tués par éolienne et par an, des résultats comparables à ceux obtenus aux Etats-Unis (5,2 selon Loss *et al.*, 2013) ou au Canada (8,2 selon Zimmerling *et al.*, 2013).

Les espèces les plus retrouvées sous les éoliennes sont les passereaux migrateurs (qui passent par milliers, principalement de nuit). Les rapaces diurnes (faucons, milans, busards, *etc.*) qu'ils soient sédentaires où qu'ils ne côtoient les éoliennes qu'en période de nidification, sont, par contre, indéniablement les premières victimes des éoliennes au regard de leurs effectifs de population. Leur comportement en vol (faculté de manœuvre limitée en vol, chasse à proximité des éoliennes, *etc.*) les rend extrêmement sensibles aux collisions. Les grues cendrées et les cigognes sont pour le moment relativement épargnées en France (2 cas répertoriés de cigognes) mais ailleurs en Europe elles sont retrouvées en nombre.

Cette mortalité est principalement due aux enjeux avifaunes existants à proximité des éoliennes (zone Natura 2000, espace vital de rapaces, importante voie de déplacement de l'avifaune, *etc.*) et son impact est lié au nombre d'individus tués mais aussi à l'état de conservation des populations (populations déjà menacées, fragmentées, ...) et aux traits de vie d'espèces (par exemple les espèces longévives peuvent être fortement impactées par la disparition d'un nombre restreint d'individus).

Concernant les chauves-souris, le programme EUROBATS a publié en 2015 un suivi des cas de mortalité de chauves-souris dus aux éoliennes en Europe sur la base de diverses études (Rodrigues *et al.*, 2015) et la Société française d'étude et de protection des mammifères (SFEPM) a mis à jour ce tableau en 2016. Le taux de mortalité peut aller jusqu'à 15, 30, 50 chauves-souris par éolienne et par an. Sur certains sites, avant mise en œuvre de mesures de bridage, ce taux peut même être de 80 ou 90. La différence d'impacts des éoliennes varie très probablement en fonction de leur positionnement vis-à-vis des sites favorables aux chiroptères. Cela confirme la nécessité de réaliser des diagnostics en amont de l'implantation des parcs d'éoliens pour évaluer préalablement la présence d'enjeux chiroptérologiques.

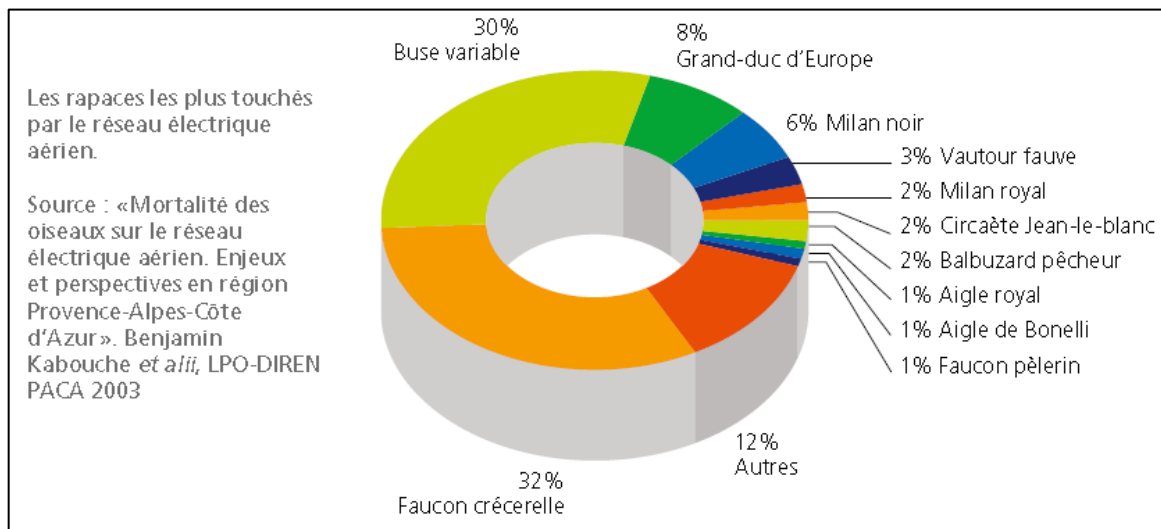
D'autres impacts potentiels existent au-delà de la mortalité directe par collision ou barotraumatisme, notamment l'altération voire la destruction d'habitats en phase de travaux et le dérangement en phase d'exploitation qui peut se traduire par des échecs de reproduction ou des pertes d'habitats (Itty & Duriez, 2018). Pour certaines espèces de chiroptères une baisse de la fréquentation a été observée dans un rayon de 1 000 mètres autour des éoliennes (Barré, 2017).

3.3 Les lignes électriques

Celles-ci peuvent provoquer à la fois des **collisions** et des **électrocutions** chez les **oiseaux** :

- les collisions surviennent le plus souvent avec les lignes « haute tension » (HT) et « très haute tension » (THT), mais parfois aussi avec le réseau « moyenne tension » (MT) et « basse tension » (BT),

- les oiseaux peuvent s'électrocuter lorsqu'ils se posent sur les poteaux (reposer, perchoir ou choix de site de nidification) ou, pour les grands voiliers (rapaces, cigognes et grues), lorsqu'ils touchent deux conducteurs (fils électriques, armements métalliques sur les poteaux...). Les électrocutions ont donc lieu le plus souvent sur des ouvrages MT ou BT (lignes ou poteaux), mais parfois aussi sur le réseau HT avec certaines configurations de pylônes.



Source : Varret *et al.*, 2016

Plusieurs facteurs influencent le risque d'interaction aviaire avec les réseaux électriques. Il existe des facteurs dépendants des oiseaux (comportement, manœuvrabilité en vol, capacités de navigation) et des facteurs externes qui peuvent concerner à la fois les caractéristiques des lignes électriques (configuration des lignes, nombre de nappes de câbles, présence d'un câble de garde) et les paramètres environnementaux tels que les habitats et les conditions météorologiques (vent, pluie, brouillard). Le rôle respectif et l'importance relative de chacun de ces facteurs dans le risque qu'un oiseau entre en collision avec une ligne électrique n'ont pas pu être scientifiquement évalués à ce jour (Bernardino *et al.*, 2018).

Selon les espèces et, en particulier, selon leur envergure, leur manœuvrabilité en vol, leurs comportements et leurs capacités de navigation, la vulnérabilité vis-à-vis des lignes électriques diffère. Selon qu'un oiseau effectue des déplacements journaliers entre des zones de reposoirs et des zones d'alimentation, des déplacements migratoires ou des mouvements de dispersion juvénile, l'individu va être exposé à un risque de collision plus ou moins fort. Toute ligne électrique implantée entre une zone de nidification ou une zone de reposoirs et des zones d'alimentation peut représenter un fort risque d'accident. Les capacités sensorielles et notamment la vision des oiseaux est impliquée dans le risque de collision (Martin, 2011). Les effets combinés des comportements de vol des techniques de chasse (repérage à distance, effet de surprise...) et de la vision des oiseaux exposent à un plus grand risque de collision les rapaces et les échassiers notamment.

Plusieurs critères de configuration paysagère influent sur le risque de collisions tels que la topographie et la couverture végétale qui peuvent engendrer des effets différents (glissière, barrage, obstacle, tremplin, sommet, ...) (Varret *et al.*, 2016). Les habitats présentent des indices qui vont être perçus par les oiseaux comme attractifs ou répulsifs et qui vont être intégrés par l'individu afin de décider du mouvement et l'exposer à un risque plus ou moins fort.

Les conditions météorologiques peuvent affecter les capacités sensorielles des oiseaux et leurs capacités de locomotion notamment le brouillard et la pluie qui peuvent contraindre la vision des oiseaux et affecter leurs capacités de navigation. Des vents forts peuvent entraver le déplacement des oiseaux, même pour des espèces agiles en vol, et affecter le risque de collision.

Une étude menée aux Etats-Unis a estimé qu'entre 12 et 64 millions d'oiseaux étaient tués chaque année par les lignes électriques : entre 8 et 57 millions par collision et entre 0.9 et 11.6 millions par électrocution (Loss *et al.*, 2014). Au Canada, entre 2,5 et 25,6 millions d'oiseaux morts sont recensés par année sur les 231 966 km de lignes de transport d'électricité du pays (principalement situés en forêt boréale). En tenant compte des biais d'évaluation, la mortalité s'étendait de 1 à 229,5 millions d'oiseaux par année. Si les estimations de la mortalité par collision des études précédemment citées sont aussi imprécises c'est parce qu'il existe des biais tels que la détection des carcasses d'oiseaux et l'enlèvement des carcasses par des charognards (Rioux *et al.*, 2013).

Ces biais sont difficiles à estimer et à généraliser car ils varient d'un site à un autre et d'une saison à une autre (Borner *et al.*, 2017). De plus, les oiseaux peuvent être blessés à la suite d'une collision avec un effet léthal différé, mais ces taux sont peu connus et rarement inclus dans les estimations. Les incertitudes qui subsistent à ce jour sur le rôle et l'importance des différents facteurs impliqués dans les collisions aviaires avec les lignes électriques ainsi que sur l'amplitude de cet impact sont intrinsèques aux méthodologies utilisées et à l'absence de standardisation des protocoles.

En France, une thèse (Borner, 2016) a été financée par RTE et réalisée sous la direction du Muséum national d'Histoire naturelle et du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive afin de proposer un cadre méthodologique pour le suivi des interactions des oiseaux avec les lignes électriques et la quantification des collisions en tenant compte des biais (détection, persistance des cadavres, ...).

A noter aussi qu'en France, un Comité National de l'Avifaune (CNA) a été mis en place en 2004 et réunit la LPO, France Nature Environnement, RTE, Enedis et le Ministère de l'écologie. Le CNA effectue notamment un suivi des percussions et électrocutions. Il diffuse deux bulletins : « Oiseaux et Lignes Electriques » - bulletin thématique sur des problématiques espèces ou techniques et « Oiseaux et Lignes Electriques – Actualités » - axé sur les événements locaux.

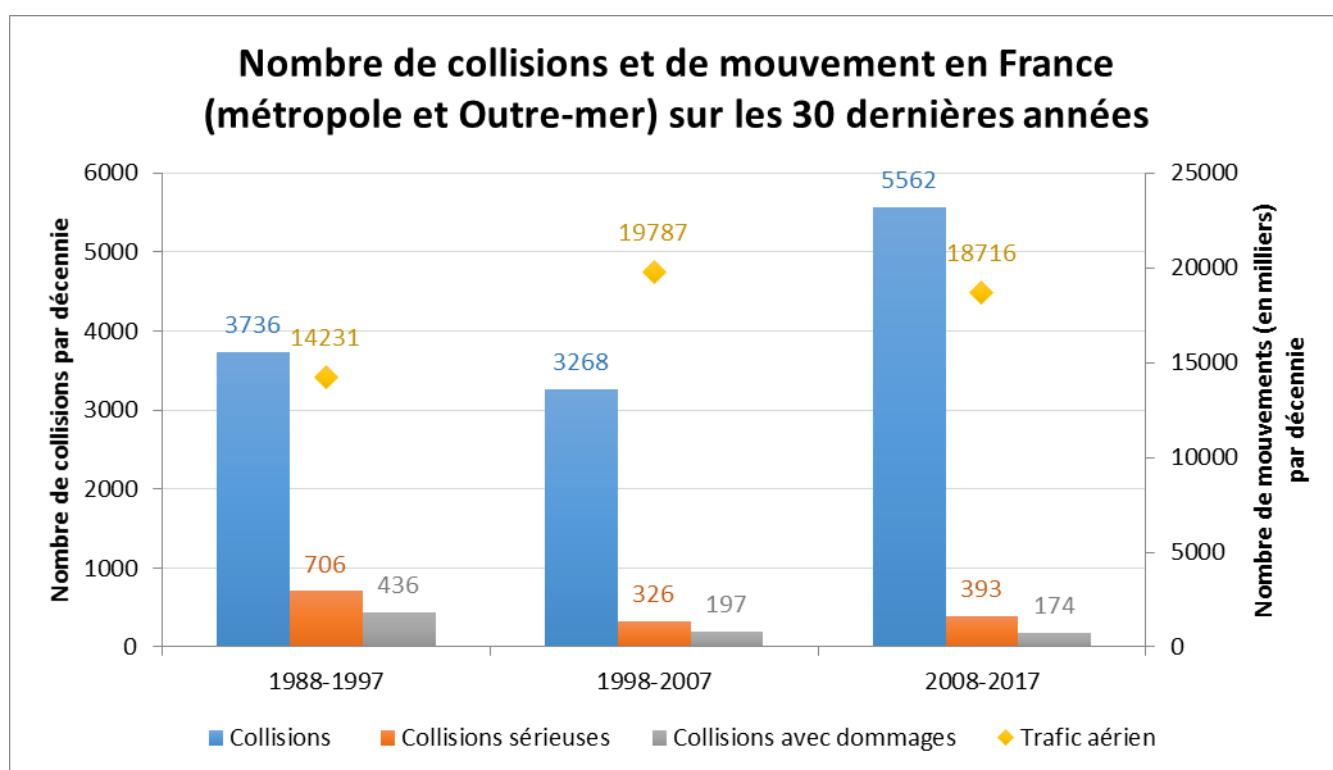
3.4 Les aéronefs

Les **oiseaux** en vol peuvent entrer en **collision** avec des aéronefs (avions, hélicoptères). La probabilité de rencontre n'est pas négligeable et le secteur de l'aéronautique parle de « risque aviaire ». Ces chocs, presque toujours fatals pour les oiseaux, peuvent également être dommageables voire destructeurs pour les aéronefs et provoquer ainsi des catastrophes aériennes.

Les accidents se concentrent surtout au décollage et à l'atterrissage (à 90 % en France comme à l'échelle mondiale), soit à une hauteur inférieure à 15 m par rapport au sol. Les incidents les plus sérieux sont deux fois plus nombreux au décollage qu'à l'atterrissage, selon la direction générale de l'aviation civile (Site internet de la DGAC).

Le premier accident d'un avion dû à une collision en vol avec un oiseau date de 1912 : une mouette s'était encastrée dans les commandes de vol et avait bloqué les câbles (Sodhi, 2002). Depuis, l'augmentation importante du trafic aérien a conduit à de nombreuses collisions. Depuis 1912, plus de 90 avions civils ont été perdus dans le monde à cause d'une collision avec un oiseau, occasionnant plus de 300 victimes (Site internet de la DGAC). L'accident majeur le plus récent reste l'amerrissage d'un Airbus A 320 dans l'Hudson à la suite d'une double ingestion (terme consacré) de Bernaches du Canada dans les réacteurs.

En France métropolitaine et outre-mer, sur la décennie 2008-2017, 5 562 collisions animalières ont été enregistrées, dont près de 7,1 % sont jugées sérieuses et près de 3,1 % ont occasionné des dommages. En comparaison, ces chiffres étaient de 3 268 collisions, 10 % sérieuses et 6 % avec dommages sur la décennie 1998-2007 et de 3 736 collisions, 18,9 % sérieuses et 11,7 % avec dommages sur la décennie 1988-1997.



Source : STAC

Les pourcentages de collisions sérieuses et avec dommages sont nettement inférieurs sur la dernière décennie. Ces évolutions positives sont à mettre en relation avec l'action conduite par l'Aviation civile et les exploitants d'aérodromes au niveau national. L'innovation technologique, notamment dans le domaine de la construction aéronautique, est également un puissant levier de réduction des dommages occasionnés sur les aéronefs.

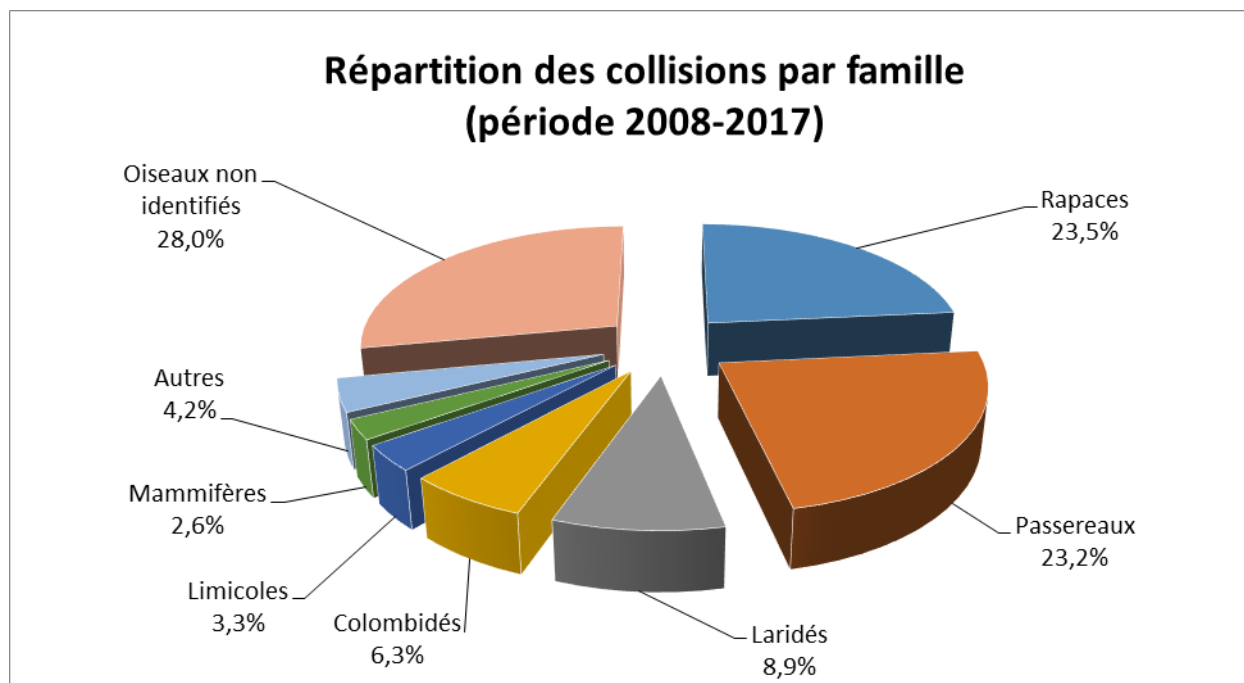
Cependant, bien que le nombre de collisions sérieuses affiche une tendance à la baisse par rapport aux années 1980, le nombre total de collisions animalières augmente, notamment sur la décennie 2008-2017. Cette évolution constatée aussi au niveau international peut s'expliquer par l'augmentation du trafic aérien, l'optimisation des procédures de recensement des collisions ou encore certaines avancées technologiques (ex : des moteurs de plus en plus silencieux qui retardent le temps de réaction des oiseaux, ...).

Au regard du nombre important de mouvements d'aéronefs, le risque de collision est bien maîtrisé : sur la décennie 2008-2017, la moyenne nationale des collisions se produisant dans le volume des aérodromes est inférieure à 3 collisions pour 10 000 mouvements commerciaux.

Le Service technique de l'aviation civile (STAC) de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) publie régulièrement depuis 2001, un rapport d'analyse du risque animalier en France. Dans le domaine du transport aérien, environ 1 200 rencontres d'animaux sont enregistrées chaque année en France dont environ 500 se produisent dans le volume des aérodromes avec des vols commerciaux.

Les oiseaux sont impliqués dans la très grande majorité des collisions, et notamment les Rapaces qui représentent le plus grand nombre de collisions (23,5 % des collisions) et les Passereaux (23,2 % des collisions). Les rapaces les plus impliqués sont respectivement, le Faucon crécerelle (en moyenne 183 collisions/an), la Buse variable (en moyenne 52 collisions/an) et

la Chouette effraie (en moyenne 20 collisions/an). Les Passereaux les plus impliqués sont les Martinets noirs (en moyenne 77 collisions/an), les Hirondelles (en moyenne 46 collisions/an) et l'Alouette des champs (en moyenne 24 collisions/an). Régulièrement des dérogations à destructions d'espèces protégées sont accordées par le Conseil national de protection de la nature (CNP) ou les Conseils scientifiques régionaux du patrimoine naturel (CSRPN) à des gestionnaires d'aéroports pour prélever des espèces protégées du fait de risques de collision et des enjeux importants tant en termes de vie humaine (164 millions de passagers en 2017) qu'en termes économiques (coût national des collisions estimé à près de 24 millions d'euros par an).



3.5 Conclusion

Parmi les trois groupes d'espèces volantes présentés au départ, de forts enjeux sont connus pour les oiseaux et les chauves-souris. Les chiroptères sont moins concernés par les aéronaves, les vitres et les lignes électriques que les oiseaux (dans l'état de nos connaissances actuelles car c'est aussi moins étudié) mais l'impact des éoliennes sur les chiroptères peut être important lorsque les mesures d'évitement et de réduction ne sont pas correctement appliquées, et il est grandissant avec un nombre d'éoliennes qui ne cesse d'augmenter. En ce qui concerne les insectes, les problématiques d'obstacles spécifiquement aériens ne semblent pas être étudiées à ce jour (autre que celles des collisions routières ou des puits écologiques liés à la lumière artificielle). La mortalité par collision, en particulier sur les lignes électriques et les éoliennes (voire le bâti), pour tous les groupes taxinomiques, est mal évaluée du fait notamment de la faible probabilité de détection des cadavres dans la végétation (Borner *et al.*, 2017 ; Erickson *et al.*, 2005).

Les obstacles aériens peuvent provoquer une mortalité directe par collision (percuSSION de l'obstacle), par électrocution (décharge électrique provoquée par l'obstacle) ou encore par barotraumatisme (implosion de l'organisme dû à un différentiel de pression atmosphérique). De plus, ils peuvent aussi modifier les **comportements de déplacements** en provoquant un évitement des zones concernées du fait des nuisances associées à ces structures (bruit, lumière artificielle, dérangement, ...). Ce mécanisme peut donc conduire à une **perte d'habitat ou à une suppression de certaines routes de vol**. Par ailleurs, il peut entraîner des dépenses énergétiques supplémentaires (ex : les oiseaux sont forcés de contourner l'obstacle dans le cadre de la migration ou de déplacements quotidiens) susceptibles de les affaiblir et, à terme, d'avoir des répercussions sur leur chance de survie. Les **effets démographiques** peuvent donc être forts (Duriez *et al.*, 2018).

En dehors des obstacles évoqués, on peut également citer d'autres types d'infrastructures telles que les ponts ou les transports par câbles (remontées mécaniques de ski par exemple) pour lesquels les problèmes sont identiques (évitement, collisions, nuisances, ...). Enfin, certains phénomènes qui existent aussi chez la faune terrestre peuvent être amplifiés ou abordés différemment chez les espèces volantes (ex : collisions avec les véhicules). A noter aussi que le fait de voler peut accentuer d'autres problématiques plus visibles depuis le ciel qu'au sol. Par exemple, les oiseaux - notamment lors de leur migration - sont fortement exposés à la pollution lumineuse (halo lumineux, phares maritimes/tours éclairées) du fait de leur mobilité aérienne (ex : Longcore *et al.*, 2013). La pollution sonore quant à elle pourrait perturber l'audition des cris de migration des

oiseaux migrateurs (vols nocturnes en particulier). Ces cris auraient plusieurs fonctions qui pourraient inclure l'orientation, l'évitement des collisions, la détection des changements de direction du vent par écholocation et monitoring de l'effet Doppler (Farnsworth, 2005).

4 Quelles mesures de gestion pour résorber ces obstacles ou réduire leurs impacts ?

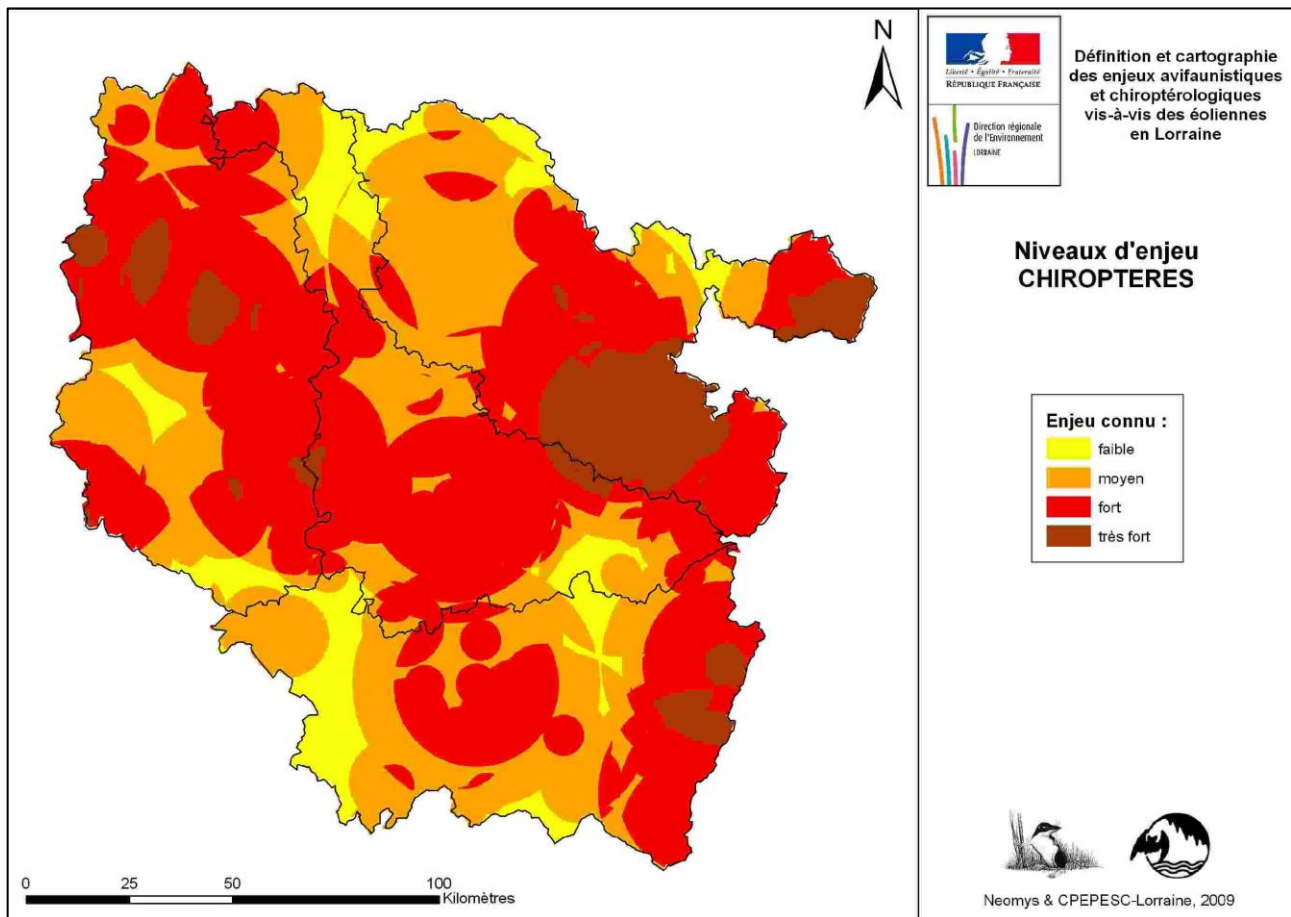
Rappelons que la plus grande marge de manœuvre pour éviter des impacts sur la faune volante se situe, en amont de l'implantation des structures potentiellement fragmentantes, dans la planification des territoires présentant de forts enjeux avifaunistiques ou chiroptérologiques.

Par exemple, pour les vitres, le choix du verre et la forme de la fenêtre importent beaucoup et peuvent réduire fortement la dangerosité difficilement réductible *a posteriori*. A ce titre, il faut privilégier les vitres avec un verre le moins réfléchissant possible (le degré de réflexion préconisé serait de 15 % maximum [à confirmer]) ou les vitres nervurées, cannelées, dépolies ou imprimées.

En ce qui concerne les éoliennes, celles-ci ne devraient pas être implantées sur les principales voies de déplacement des oiseaux et des chauves-souris et, plus généralement, sur les sites présentant de forts enjeux de biodiversité comme les Zones de protection spéciales (ZPS), les Zones spéciales de conservation (ZSC) « chauves-souris » ou encore les domaines vitaux des rapaces. A ce titre, la SFPEM a publié différents guides pour prendre en compte les chiroptères dans les projets éoliens (voir SFPEM, 2016a, 2016b, 2016c).

En France, jusqu'à présent et depuis le Grenelle de l'environnement, le choix des sites d'implantation était planifié à l'échelle régionale sur la base des Schémas Régionaux Eoliens. Ceux-ci constituaient l'un des volets annexes des Schémas Régionaux Climat Air Energies (SRCAE, instaurés par la loi Grenelle II en 2010). Les SRE déterminaient les parties du territoire régional favorables au développement de l'énergie éolienne en tenant compte des contraintes et enjeux environnementaux. Cette prise en compte est néanmoins d'un niveau variable selon les régions. Certaines ne se sont appuyées que sur les zonages réglementaires (parcs nationaux, arrêtés de protection de biotope, ...) alors que d'autres régions ont considéré ces enjeux plus largement (Sites RAMSAR, Natura 2000, ...). L'ancienne région Champagne-Ardenne, qui accueille un très grand nombre d'éoliennes, préserve même les forêts et les principales voies de migration dans son SRE.

Aujourd'hui, le dispositif a changé car les SRCAE ont été absorbés par les Srdet (nouveau schéma régional intégrateur) et les Srdet ne prévoient plus de planification aussi détaillée. Les Srdet doivent être produits par les Conseils régionaux à l'horizon 2019.



Exemple de définition d'enjeux à chiroptères à l'échelle régionale (ici en Lorraine) vis-à-vis de l'implantation de futurs parcs éoliens

4.1 Le bâti

L'une des mesures déployées pour diminuer les collisions des oiseaux sur les surfaces vitrées est la pose de silhouettes sur les vitres, dont la réelle efficacité reste néanmoins controversée.

Ces autocollants prennent souvent la forme de rapaces alors qu'en réalité les oiseaux n'y reconnaîtront pas un « ennemi ». Le seul effet de ces autocollants est de rendre la vitre partiellement visible. Des bandes verticales offriraient de bons résultats (Biber 1994, Elmiger & Trocmé 2007).

Quelle que soit leur forme, c'est donc le fait de bien matérialiser la zone dangereuse qui est important. Cette surface dangereuse à recouvrir n'est pas nécessairement l'ensemble de la surface vitrée. Cela dépend de l'environnement à proximité de la vitre qui peut provoquer des reflets (de végétation, du ciel...). Pour les vitres de rez-de-chaussée, la zone dangereuse est souvent la partie haute de la vitre. La surface dangereuse peut aussi changer en fonction de la saison. Aussi, les autocollants agissent moins au crépuscule du fait de la pénombre. Pour cette raison, le noir ou les couleurs foncées ne sont pas recommandées.

4.2 Les éoliennes

Quelques techniques permettent de réduire les impacts sans être totalement satisfaisantes.

Afin de limiter l'« effet barrière », les projets éoliens ne doivent pas être pensés perpendiculairement à l'axe de déplacement des oiseaux et leur emprise par rapport à cet axe doit être limitée au maximum (pas plus d'1 km). Des espaces suffisants d'au moins 1 250 m doivent également être préservés entre deux parcs

Pour réduire la mortalité des chauves-souris, un premier moyen est de mettre en berne les pales des éoliennes quand le vent est inférieur à 5 ou 6 m/s (environ 20 km/h). Ce procédé, effectué d'abord à titre expérimental aux États-Unis, au Canada et en Europe, tend aujourd'hui à se généraliser en France (Beucher *et al.*, 2018). Cela coûterait moins de 1 % de la production d'électricité annuelle par éolienne et les taux de mortalité diminueraient alors d'au moins 50 % et parfois même de 90 %.

Pour les oiseaux, une autre piste de solution qui se développe depuis quelques années est l'installation de systèmes d'effarouchement basés sur une détection automatisée et en temps réel de la faune volante. Les actions d'effarouchement sont généralement des émissions sonores.

Parmi les systèmes existants on peut citer ProBird ou Bird Sentinel ou encore SafeWind¹. Ce dernier système, développé par la société Biodiv-Wind SAS, serait capable de détecter et suivre des cibles mobiles même quand elles se déplacent entre des pales en rotation, aussi bien des oiseaux diurnes et nocturnes que des chiroptères.

Un autre système semblable, appelé DT Bird² pour les oiseaux et DT Bat³ pour les chiroptères a été développé par la société espagnole Liquen. DT Bird a été installé sur le parc éolien du Causse d'Aumelas dans l'Hérault en 2013 pour réduire la mortalité aviaire, notamment du Faucon Crécerellette. Sur ce parc implanté sur un territoire présentant de très forts enjeux avifaunistiques, son efficacité ne semble pas suffisante pour enrayer la mortalité de ces faucons de petite taille et au caractère crépusculaire⁴. Sur le parc d'Aumelas, il y a également une mortalité importante de Busards cendrés (15 minimum, 45 estimés).

Plusieurs études sont en cours pour évaluer l'efficacité réelle de ces dispositifs. Une étude suisse a déjà été publiée concluant à une efficacité mitigée variable selon les espèces et les sites (Hanagasioglu *et al.*, 2015). Plusieurs problèmes persistent avec ces dispositifs comme la présence d'angles morts, la portée limitée des caméras, les problèmes de contre-jours et de ciels « complexes » ou « mouvants » ou encore les pannes. Sur le long terme aussi les animaux pourraient s'accoutumer au signal sonore émis et rendre ces systèmes inefficaces avec le temps. Dans certains sites une mortalité préoccupante reste donc constatée malgré ces systèmes.

Pour les grues cendrées, un protocole impliquant DREAL, SER, FEE et LPO a été défini en Bourgogne-Franche-Comté afin de déterminer les conditions de mise à l'arrêt et de redémarrage des éoliennes lors de forts passages migratoires coïncidant avec des conditions météorologiques défavorables.

Diverses solutions de génie écologique visant à rendre le parc éolien moins attractif pour des espèces cibles tout en s'assurant de solutions de repli à proximité sont régulièrement étudiées. Il est ainsi possible de faire en sorte que le pourtour des éoliennes ne devienne pas un terrain de chasse favorable aux grands rapaces.

A noter qu'il existe depuis quelques années un programme national « Eolien & biodiversité » porté par la LPO avec le soutien de l'Ademe et du Ministère de l'écologie (MTES). Son objectif est d'améliorer l'intégration environnementale des parcs éoliens français notamment vis-à-vis des vertébrés volants sur terre et en mer. Ce programme implique différents acteurs privés et publics en charge de la promotion et de la réalisation du programme éolien français (SER-FEE, Syndicat des Énergies Renouvelables et France Énergie Éolienne) ainsi que des experts naturalistes. Un site internet d'information a été mis en place (<https://eolien-biodiversite.com/>).

4.3 Les lignes électriques

Il existe trois possibilités pour réduire les risques d'électrocutions des oiseaux sur les lignes électriques :

- dissuader les oiseaux de se poser à l'aide de cierges ou autres dispositifs hostiles. Ces dispositifs sont surtout efficaces lorsqu'ils sont oscillants et placés en oblique,
- neutraliser ou isoler les lignes par des gaines isolantes par exemple. D'autres systèmes (capuchons, protections...) permettent d'isoler des matériels tels que les transformateurs sur poteaux et des armements,
- inciter les oiseaux à se poser ailleurs sur des perchoirs plus attractifs que les armatures. Des perchoirs positionnés à environ 50 m au-dessus des conducteurs fournissent aux oiseaux des points d'observation plus élevés et une plus grande facilité d'accès. L'environnement, mais surtout la nature, la forme et la position de ces perchoirs les rendent plus ou moins efficaces. Par ailleurs, il est nécessaire de compléter leur installation par une gaine isolante car certains oiseaux se posent tout de même sur l'armement et s'électrocutent.

En ce qui concerne les collisions, des dispositifs anti-collisions sont installés depuis le début des années 1990 sur les ouvrages existants et en construction :

- l'avertissement visuel : des spirales ou balises d'aviation colorées sont disposées sur le tronçon d'ouvrage (conducteur ou câble de garde). Elles rendent les câbles plus visibles, ce qui permet aux oiseaux de les éviter. Des balises blanches et rouges sont donc posées en alternance sur les câbles : rouges pour les oiseaux à activité diurne, blanches pour

¹ <https://biodiv-wind.com:8443>

² <http://www.dtbird.com/index.php/fr/>

³ <http://www.dtbat.com/>

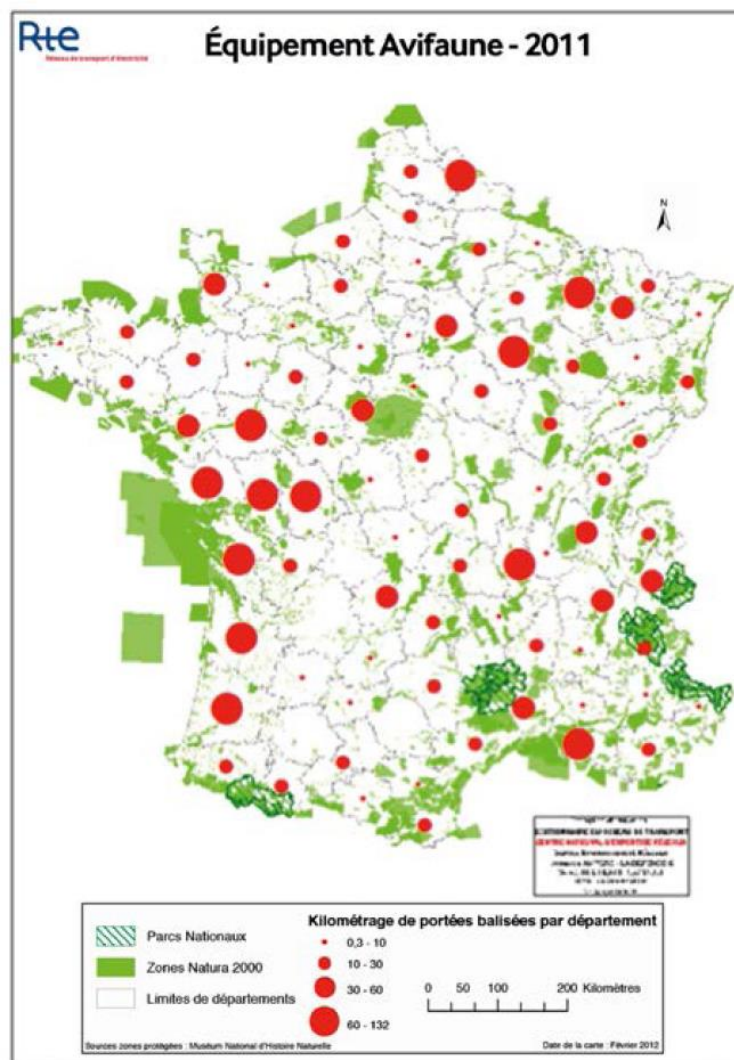
⁴ https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/duriez-o_seb2017_.pdf

les oiseaux à activité crépusculaire. En France, des balises dites « avisphères » ont récemment été développées et sont le fruit d'une collaboration entre RTE et la LPO, au sein du Comité National Avifaune (CNA). Formées de deux demi-sphères, l'une de couleur rouge, l'autre de couleur blanche, elles sont photoluminescentes (Borner, 2016). Les spirales (ou queues de cochon), par le léger sifflement qu'elles émettent lorsque le vent souffle, agissent de plus comme un avertissement sonore perceptible par l'ouïe fine de certains oiseaux,

- l'effarouchement visuel : des effigies de rapaces peuvent être mises en place en haut des pylônes pour effrayer certaines espèces d'oiseaux. A la vue du prédateur, les oiseaux modifient leur hauteur de vol ou s'éloignent de la ligne.

L'efficacité de ces dispositifs a été peu étudiée de manières expérimentale et robuste avec un protocole de type BACI. Globalement les études montrent une réduction du nombre de collisions après marquage de la ligne (Avian Power Line Interaction Committee (APLIC), 2012 ; Barrientos *et al.*, 2012 ; Drewitt and Langston, 2008). Ces systèmes permettraient de réduire de 50 à 80% la fréquence de collision (Jenkins *et al.*, 2010).

Enfin il existe aussi la possibilité d'enfourer les lignes, que ce soit pour réduire le risque d'électrocution ou de collision, ce qui est fait pour tous les raccordements liés aux EnR. Il s'agit de la mesure de réduction des interactions entre oiseaux et lignes électriques la plus efficace puisqu'elle supprime la fragmentation de l'espace aérien. Dans les zones identifiées à fort risque, ce type de mesure pourrait être mis en place pour créer des « réserves » aériennes



Source : Varret *et al.*, 2016

4.4 Les aéronefs

Depuis juillet 1989, la lutte contre le risque aviaire est réglementée en France. En 2014, l'Europe, à travers le règlement (UE) n°139/2014, a aussi publié de nouvelles règles dans ce domaine en introduisant notamment des exigences en matière de surveillance des abords des aérodromes et de gestion du risque animalier.

Depuis 2009, les aérodromes d'intérêt national en France ont été dotés d'un service de prévention du péril animalier chargé de mettre en œuvre les méthodes d'effarouchement (ex : quinze personnes à Roissy et onze à Orly sont exclusivement occupées à maîtriser le risque lié à la présence d'oiseaux sur toute la superficie de l'aéroport pendant la période d'activité des oiseaux soit de 30 min avant le lever du soleil à 30 min après son coucher).

Des actions préventives sont mises en place pour réduire l'attractivité des aéroports pour les espèces animales jugées dangereuses pour la sécurité aérienne. Concrètement, cela consiste à supprimer (ou aménager) tout ce qui peut favoriser la présence dangereuse d'oiseaux pour la navigation aérienne (mares (la pose d'un filet au-dessus d'un bassin de retenue peut suffire à en limiter l'attractivité pour les espèces dangereuses pour la sécurité aérienne), arbres propices à servir de perchoirs, fauches adaptées à la biologie des espèces cibles, ...). Ces actions n'ont pas toujours des résultats immédiats et doivent donc être combinées à des actions curatives de lutte animalière.

Pour ce faire, différentes méthodes et moyens d'effarouchement ont été développés, basés sur des équipements acoustiques, pyrotechniques, optique, voire de chasse (tirs de fusée détonante ou crépitante, effarouchements ponctuels, torches laser, imitations de cris de détresse régulièrement renouvelés, *etc.*). Des fauconniers sont aussi utilisés sur certains aéroports militaires et civils (cela a été testé à Marseille, en complément des autres techniques). Des dispositifs d'alerte couplés à un radar à détection existent sur certains aéroports internationaux. La Direction de l'aviation civile, via son service technique (STAC), participe chaque année à la conception, au test et à la qualification de nouveaux matériels d'effarouchement.

Une élimination physique par tir à la carabine est le dernier recours utilisé pour éviter la collision d'un oiseau avec un aéronef. En cas d'espèce protégée une dérogation CNPN doit être accordée au gestionnaire d'aéroport. Parmi les espèces les plus prélevées on retrouve notamment les goélands. Ces prélèvements peuvent aussi concerner des espèces à forts enjeux de conservation et ils sont alors susceptibles d'impacter certaines populations.

Par exemple, des outardes canepetières sont régulièrement prélevées à l'aéroport de Marseille alors que les populations sont déjà fragiles. De 2013 à 2016, 72 outardes ont été tirées (38 en 2013, 16 en 2014, 8 en 2015 et 10 en 2016)⁵. Il n'y a pas eu de demande de dérogation pour 2019 a priori. La présence de cette espèce sur les aéroports peut être expliquée par un environnement de plus en plus contraint autour de ceux-ci (urbanisation dense, agriculture intensive...), faisant des sites aéroportuaires avec leurs espaces ouverts des zones refuges. L'aéroport peut alors agir sur son emprise mais n'a pas réellement de moyens d'action ou d'outils pour agir en dehors. Or, la présence d'outardes est effectivement dangereuse pour la sécurité aérienne. Entre 2008 et 2017, 91 outardes (minimum) ont été tuées par collision et en février 2016 un accident est survenu à l'aéroport de Marseille-Provence (la collision avec plusieurs outardes a provoqué des dommages au niveau du moteur et du train d'atterrissage d'un A320).

Des protocoles ont aussi été calibrés pendant les décollages et atterrissages. Ainsi, si la présence d'oiseaux est détectée, la tour de contrôle est avertie par l'équipage et fera intervenir le service de prévention du risque animalier.

Depuis 1979, les états membres de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) sont invités à signaler tous les impacts d'oiseaux enregistrés dans le monde. En Europe, depuis 2003, Eurocontrol demande aux Etats membres de la communauté européenne de collecter, analyser, traiter et stocker l'information relative à la sécurité aérienne. En France, un décret de 2007 prévoit que les impacts d'animaux soient collectés au plan national. Après un vol, tout impact d'oiseaux, aussi minime soit-il, doit donc faire l'objet d'un « compte-rendu de rencontre d'oiseaux » (Fiche de notification d'événement). Une plateforme en ligne, appelée PICA (Programme d'information sur les Collisions animalières), a été développée par le Service technique de l'aviation civile (STAC) de la DGAC depuis les années 80 pour consulter les données de collisions entre animaux et aéronefs enregistrées en France depuis 1982 : <http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/picaweb/>

Enfin, il est nécessaire de mieux anticiper le parcours des oiseaux migrateurs, surtout pour les avions militaires qui se trouvent souvent à la même altitude qu'eux. Dans les pays d'Europe du Nord, il existe des systèmes de prévisions : quand les oiseaux sont trop nombreux, les sorties militaires sont interrompues. En France, où l'armée perd quasiment un avion de chasse tous les quatre ans à cause des oiseaux, les vols ne sont pas suspendus. A Air France le nombre d'incidents sérieux a été divisé par trois en dix ans⁶. Le STAC travaille actuellement sur un projet d'information et de cartographie des flux migratoires et de la présence des espèces jugées à risque pour la sécurité aérienne actualisées régulièrement.

⁵ DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER (2018). *Gestion de la colonie d'Outarde canepetière (Tetrax tetrax) de l'aéroport de Marseille-Provence*. 3 pages.

⁶ <http://www.lefigaro.fr/sciences/2009/01/22/01008-20090122ARTFIG00009-avions-et-oiseaux-incident-par-an-en-france-.php>

5 Quelle prise en compte de la problématique des déplacements aériens dans la TVB actuellement ?

5.1 Dans les Orientations nationales TVB

L'échelle nationale de la TVB repose sur un document cadre, les « Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques » (ON TVB), approuvé par le décret n°2014-45 du 20 janvier 2014.

Au sein des ON TVB, cette problématique aérienne est évoqué à trois endroits :

- **concernant les axes migratoires et les zones de halte** : « en intégrant les différents *sites utilisés par les espèces migratrices ainsi que leurs axes migratoires*, notamment les sites de transit utilisés durant la migration, en vérifiant qu'ils restent ou redeviennent accessibles ». Les axes aériens ne sont pas spécifiés mais ils sont inclus de fait.

=> Où dans les ONTVB ? Partie 1, paragraphe « La Trame verte et bleue : objectifs », sous-objectif 1 « de conserver et d'améliorer la qualité écologique des milieux et de garantir la libre circulation des espèces de faune et de flore sauvages », Page 5.

- **concernant les couvertures végétales permanentes le long des cours d'eau** mentionnées au I de l'article L. 211-14 du code de l'environnement : elles sont intégrées aux corridors écologiques de la Trame verte et bleue, notamment parce qu'elles permettent « le déplacement de certaines espèces par voie aquatique, terrestre ou aérienne ».

=> Où dans les ONTVB ? Partie 2 « Guide méthodologique » qui concerne les « Enjeux nationaux et transfrontaliers » et plus précisément les « Enjeux relatifs à certains espaces protégés ou inventoriés », Page 13.

- **concernant les « continuités écologiques d'importance nationale »** : une carte dédiée aux voies de migrations de l'avifaune a été réalisée par le MNHN en 2010 en effectuant une synthèse de différentes cartes existantes sur les voies de migration. Cette carte fait partie des 6 cartes de continuités écologiques d'importance nationale, à prendre en compte par les Schéma régionaux de cohérence écologique (SRCE) et les Schéma régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (Sraddet).

=> Où dans les ONTVB ? Partie 2 « Guide méthodologique » qui concerne les « Enjeux nationaux et transfrontaliers » et plus précisément « Les continuités écologiques d'importance nationale », Page 16.

En revanche, la notion d'**obstacles** est très peu précisée dans les ON TVB (et pas davantage dans le Code de l'environnement). Le § 2.2 « Présentation de la Trame verte et bleue régionale » des ON TVB demande que figurent dans le SRCE « la localisation, la caractérisation et la hiérarchisation des obstacles aux continuités écologiques constitutives de la Trame verte et bleue régionale » (page 19). Sans plus de précision, la notion d'obstacles est donc très large et inclut en théorie à la fois la composante aquatique, terrestre ou aérienne de la TVB et les obstacles aussi bien physiques qu'immatériels (son, lumière, ...).

Dans la version révisée des ON TVB (en cours de consultation), une définition a été insérée dans la partie « 1.2 Un réseau écologique fonctionnel » pour préciser ce qui est entendu par « obstacle » : « *Un obstacle aux continuités écologiques est un élément d'origine anthropique ou une partie de territoire anthropisé qui a pour conséquence de fragmenter les habitats et de limiter ou de rendre impossible son franchissement par certaines espèces. Il peut être ponctuel, linéaire ou surfacique et de diverses natures (infrastructure, barrage, milieux dégradés, paysages simplifiés, sols artificialisés ou anthropisés, pollution lumineuse, chimique, sonore...)* »

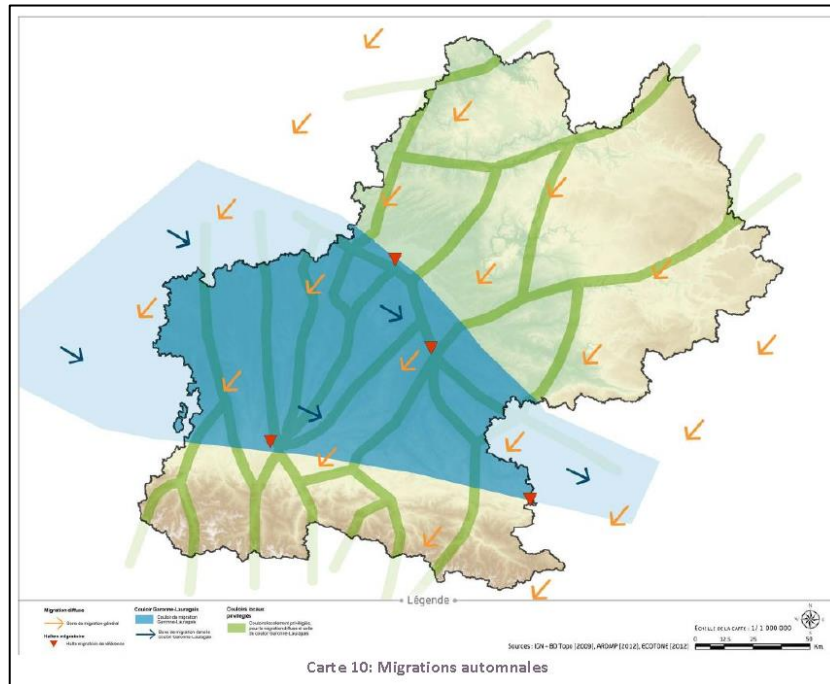
5.2 Dans les Schémas régionaux de cohérence écologique

5.2.1 Eléments de diagnostic

Dans certains SRCE, le diagnostic comprend des éléments sur les axes de déplacements des espèces aériennes et sur les réseaux d'infrastructures aériennes constituant des sources potentielles d'obstacles (Sordello, 2016 ; Vanpeene *et al.*, 2017).

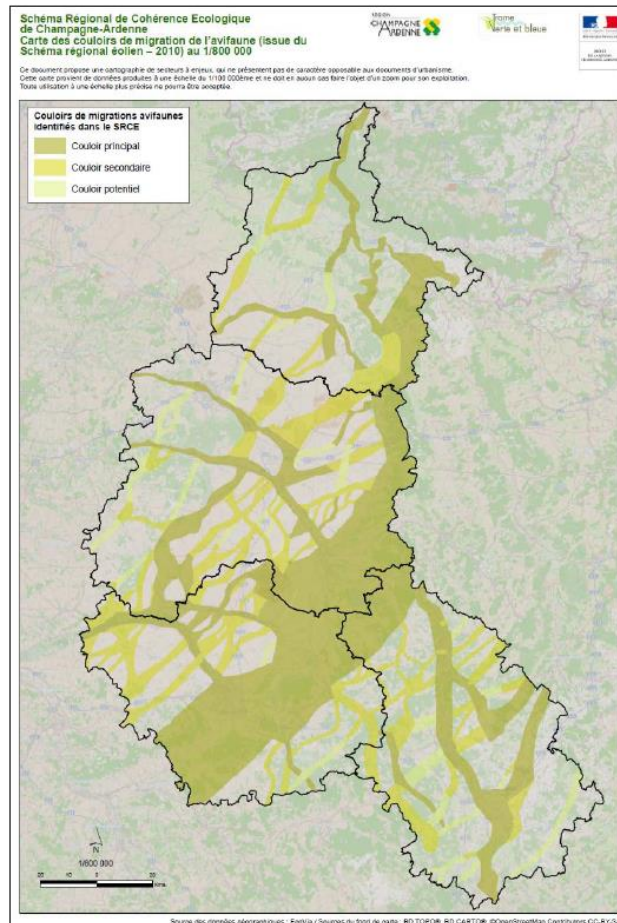
5.2.1.1 Les axes de déplacements des espèces aériennes :

Le volet diagnostic du SRCE Midi-Pyrénées (page 97) possède un paragraphe sur « les continuités aériennes ». Ce paragraphe inclut notamment des cartes figurant les principaux axes de migration automnale et printanière.



SRCE Midi-Pyrénées (Diagnostic p97)

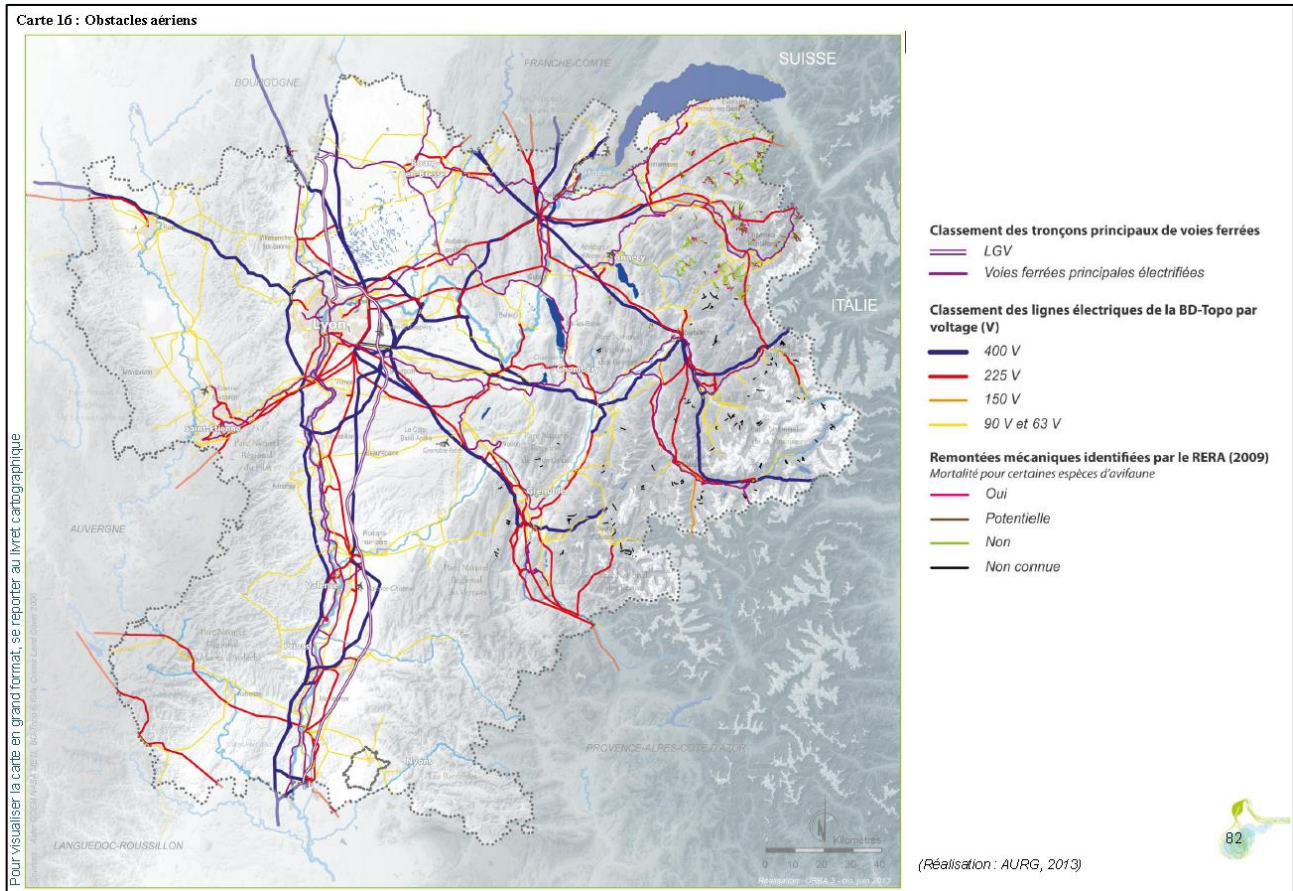
Il en est de même du volet diagnostic du SRCE Champagne-Ardenne (page 60).



Source : SRCE Champagne-Ardenne (Diagnostic p60)

5.2.1.2 Le réseau d'infrastructures aériennes

Le volet diagnostique du SRCE Rhône-Alpes (page 82) aborde la fragmentation de l'espace pour les espèces à déplacement aérien. A ce titre, il identifie les voies ferrées électrifiées, les éoliennes, les réseaux électriques et les transports par câbles (de remontée mécanique ou de débardage) mais aussi les haubans des ouvrages d'art et les surfaces vitrées des bâtiments. Une carte des obstacles aériens localise les tronçons de voie ferrée électrifiés, les lignes électriques et les remontées mécaniques (présentées en fonction du risque de mortalité qu'elles occasionnent).



Source : SRCE Rhône-Alpes (Diagnostic p82)

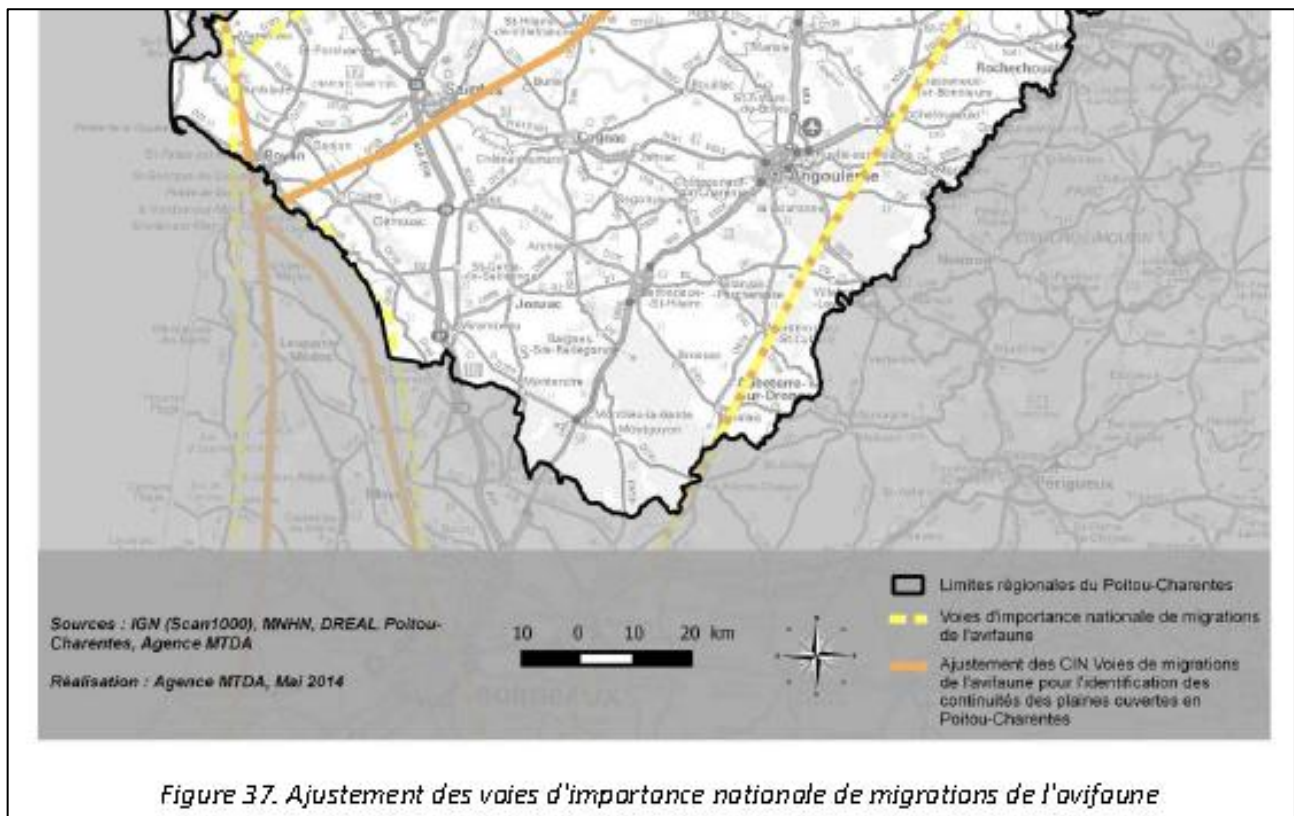
Les ouvrages de production d'énergie (éoliennes et champs photovoltaïques) sont cités par les SRCE Bo, CA, HN, Lo, LR, MP, NPdC, Pi, PC, PdL, RA (Vanpeene *et al.*, 2017).

5.2.2 La démonstration de prise en compte de la carte avifaune ONTVB

Le centre de ressources Trame verte et bleue a effectué un bilan de l'intégration des enjeux de cohérence nationale TVB dans les SRCE (Sordello, 2016). Ce bilan s'est donc intéressé entre autres à la prise en compte de la carte des continuités écologiques d'importance nationale des voies de migration de l'avifaune par les SRCE. Le bilan montre que la prise en compte de cette carte s'est traduite sous différentes formes. Elle a pu alimenter le volet diagnostique du SRCE, comme précisé précédemment.

Certaines régions ont également procédé à des démonstrations par croisement cartographique entre cette carte et leurs continuités écologiques régionales. Dans ce cas, le fait que cette carte ne corresponde pas à une sous-trame spécifique dans le SRCE a pu poser des difficultés. En effet contrairement aux autres cartes nationales des ON TVB, celle-ci a une entrée espèces (migration des oiseaux) et non pas milieux (ouverts thermophiles, boisés, ...). Certaines régions ont alors effectué leur croisement cartographique en choisissant une certaine sous-trame, généralement celle des milieux ouverts (ex : « *La cohérence est assurée à travers la prise en compte globale des milieux ouverts.* » en Auvergne, « *Prise en compte des CIN concernées dans l'identification de corridors aériens pour la sous-trame Plaines ouvertes : cette sous-trame concerne en grande partie l'avifaune* » en Poitou-Charentes).

La prise en compte de cette carte nationale repose aussi dans certains cas sur l'intégration de certains sites migratoires connus (de passage, de haltes ou d'hivernage), souvent des zones humides (ex : « *Les principaux sites de migration et d'hivernage cités dans les orientations nationales sont bien intégrés parmi les composantes du SRCE* » en région Centre, « *L'ensemble des grandes zones humides ont été intégrées comme réservoirs d'intérêt régional entre autres pour leur fonction d'accueil des oiseaux migrateurs et sédentaires* » en Pays-de-Loire).

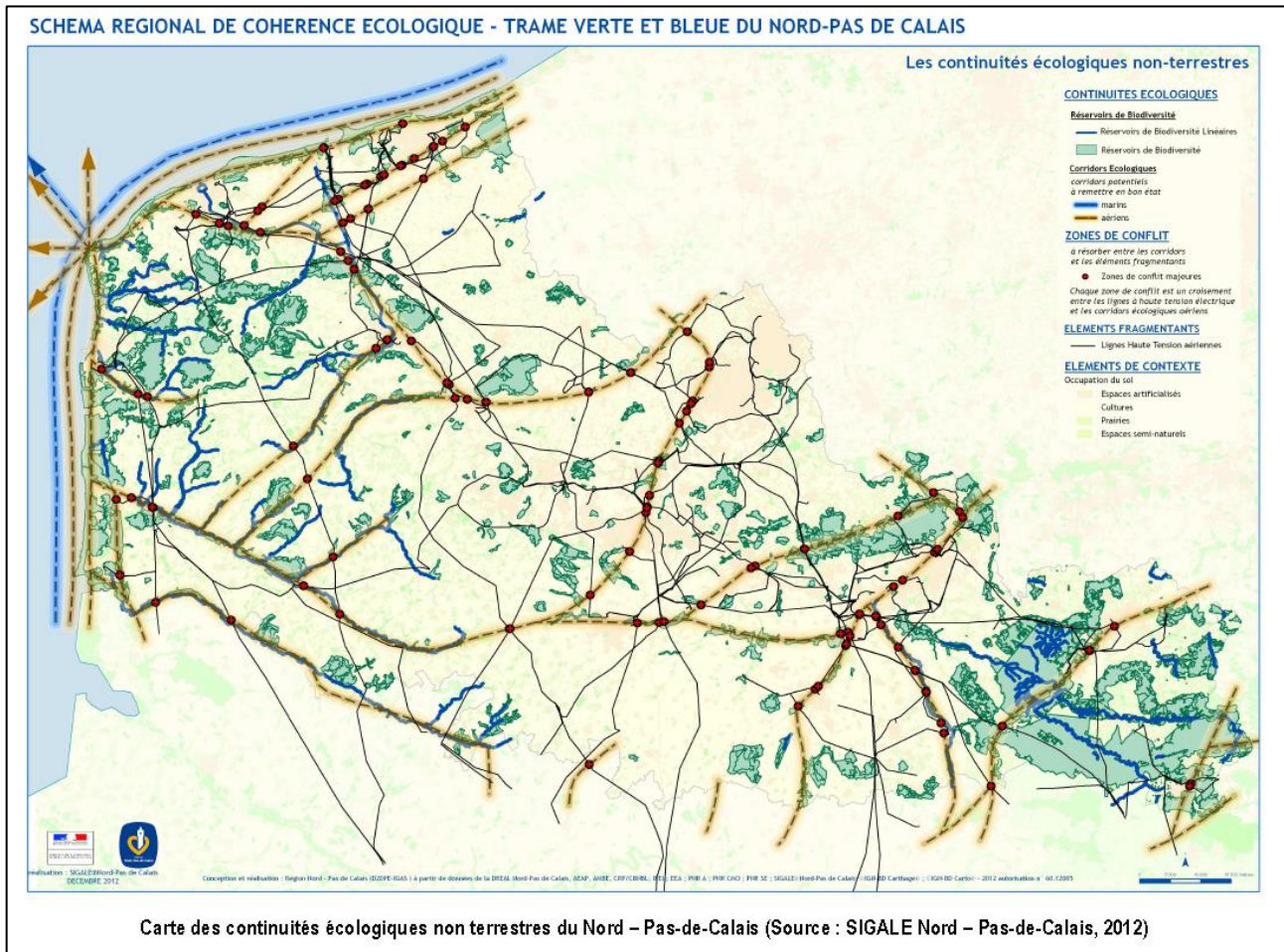


Source : SRCE Poitou-Charentes (Volet b p142-145)

5.2.3 La caractérisation des obstacles aux continuités écologiques

Le Centre de ressources TVB a effectué un bilan des méthodes d'identification des obstacles dans les SRCE (Vanpeene *et al.*, 2017). Ce bilan montre que plusieurs SRCE mentionnent les lignes électriques comme source de fragmentation (Alsace, Auvergne, Champagne-Ardenne, Bretagne, Nord-Pas-de-Calais, ...).

Par exemple, le SRCE Nord-Pas-de-Calais présente une carte des continuités écologiques non terrestres où les lignes HT aériennes sont identifiées comme des éléments fragmentants. Des zones de conflit importantes ont été matérialisées aux intersections entre les lignes électriques à haute tension de la BD Carto de l'IGN et les principales voies de déplacement des oiseaux identifiées dans le Nord-Pas-de-Calais.



Source : SRCE Nord-Pas-de-Calais (p176)

Quelques SRCE n'abordent pas ou très peu les réseaux de transport aérien comme source de fragmentation (BN, Ce, IdF, Li, Lo, MP, PdL, PC). Cela peut être justifié par des impacts jugés inexistantes (ex : en Centre du fait du relief) ou par un manque de données empêchant de statuer (ex : Midi-Pyrénées).

6 Aller plus loin : vers une trame aérienne ?

Comme pour d'autres problématiques particulières, il est justifié de se poser la question de la nécessité d'identifier un **réseau dédié aux enjeux aériens** (Sordello, 2017).

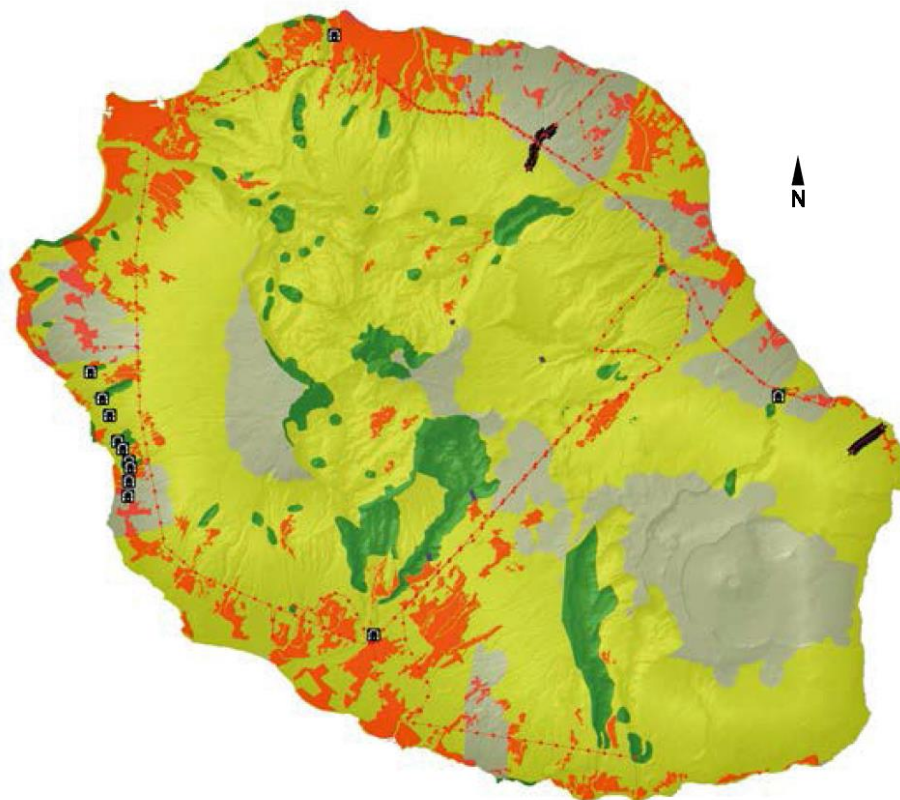
En effet, il peut y avoir un intérêt à identifier un réseau de réservoirs et de corridors pour préserver certaines zones de l'implantation de nouveaux obstacles aux déplacements de la faune aérienne (éoliennes, lignes électriques, ...). Cette approche « préventive » permettrait de ne pas être simplement dans la résorption d'obstacles existants mais bien d'éviter une dégradation des continuités écologiques empruntées par la faune volante. Une terminologie est déjà employée par certains acteurs pour qualifier cette « nouvelle » trame, la « **trame aérienne** ». La terminologie « trame aérienne » peut être trompeuse car l'emprise des réservoirs et des corridors est forcément au sol. Néanmoins, ces continuités écologiques seraient définies pour leur usage dans la colonne d'air.

On retrouve une trame aérienne constituée de réservoirs et de corridors dans le schéma de la DEAL Réunion. Les obstacles à ces continuités écologiques ont aussi été figurés, il s'agit des milieux urbains (problématique de l'éclairage nocturne), des lignes électriques, des transports par câble, des ponts et des éoliennes. Il serait nécessaire de creuser davantage cette expérience menée à la Réunion afin de mieux comprendre ce que représentent concrètement les réservoirs et les corridors de cette trame aérienne et comment ceux-ci ont été identifiés.

TRAME AÉRIENNE



Photo : S. Blond



➔ Carte de synthèse de la trame aérienne

Source : DEAL Réunion, 2014

Le SRCE Rhône-Alpes prévoit de faire de même prochainement dans son plan d'action stratégique (« *Cartographier la Trame aérienne pour la révision du SRCE* »). La LPO a rédigé une note de proposition à ce sujet (LPO, 2013).

Comme présenté précédemment, certains SRCE comportent déjà des cartes des voies de migration de l'avifaune (ex : Midi-Pyrénées) ou des chiroptères (ex : Champagne-Ardenne). En revanche, pour le moment ces cartes sont indicatives et constituent uniquement des éléments de diagnostic.

7 Conclusion et perspectives

Ce rapport effectue un premier bilan des enjeux relatifs aux espèces volantes. Il montre ainsi que la faune aérienne est effectivement confrontée à des obstacles particuliers (éoliennes, lignes électriques, ...) qui soulèvent donc des problématiques spécifiques comparativement à la faune terrestre. La problématique est néanmoins complexe car un même obstacle peut être à la fois terrestre (parce qu'il repose sur le sol) et aérien (parce qu'il est relativement élevé) et que cette distinction peut être difficile à délimiter selon les espèces (ex : hauteurs de vols variables). Dans certains cas, il faudrait sans doute plutôt parler de la partie terrestre ou aérienne d'un l'obstacle.

La meilleure manière de traiter ces enjeux reste encore à définir. Sur la base de ce diagnostic, il serait donc intéressant de poursuivre la réflexion sur les façons de prendre en compte cette problématique aérienne dans la Trame verte et bleue, notamment en vue de la future révision des orientations nationales TVB.

A ce stade plusieurs pistes et besoins apparaissent :

- pour approfondir la définition d'une trame aérienne, un **travail d'analyse et de cartographie** serait à mener. Celui-ci concernerait à la fois les éléments de « rugosité » (pression) entravant les déplacements des espèces volantes (lignes

électriques, éoliennes, *etc.*) et les couloirs aériens de la faune (au moins chiroptères et oiseaux dans un premier temps). Cela permettrait à terme d'aller vers une carte nationale des enjeux de biodiversité aérienne qui caractériserait les zones à préserver et à restaurer (et donc permettrait de mieux orienter la planification des futures infrastructures). Ce travail s'inscrirait ainsi dans la continuité de la carte des voies de migration de l'avifaune d'ores et déjà intégrée aux ON TVB. Cette démarche pourrait aussi aboutir à la construction d'un indicateur national (à inscrire dans l'Observatoire National de la Biodiversité), par exemple indicateur de pression (niveau et évolution de la rugosité aérienne en France) en compilant les données.

- un **guide technique de préconisations**, par type d'obstacles et par groupe d'espèces, pour gérer les obstacles aériens semble nécessaire, en complément des recommandations déjà formulées dans le présent rapport,

- enfin, des **synthèses bibliographiques (de types revues systématiques)** paraissent nécessaires pour mieux comprendre les modalités des flux aériens pour les espèces à vols actifs et, si possible, pour les organismes dispersés par le vent. Ces synthèses pourraient traiter différents paramètres de vols (hauteurs, distances maximales parcourues, *etc.*) et éventuellement leurs corrélations avec les caractères morphologiques des animaux déterminant la manœuvrabilité (longueurs des ailes, charges alaires, *etc.*). Tous ces éléments pourraient aider à émettre ensuite des recommandations de gestion d'obstacles ou à de la planification. Un travail a déjà été effectué en ce sens sur les chauves-souris (Voigt *et al.*, 2018) mais nécessite peut-être d'être complété ; par ailleurs, il ne semble pas exister d'équivalent sur les oiseaux.

8 Références citées

ABLE K.P. & ABLE M.A. (1999).— Evidence for calibration of magnetic migratory orientation in Savannah sparrows reared in the field. *Proceedings of the Royal Society*. Vol. 266, n°1427. Pp. 1477-1481. <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0803>

AVIAN POWER LINE INTERACTION COMMITTEE (APLIC) (2012).— *Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012*. Edison Electric Institute and APLIC. Washington, D.C.

BAERWALD E.F., D'AMOURS G.H., KLUG B.J. & BARCLAY R.M.R. (2008).— Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology*. Vol. 18, n°16. Pp. 695-696. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.06.029>

BARRÉ K. (2017).— *Mesurer et compenser l'impact de l'éolien sur la biodiversité en milieu agricole. Sciences agricoles*. Thèse de doctorat. Museum national d'histoire naturelle, Paris. 363p.

BARRIENTOS R., PONCE C., PALACIN C., MARTIN C.A., MARTIN B. & CARLOS ALONSO J. (2012).— Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. *PLOS ONE*. Vol. 7, n°3:2569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032569>

BERNARDINO J., BISPO R., COSTA H. & MASCARENHAS M. (2013).— Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology*. Vol. 40, n01, Pp. 63-74. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.758155>

BEUCHER Y., RICHOU C., ALBESPY F. (2018).— *Mortalité des chiroptères - Analyse comparée de la mise en place de mesures de régulation de 3 parcs éoliens*. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pp. 81-87.

BIBER J.P. (1994).— *Parois paraphones transparentes et collision d'oiseaux*. Bureau NATCONS, Bâle. 6p.

BORNER L. (2016).— *Apports méthodologiques à l'étude des interactions des oiseaux avec le réseau de transport d'électricité en France*. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur du Museum national d'Histoire naturelle - Spécialité Ecologie. 188 p.

BORNER, L., O. DURIEZ, A. BESNARD, A. ROBERT, V. CARRERE, AND F. JIGUET. (2017).— Bird collision with power lines: estimating carcass persistence and detection associated with ground search surveys. *Ecosphere*. Vol. 8, n°11:e01966. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1966>

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'AMENAGEMENT ET DU LOGEMENT DE LA REUNION (2014).— *Etude préalable d'identification et de cartographie des réseaux écologiques à la Réunion*. 27p. http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/Infodoc/ged/viewportalpublished.ashx?eid=IFD_FICJOINT_0014222_&search=

- DREWITT, A.L., AND LANGSTON, R.H.W. (2008).— Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. In *The Year in Ecology and Conservation Biology*. Vol. 1134, Pp. 233-266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- DURIEZ O., PILARD P., SAULNIER N., BOUZIN M., BOUDAREL P., BESNARD A. (2018).— *Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette*. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pp. 49-65.
- ELMIGER C. & TROCMÉ M. (2007).— *Developing Fauna-Friendly Transport Structures : Analysis of the Impact of Specific Road Engineering Structures on Wildlife Mortality and Mobility*. Escholarship University of California. Pp. 212-219. <http://www.escholarship.org/uc/item/6gm8h39h>
- ERICKSON J.W., JOHNSON G.D., YOUNG JR D.P. (2005).— *Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Pp. 1029-1042.
- FARNSWORTH A. (2005).— Flight calls and their value for future ornithological studies and conservation research. *The Auk*. Vol. 122, n°3. Pp. 733-746.
- GRAHAM R.M. (2011).— « Understanding Bird Collisions with Man-Made Objects: A Sensory Ecology Approach ». *Ibis*. Vol. 153, n° 2 (avril 2011), Pp. 239-254. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01117.x>
- GUINARD E. (2013).— *Infrastructures de transport autoroutières et avifaune : les facteurs influençant la mortalité par collision*. Thèse de Doctorat. Ecole Pratique des Hautes Etudes. 243p.
- HÜPPOP O., HÜPPOP K., DIERSCHKE J. & HILL R. (2016).— Bird collisions at an offshore platform in the North Sea. *Bird Study*. Volume 63. Numéro 1. Pp. 73-82. <https://doi.org/10.1080/00063657.2015.1134440>
- ITTY C. & DURIEZ O. (2018).— *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : l'exemple de l'aigle royal (Aquila chrysaetos) dans le sud du massif central*. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 42-48.
- JENKINS A.R., SMALLIE J.J. & DIAMOND M. (2010).— Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conservation International*. Vol. 20, n°3, Pp. 263-278. <https://doi.org/10.1017/S0959270910000122>
- LIECHTI F., GUÉLAT J. & KOMENDA-ZEHNDER S. (2013).— Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. *Biological Conservation*. Vol. 162. Pp. 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.03.018>
- LONGCORE T., RICH C., MINEAU P., MACDONALD B., BERT D.G., SULLIVAN L.M., MUTRIE E., GAUTHREAUX JR S.A., AVERY M.L., CRAWFORD R.L., MANVILLE II A.M., TRAVIS E.R., DRAKE D. (2013).— Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where?. *Biological conservation*. Vol. 158. Pp. 410-419. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.019>
- LOSS S., WILL T., & MARRA P. (2013).— Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation*. Vol. 168. Pp. 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.007>
- LPO (2013).— *Contribution de la LPO Rhône-Alpes au volet « stratégie et mesures » du Schéma Régional de Cohérence Ecologique*. 3p. https://auvergne-rhone-alpes.lpo.fr/IMG/pdf/trame_aerienne_note_lpora_v3.pdf
- MARX G. (2017).— *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015*. LPO France. 92p.
- RIOUX S., SAVARD J.P.L. & GERICK A.A. (2013).— Avian mortalities due to transmission line collisions: A review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. *Avian Conservation and Ecology*. Vol. 8, n°2. 7p. <https://doi.org/10.5751/ACE-00614-080207>
- RODRIGUES L., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.J., KARAPANDZA B., KOVAC D., KERVYN T., DEKKER J., KEPEL A., BACH P., COLLINS J., HARBUSCH C., PARK K., MICEVSKI B. & MINDERMAN J. (2015).— *Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens*. EUROBATS Publication Series N° 6 (version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133p.

- SOCIETE FRANÇAISE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES MAMMIFERES SFPEPM (2016a).— *La prise en compte des Chiroptères dans la planification des projets éoliens terrestres en France*. 12p.
- SOCIETE FRANÇAISE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES MAMMIFERES SFPEPM (2016b).— *Le diagnostic chiroptérologique (étude d'impact) des projets éoliens terrestres*. 36p.
- SOCIETE FRANÇAISE D'ETUDE ET DE PROTECTION DES MAMMIFERES SFPEPM (2016c).— *Les suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères*. 18p.
- SODHI N.S. (2002).— Competition in the air : birds versus aircraft. *The Auk*. Volume 119. Numéro 3. Pages 587-595. [https://doi.org/10.1642/0004-8038\(2002\)119\[0587:CITABV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1642/0004-8038(2002)119[0587:CITABV]2.0.CO;2)
- SORDELLO R. (2017).— *Trame verte et bleue : toutes ces autres trames dont il faudrait aussi se préoccuper*. Société française d'écologie. N°72. <https://www.sfecologie.org/regard/r72-mai-2017-r-sordello-corridors-ecologiques/>
- SORDELLO R. (2016).— *Trame verte et bleue - Bilan technique sur la première génération des Schémas régionaux de cohérence écologique - Prise en compte des enjeux de cohérence issus des Orientations nationales*. Muséum national d'Histoire naturelle. 152p.
- VANPEENE S., SORDELLO R., AMSALLEM J. & BILLON L. (2017).— *Trame verte et bleue - Bilan technique et scientifique sur l'élaboration des Schémas régionaux de cohérence écologique - Méthodes d'identification des obstacles et d'attribution des objectifs*. Centre de ressources TVB. 88 pages.
- VARRET C. (COORD.), LAURENS A., LESIGNE J.F., FERON P., LEJEUNE R., BEYL I., KATANA C., LACHARME M. (2016). — *Le Guide Biodiversité « Réseaux électriques »*. EDF, Electricité de Strasbourg, Erdf, RTe. 51p.
- VOIGT C.C., CURRIE S.E., FRITZE M., ROELEKE M. & LINDECKE O. (2018). Conservation Strategies for Bats Flying at High Altitudes. *BioScience*. Vol. 68, n°6, Pp. 427-435. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy040>
- ZIMMERLING J., POMEROY A., D'ENTREMONT M., & FRANCIS C. (2013).— Canadian Estimate of Bird Mortality Due to Collisions and Direct Habitat Loss Associated with Wind Turbine Developments. *Avian Conservation and Ecology*. Vol. 8, n°2. <https://doi.org/10.5751/ACE-00609-080210>



UMS 2006 PATRIMOINE NATUREL

Centre d'expertise et de données sur la nature

Muséum national d'Histoire naturelle
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire
CP 41 - 75231 Paris Cedex 05

+33 (0)1 71 21 46 35
patrinat.mnhn.fr
inpn.mnhn.fr

Ce rapport dresse un état des lieux des enjeux liés aux déplacements des espèces volantes, en particulier des oiseaux et des chauves-souris, confrontés à des obstacles spécifiques situés dans la strate aérienne.

Il décrit ces principaux obstacles (éoliennes, lignes électriques, bâti, aéronefs), en présentant les potentiels problèmes rencontrés (dérangement, collisions, électrocutions, barotraumatisme, *etc.*) et en synthétisant les mesures de gestion préconisées pour les limiter.

Il termine par un bilan de la prise en compte actuelle de cette problématique dans la Trame verte et bleue, en particulier aux échelles nationale (ON TVB) et régionale (SRCE) et conclut par une mise en perspective sur la nécessité de développer une trame aérienne en France.

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
MINISTÈRE CHARGÉ DE L'ENVIRONNEMENT



www.cnrs.fr



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

www.mnhn.fr

www.afbiodiversite.fr