

Actes du Séminaire Eolien et Biodiversité

21 et 22 novembre 2017

Artigues-près-Bordeaux



Avril 2018

LN 0118-01



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ

Actes du séminaire éolien et biodiversité

21 et 22 novembre 2017 – Artigues-près-Bordeaux

Avril 2018

LPO France

Organisation du séminaire et compilation des actes :

Geoffroy MARX
Isabelle CHESNOT

Le séminaire éolien et biodiversité a été organisé dans le cadre du
Programme Eolien et Biodiversité



et a bénéficié des soutiens suivants



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



A l'exception des travaux auxquels la LPO a elle-même participé, les études présentées dans ce document ne représentent que l'opinion de leurs auteurs et n'engagent pas la LPO.

Remerciements

La LPO tient à remercier très sincèrement :

- l'ADEME et le ministère de la Transition écologique et solidaire qui accompagnent financièrement le programme Eolien et Biodiversité depuis des années ainsi que la région Nouvelle-Aquitaine qui a soutenu cet événement ;
- les représentants de la filière éolienne, France Energie Eolienne (FEE) et le Syndicat des Energies Renouvelables (SER), qui ont su mobiliser leur réseau autour de la question de la biodiversité ;
- les conférenciers, venus de France et de l'étranger, qui ont accepté de rédiger des articles spécifiquement pour ces actes pour compléter leurs présentations orales ;
- les bénévoles de la LPO, les salariés du Campus Atlantica et les interprètes de la société Abaques pour leur disponibilité, leur écoute et la qualité de leurs prestations ;

Enfin, merci au public venu nombreux contribuer à la richesse des échanges, et merci à vous lecteurs de ces Actes qui contribuerez, par leur diffusion, à une meilleure prise en compte de la biodiversité dans le développement des projets éoliens.

Citation

LPO (2018). [Actes du Séminaire Eolien et Biodiversité](#), Artigues-près-Bordeaux, 21 et 22 novembre 2017. pp. 152.

Crédit photos

Couverture : Geoffroy Marx / LPO, éolienne picto-charentaise (2017)

Pages intérieures : Isabelle Thiberville, séminaire éolien et biodiversité (2017)

Table des matières

Préambule	11
Ouverture du séminaire	14
Programme du séminaire.....	20
Eolien terrestre - 21 novembre 2017.....	20
Eolien en mer - 22 novembre 2017	21
Interventions	22
L'éolien terrestre en France : état des lieux et perspectives	23
Eolien et biodiversité : prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français	24
Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015	30
Deux applications web en libre accès pour calibrer et évaluer la pertinence des suivis de mortalités sous les éoliennes.....	37
Les sciences participatives appliquées à la modélisation des enjeux de conservation des chiroptères et des oiseaux : exemple en Nouvelle-Aquitaine.....	40
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 (<i>Aquila chrysaetos</i>) dans le sud du massif central....	42
Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette	49
Avifaune de plaine et éoliennes, une cohabitation impossible ? Retour des suivis post implantation sur les aptitudes phénotypiques des espèces	66
Quelles alternatives au suivi acoustique des chiroptères sur mât de mesure de grande hauteur ? Application dans le cadre de l'étude d'impact d'un projet de parc éolien en milieu forestier en Bourgogne.....	67
SafeWind Chiro - Evaluation de l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes par vidéo détection.....	74
Maîtrise de la mortalité des chiroptères - Analyse comparée de la mise en place de mesures de régulation de trois parcs éoliens	81
Les parcs éoliens en mer : état des lieux et perspectives	88
Analyse des enjeux de la faune marine pour la planification et l'évaluation des projets de parcs éoliens en mer.....	94
A synthesis of effects and impacts of offshore wind farms upon wildlife: from seabed communities to fish, marine mammals and birds.....	105
Throwing Precaution to the Wind: Uncertainty and the Precautionary Principle in Wind Farm Assessment	106
New technology for 3D bird detection radar.....	107
Environmental Impacts and Responsibilities - How to foster cohabitation between Offshore Wind Farms and the Marine Environment.....	112
From effects to impacts: Analysing displacement of Red-throated Divers in relation to their wintering home ranges.....	113
ORJIP Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms.....	116

L'indice BATCLAS : une nouvelle technique d'identification et de cartographie à haute résolution des structures naturelles et artificielles sur les sites d'implantation marins d'éoliennes	120
Quantifier les conséquences du dérangement acoustique sur les populations de mammifères marins: un outil d'aide à la décision pour le développement des parcs éoliens en mer.....	128
Enrichissement et valorisation de la biodiversité marine sur les parcs d'éoliennes offshore au travers de l'éco-ingénierie marine.....	132
Biographies des intervenants.....	140
ABADIE Arnaud - Seaviews.....	141
BESNARD Aurélien – CEFE.....	141
BESNARD Aurélien G. – LPO Aquitaine	141
BEUCHER Yannick – Exen.....	142
DELPAT Bertrand – Calidris.....	142
DURIEZ Olivier – CEFE	142
GUENARD Vincent – ADEME	143
ITTY Christian – BECOT.....	143
KLEINSCHMIDT Birgit – Justus-Liebig Universität Gießen	143
LACROUTS Olivier – Diadès Marine.....	144
LECAILLON Gilles – Ecocean	144
MARX Geoffroy – LPO France.....	144
McCLUSKIE Aly - Royal Society for the Protection of Birds	145
MICHEL Sylvain – Agence Française pour la Biodiversité	145
PARROUFFE Jean-Michel – ADEME	145
PERRET Michel – Direction de l'eau et de la biodiversité.....	146
PERROW Martin – ECON Ecological Consultancy Ltd	146
PETTEUX Emeline – Cohabys Adera.....	146
PHILIPP Eva - Vatenfall.....	147
RICHOUS Christophe – EDF EN	147
ROCHE Henri-Pierre – Biodiv-Wind	147
SAULNIER Nicolas – LPO Hérault	148
SKOV Henrik – DHI Group.....	148
VIALA Christophe - Seaviews	148
VUITTON Guillaume – Ecosphère	149
Citations et liens de téléchargement.....	150



Préambule

Préambule

La LPO travaille au quotidien pour améliorer l'intégration environnementale des énergies renouvelables. Pour l'éolien, cet engagement se concrétise depuis maintenant 15 ans par un partenariat noué entre la LPO, l'ADEME et le Ministère de l'Ecologie autour du « Programme Eolien et Biodiversité » animé en étroite collaboration avec les professionnels de l'éolien (SER/FEE). C'est dans ce cadre que la LPO a organisé ce séminaire les 21 et 22 novembre 2017 à Artigues-près-Bordeaux.

Cette troisième édition a rassemblé plus de 400 personnes – acteurs de l'éolien, chercheurs, naturalistes et services de l'état – lors de deux journées d'exposés et d'échanges consacrées respectivement aux milieux terrestres et marins. Ce fut l'occasion d'établir un état des lieux du développement éolien et du cadre réglementaire auquel il est soumis mais aussi de faire le point sur les impacts potentiels des parcs éoliens, les moyens de les mesurer et de les atténuer, dans le but de concilier les objectifs de développement des énergies renouvelables avec les impératifs de préservation de la biodiversité.

Pour la première fois, le séminaire s'est ouvert à l'international grâce aux interventions de conférenciers venus d'Allemagne, du Royaume-Uni et du Danemark pour nous faire part de leurs retours d'expériences.

A terre comme en mer, la planification – c'est-à-dire l'évitement des sites présentant les plus forts enjeux de biodiversité – a été présentée comme la principale solution permettant de limiter l'impact sur les espèces patrimoniales, qu'il s'agisse d'oiseaux, de chauves-souris ou de mammifères marins.

Sur certains parcs problématiques, la perte d'habitats ou les mortalités directes par collision peuvent avoir un impact sur des populations d'oiseaux dont l'état de conservation est défavorable. Et, malheureusement, si des dispositifs techniques ont été développés et améliorés ces dernières années, leur efficacité reste aujourd'hui encore insuffisante pour pallier cet impact.

En ce qui concerne les chiroptères, les intervenants ont souligné la difficulté qu'il y a à anticiper le risque de mortalité, mais également les progrès réalisés ces dernières années pour mesurer l'activité des chiroptères et réduire le risque de collision avec les éoliennes.

En mer, l'anticipation des impacts potentiels repose sur la planification mais également sur des modélisations alimentées par des données environnementales qu'il conviendra d'enrichir avec le temps.

La R&D est une piste qui continue d'être explorée, autant pour la réalisation des inventaires avant-projet (radar, sondeur bathymétrique, etc.) que pour l'identification et la réduction des impacts lors de la phase d'exploitation sur terre comme en mer.

En contrepartie du nombre important et de la diversité des interventions programmées sur ces deux journées, les échanges, ont parfois été jugés trop courts, même si ceux-ci ont pu se prolonger lors des pauses. Nous espérons que ce fut l'occasion de tisser des liens entre des mondes parfois antagonistes et nous faisons le vœu que ces actes participeront à un développement éolien toujours plus respectueux de son environnement.



Acteur au
protection de la

www.lpo.fr

✓ Protéger

✓ Préserv

✓ Edu



B
NT
EPF

ife
ONAL
FFICIEL

Ouverture

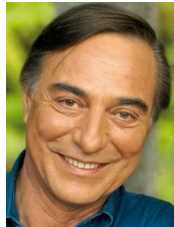


Ouverture du séminaire

Le séminaire éolien et biodiversité a été ouvert par Allain Bougrain Dubourg, Président de la LPO, en présence des représentants de l'Etat, de l'ADEME, de la Région Nouvelle-Aquitaine, de la FEE et du SER.

Allain Bougrain Dubourg

Président de la LPO



Pierre Dartout

Préfet de la région Nouvelle-Aquitaine

Paul Duclos

Responsable de la filière éolienne du Syndicat des Energies Renouvelables



Roy Mahfouz

Président de la Commission Environnement de France Energie Eolienne

Jean-Michel Parrouffe

Chef de service Réseaux et Energies Renouvelables de l'ADEME



Alain Rousset

Président de la région Nouvelle-Aquitaine

Christine Jean

Administratrice de la LPO



Alice Collier

Policy Officer (Climate Change & Energy) à la RSPB

Françoise Coutant

Vice-présidente de la région Nouvelle-Aquitaine en charge du climat et de la transition énergétique



Marc Lafosse

Vice-Président de la commission EMR du Syndicat des Energies Renouvelables



Jean-François Petit

Vice-Président de la Commission Offshore de France Energie Eolienne

Discours d'Allain Bougrain Dubourg

Mesdames, Messieurs, Chers collègues et Amis,

C'est avec un grand plaisir que la LPO vous accueille aujourd'hui, naturalistes, développeurs et exploitants de parcs éoliens, bureaux d'étude, gestionnaires de réseaux, services instructeurs, établissements publics de recherche ; venus de France mais également, et pour la première fois, de l'étranger. Je voudrais remercier les conférenciers et conférencières qui vont exposer leurs travaux durant ces deux journées, et en particulier ceux et celles venues d'Allemagne, de Grande-Bretagne ou du Danemark qui nous feront bénéficier, demain, de leurs retours d'expériences sur la thématique de l'éolien en mer. Toutes nos excuses à ceux qui ont soumis des contributions mais que nous n'avons malheureusement pas pu retenir faute de pouvoir allonger la durée des journées.

Merci à l'ADEME et au Ministère de la Transition écologique et solidaire, soutiens historiques du programme éolien et biodiversité, ainsi qu'aux représentants de la filière éolienne (Syndicat des énergies renouvelables et France Energie Eolienne) qui ont une nouvelle fois répondu présents et ont su mobiliser leurs troupes en nombre.

Je voudrais également saluer les salariés et bénévoles de la LPO qui vous accueillent aujourd'hui et qui, pour certains, travaillent depuis plus d'un an à cet événement.

Après Reims en 2010 et Nantes en 2013, nous avons souhaité organiser cette nouvelle édition du séminaire éolien et biodiversité en Nouvelle-Aquitaine, grande région qui accueille le siège historique de la LPO et qui a connu en 2016 la plus forte progression en termes de puissance éolienne raccordée au réseau. Merci à la Région Nouvelle-Aquitaine pour le soutien qu'elle apporte à cet événement.

Merci enfin, à l'équipe du Campus Atlantica qui a su répondre à toutes nos demandes avec gentillesse, professionnalisme et réactivité.

La thématique qui nous rassemble aujourd'hui est bien sûr la question délicate de l'intégration environnementale des éoliennes. Au-delà de cette question, c'est bien de la crédibilité de la transition énergétique qu'il s'agit. Peut-on imaginer que celle-ci réussisse en fragilisant davantage les écosystèmes et les services associés ? Non, elle doit s'inscrire dans une logique de respect des fonctionnalités écologiques et de reconquête de la biodiversité. La transition énergétique doit pouvoir s'appuyer sur les services écosystémiques sans les altérer. Elle doit s'inscrire, s'imbriquer dans la transition écologique.

Je souhaiterais immédiatement lever toute polémique : pour la LPO, la question du climat est capitale. Je rappelle que la LPO est favorable à une transition énergétique qui s'appuierait sur le scénario « négaWatt », à savoir une priorité donnée à la rationalisation des consommations et un recours accru aux énergies renouvelables locales, dont l'éolien. Notre association a décidé très tôt d'accompagner le développement de cette filière afin de lui permettre la plus grande compatibilité avec le respect de la biodiversité, des oiseaux et des chauves-souris en particulier. Nous situons notre action dans une volonté plus large de voir émerger un mode de développement plus sobre en énergies et en consommations d'espaces, plus responsable aussi, tant nous sommes bien placés pour savoir que les énergies fossiles et fissiles peuvent être sales et dévastatrices, les souvenirs de l'Erika ou de Fukushima étant encore particulièrement présents.

C'est dans cet esprit que la LPO travaille depuis maintenant 20 ans, à vos côtés, naturalistes, acteurs privés et publics ; cherchant constamment à rassembler deux mondes : les tenants de la transition énergétique et ceux du respect du vivant, deux mondes qui ne doivent pas évoluer en parallèle mais bien chercher à se comprendre pour œuvrer ensemble.

Cela se concrétise depuis 2006 par le programme Eolien et Biodiversité, animé par la LPO avec le soutien de l'ADEME et du ministère de la Transition écologique et solidaire – que je remercie à nouveau chaleureusement – et en concertation avec les représentants de la filière éolienne (Syndicat des Energies Renouvelables et France Energie Eolienne) sans qui les actions sur le terrain ne seraient pas possibles. Ce programme a permis de mutualiser les expériences, d'accumuler et de partager de la connaissance, d'avancer sur les nouvelles technologies d'observation et surtout, de créer un espace d'échange dont vous êtes aujourd'hui les acteurs.

Depuis le dernier séminaire, force est de reconnaître que du chemin a été parcouru :

La bibliographie sur l'éolien, ses impacts potentiels sur la biodiversité et les moyens de les éviter n'a jamais été aussi riche. Ce sont aujourd'hui près de 900 références issues d'une trentaine de pays qui peuvent être consultées sur simple demande (44 576 pages !).

Un protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres a été validé par le ministère en 2015 afin que tous les parcs éoliens fassent l'objet d'un suivi permettant notamment d'estimer la mortalité due aux aérogénérateurs. Perfectible, il fait aujourd'hui l'objet de réunions de travail en vue de son amélioration.

Le Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens terrestres a été actualisé en décembre 2016, notamment pour intégrer les évolutions réglementaires liées au classement ICPE des éoliennes. Celui concernant les parcs éoliens en mer a été publié en février 2017.

Des solutions de bridages relativement efficaces ont été développées pour réduire l'impact des éoliennes sur les chiroptères ; et plusieurs dispositifs sont en cours de développement pour réduire le nombre de collisions de rapaces avec les éoliennes.

Mais, bien sûr, cela serait mentir que de dire que la LPO se satisfait de ces avancées.

Pour de multiples raisons – liées aux limitations techniques mais également aux spécificités des sites et des espèces – les systèmes de détection et d'effarouchement des rapaces n'ont, à ce jour, pas fait l'objet de publications démontrant une efficacité satisfaisante. De fait, et même si cela ne concerne qu'un nombre très réduit de parcs, nous pouvons constater que des éoliennes françaises équipées de tels dispositifs continuent de tuer des espèces patrimoniales : faucons crécerellette, busards cendrés et même, pour la première fois cet été, un aigle royal. C'est pourquoi, si la LPO se réjouit que des efforts soient mis en œuvre pour éprouver et améliorer l'efficacité de tels dispositifs sur des parcs problématiques existants, elle insiste pour que la priorité soit donnée à l'évitement des sites présentant de forts enjeux avifaunistiques.

La planification est sans aucun doute la solution la plus simple et la plus efficace pour éviter les impacts sur la biodiversité. Celle-ci est toutefois peu opérante en France où plus de la moitié des Schémas régionaux éoliens ont été annulés par la justice, souvent pour défaut d'évaluation environnementale.

La loi NOTRe - à l'occasion de la mise en place des nouvelles Régions (en 2016) – a créé l'obligation pour ces nouvelles régions de produire un nouveau schéma de planification, dénommé SRADDET (ou schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires), d'ici l'été 2019. Il s'agit d'une occasion unique pour préciser de quelle manière les territoires pourront contribuer à la transition énergétique, et il faudra accepter que certains n'ont pas vocation à accueillir des éoliennes, eu égard à leurs richesses avifaunistiques ou chiroptérologiques.

Vous connaissez l'attachement de la LPO au réseau Natura 2000 et, pour lever toute ambiguïté, c'est bien à ces Zones de Protections Spéciales (ZPS) et à ces Zones Spéciales de Conservation (ZSC) que je fais ici référence. Il ne s'agit ni d'une lubie d'écologiste bon teint ni d'une position dogmatique. Vous le savez peut-être, ce sont les inventaires réalisés par la LPO qui ont mené à la détermination des ZICO puis des ZPS. Nous savons – et vous savez – que ces zones accueillent des espèces patrimoniales comme rarement ailleurs.

Vous avez peut-être également pu prendre connaissance de l'étude que la LPO a publiée cet été concernant l'impact des éoliennes sur les oiseaux. Issue de la compilation et de l'analyse de 197 rapports de suivis de mortalité réalisés durant ces 15 dernières années sur des parcs éoliens français, elle montre sans ambiguïté possible que la proximité des ZPS est le principal facteur d'impact pour les espèces patrimoniales et en particulier pour les rapaces.

Parmi les autres chantiers en cours : la simplification de la réglementation relative à l'éolien terrestre. Que cela soit en matière de concertation, de contentieux, de développement ou de renouvellement des parcs, cette simplification ne devra pas se faire au détriment de la biodiversité. C'est, je l'espère, la position que chacun dans cette salle défendra.

Enfin, je l'ai déjà évoqué tout à l'heure, le protocole de suivi applicable aux parcs éoliens terrestres est actuellement en cours de révision. Notre vœu est qu'il soit consolidé, homogénéisé, et qu'il permette sur chaque parc de mesurer la mortalité, d'identifier les facteurs d'impact et qu'il puisse déboucher sur des propositions de mesures de réduction efficaces lorsqu'un impact aura été mis en évidence. L'implication du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) dans la compilation et l'analyse de ces

données, qui seront dorénavant récoltées de façon systématique, ne peut être que bénéfique à une meilleure compréhension des questions qui nous intéressent aujourd'hui.

Sur terre et encore plus en mer où les retours d'expérience sont encore rares, les interrogations restent nombreuses. Comment mesurer le dérangement (effet barrière, perte d'habitat, échecs de reproduction) ? Comment mesurer l'impact des parcs sur des populations parfois fragiles ? Comment traiter des impacts cumulés ? Comment améliorer les connaissances sur les habitats et les espèces qui évoluent en mer ? Comment mesurer la mortalité en mer et valider les modèles mathématiques ?

Ce sont des sujets d'une grande complexité qui vont être abordés pendant ces deux journées respectivement consacrées à l'éolien terrestre et en mer. Mais il ne faut pas avoir peur de cette complexité, je compte sur vos esprits rationnels pour avancer pas à pas, de façon pragmatique et trouver les voies qui permettront de réaliser et d'exploiter des parcs éoliens à haute qualité environnementale.

Votre présence aujourd'hui montre bien que vous vous saisissez sérieusement de ce problème.

Parce qu'il y a des solutions, parce qu'il nous faut connaître davantage pour mieux gérer, nous sommes exigeants : nous voulons que la dynamique vertueuse s'accroisse, que de ce besoin mutuel naissent des solutions nouvelles, fiables, partagées et adaptatives. Nous en avons quelques exemples, je citerai les avancées considérables réalisées dans le domaine du radar ornithologique : un bel outil qui peut nous dévoiler les secrets de la migration nocturne s'il est bien utilisé. Les systèmes d'écoute et d'observation des chauves-souris ont également fait un bond spectaculaire ces dernières années... et l'on voit des chercheurs se pencher sur la biostatistique, des modèles théoriques de mortalité, des modèles numériques de terrain et autres essais d'objectivation de dynamiques de population adaptés à la problématique éolienne.

Nous l'avons dit, l'enjeu est crucial pour la réussite de la transition énergétique. La dépendance de la filière éolienne vis-à-vis de la biodiversité est forte, si un scarabée peut stopper une autoroute, soyez certains qu'un aigle de Bonelli aura un impact sur un parc éolien ! De cette contrainte, il convient de tirer une force : de l'intelligence dans la planification, de la qualité dans les études préalables, de la rigueur dans l'exploitation et de la transparence dans l'information environnementale.

Je souhaite vous dire ceci : Bienvenue ! Bienvenue dans ce monde de découvertes et de questionnements.

Durant ces deux jours, vous allez pouvoir aborder de front l'ensemble de ces sujets. La qualité de vos échanges permettra de définir les pistes pour les actions de demain.

Je vous souhaite à tous de profiter pleinement de ces journées de travail qui seront, je n'en doute pas, intenses et constructives !

Je vous adresse toute la reconnaissance de la LPO.

Allain Bougrain Dubourg

Président de la LPO

Ecolien et biodiversité
LPO France
2017



Programme



Programme du séminaire

Eolien terrestre - 21 novembre 2017

09:00	09:30	Accueil		
09:30	10:30	Discours d'ouverture : Alain Bougrain Dubourg (LPO), Roy Mahfouz (FEE), Paul Duclos (SER), Alain Rousset (Nouvelle-Aquitaine), Jean-Michel Parrouffe (ADEME), Pierre Dartout (Préfet de région)		
10:30	11:00	L'éolien terrestre en France : état des lieux et perspectives	ADEME	J.-M. Parrouffe
11:00	11:30	La prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français	DGALN	M. Perret
11:30	12:00	Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015	LPO France	G. Marx
12:00	12:30	Deux applications web en libre accès pour calibrer et évaluer la pertinence des suivis de mortalités sous les éoliennes	CEFE	A. Besnard
12:30	14:00	Repas		
14:00	14:20	Les sciences participatives appliquées à la modélisation des enjeux de conservation des chiroptères et des oiseaux : exemple en Nouvelle-Aquitaine	LPO Aquitaine	A. G. Besnard
14:20	14:40	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 (<i>Aquila chrysaetos</i>) dans le sud du massif central	BECOT	C. Itty
14:40	15:00	Estimation de l'impact démographique du Parc éolien d'Aumelas sur la population héraultaise de Faucons crécerellettes	CEFE, LPO Hérault	O. Duriez, N. Saulnier
15:00	15:20	Avifaune de plaine et éoliennes, une cohabitation impossible ? Retour des suivis post implantations sur les aptitudes phénotypiques des espèces	Calidris	B. Delprat
15:50	16:20	Pause		
16:20	16:40	Quelles alternatives au suivi acoustique des chiroptères sur mât de mesure de grande hauteur ? Application dans le cadre de l'étude d'impact d'un projet de parc éolien en milieu forestier en Bourgogne	Ecosphère, WPD	G. Vuitton
16:40	17:00	SafeWind Chiro - Evaluation de l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes par vidéo détection	Biodiv-Wind	H.-P. Roche
17:00	17:20	Mortalité des chiroptères - Analyse comparée de la mise en place de mesures de régulation de 3 parcs éoliens	Exen, EDF EN	Y. Beucher, C. Richou

Eolien en mer - 22 novembre 2017

09:00	09:30	Accueil		
09:30	10:30	Discours d'officiels : Christine Jean (LPO), Alice Collier (RSPB), Marc Lafosse (SER), Jean-François Petit (FEE), Françoise Coutant (Nouvelle-Aquitaine)		
10:30	11:00	Les parcs éoliens en mer : état des lieux et perspectives	ADEME	V. Guénard
11:00	11:30	Analyse de vulnérabilité de la faune marine pour la planification et l'évaluation des projets de parcs éoliens en mer	AFB	S. Michel
11:30	12:00	A synthesis of effects and impacts of offshore wind farms upon wildlife: from seabed communities to fish, marine mammals and birds	Econ Ecology	Dr M. Perrow
12:00	12:30	Throwing Precaution to the Wind : Uncertainty and the Precautionary Principle in Wind Farm Assessment	RSPB	A. McCluskie
12:30	14:00	Repas		
14:00	14:30	Etude d'un radar 3D de détection et de suivi en temps réel de l'avifaune	Diadès Marine	Dr A Dumoulin, O. Lacrouts
14:30	15:00	Environmental Impacts and Responsibilities - How to foster cohabitation between Offshore Wind Farms and the Marine Environment	Vatenfall	Dr E. Phillipp
15:00	15:30	From effects to impacts: Analysing displacement of Red-throated Divers in relation to their wintering home ranges	BioConsult SH	B. Kleinschmidt
15:30	16:00	Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms	DHI Group	H. Skov
16:00	16:30	Pause		
16:30	17:00	L'indice BATCLAS : une nouvelle technique d'identification et de cartographie à haute résolution des structures naturelles et artificielles sur les sites d'implantation marins d'éoliennes	Seaviews	A. Abadie, C. Viala
17:00	17:30	La quantification des impacts à long terme des parcs éoliens comme outil d'aide à la décision pour la mitigation	Cohabys, Adera	E. Pettex
17:30	18:00	Enrichissement et valorisation de la biodiversité marine sur les parcs d'éoliennes offshore au travers de l'éco-ingénierie marine	Ecocean	G. Lecaillon




Interventions

L'éolien terrestre en France : état des lieux et perspectives

Jean-Michel PARROUFFE¹

¹ ADEME, 500 Route des Lucioles, 06560 Valbonne. jean-michel.parrouffe@ademe.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

Avec une puissance installée de l'ordre de 12 000 MW à fin décembre 2016, la France se situe au 4e rang européen. Et les ambitions sont élevées : la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) officialisée fin 2016 prévoit, en estimation basse, un doublement de la capacité installée d'ici à 2023, confortant le rôle majeur tenu par l'éolien dans la stratégie hexagonale de transition énergétique. L'ADEME a, durant ces 15 dernières années, mené plusieurs études visant à évaluer les impacts socio-économiques et environnementaux de la filière éolienne dont les principaux résultats sont rappelés ici.

L'analyse coût/bénéfices de la politique de soutien à l'éolien montre que les bénéfices de l'éolien pour la collectivité dépassent les coûts directs (obligation d'achat et coûts de réseau) et indirects (coût de recherche, développement et innovation). Le développement de l'éolien a ainsi permis d'éviter l'émission de 9,6 MtCO₂eq en 2014 (soit 9 % de l'effort national) et la balance commerciale est excédentaire depuis 2010 en ajoutant les économies d'importation de combustible (environ 800 M€/an).

L'analyse du cycle de vie (ACV) montre que les performances environnementales du parc éolien français sont bonnes. Le taux d'émission du parc, en particulier, est de 12,7 g CO₂ eq/kWh., bien inférieur à celui du mix français, estimé à 79 g CO₂/kWh (année de référence 2011). L'éolien terrestre est particulièrement efficace : l'énergie totale consommée pour réaliser l'ensemble du cycle de vie de chaque éolienne correspond environ à 12 mois de production (temps de retour énergétique de 12 mois).

En ce qui concerne la biodiversité, l'ADEME soutient depuis plus de dix ans des programmes visant à améliorer les connaissances sur les impacts de l'éolien et participant à une évolution progressive de la prise en compte des enjeux environnementaux dans la réglementation. L'ADEME encourage également l'innovation en accompagnant des projets visant à éviter et réduire les impacts des éoliennes sur la biodiversité.

Ce travail doit se poursuivre dans l'avenir afin d'assurer une bonne cohérence entre la politique de développement de l'énergie éolienne et celle consistant à stopper la perte de biodiversité.

Eolien et biodiversité : prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français

Michel PERRET¹

¹ Ministère de la Transition écologique et solidaire, direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, direction de l'eau et de la biodiversité. michel-m.Perret@developpement-durable.gouv.fr

Télécharger le diaporama



Résumé

Les parcs éoliens terrestres sont susceptibles d'avoir des effets sur la biodiversité, en particulier sur certaines espèces de faune sauvage telles que les oiseaux et les chiroptères.

Les réglementations internationales, européennes et nationales ont pour objectif de prévenir et de maîtriser de tels effets et leur bonne application est de nature à ce que le développement de ce secteur de production d'énergie soit conciliable avec la protection du patrimoine naturel.

En particulier, les dispositions propres aux espèces protégées et au réseau Natura 2000 visent à assurer le maintien et le cas échéant le rétablissement, dans un état de conservation favorable, de certaines espèces et de certains habitats naturels et les projets doivent se conformer à cet objectif environnemental clé.

Fondé sur les principes de la séquence « éviter, réduire et compenser » les impacts des projets sur les milieux naturels, le cadre réglementaire national qui s'applique aux parcs éoliens terrestres engage à une planification appropriée des projets et prévoit un régime d'autorisation administrative de chaque projet, désormais constitué par l'autorisation environnementale telle que prévue par le code de l'environnement.

Pour satisfaire à ces objectifs réglementaires et en particulier aux exigences relatives au bon état de conservation des espèces et des habitats naturels, les porteurs de projets doivent caractériser, selon les meilleures techniques disponibles, les effets de leurs projets sur la biodiversité. Ils doivent appliquer, d'une manière proportionnée aux enjeux, les mesures d'évitement et de réduction de leurs impacts. Si malgré l'application de telles mesures, subsistent des effets résiduels significatifs sur les espèces et les habitats naturels, les projets ne pourront être autorisés que si des mesures de compensation permettent de rétablir les situations biologiques dégradées.

Une fois autorisés, les parcs éoliens terrestres doivent faire l'objet d'un suivi environnemental permettant de s'assurer que les conditions de fonctionnement sont bien de nature à répondre aux objectifs assignés par les réglementations.

Introduction

Le développement de la production d'électricité à l'aide d'aérogénérateurs terrestres doit s'accompagner du respect de l'environnement, en particulier de la biodiversité. Un cadre réglementaire a été mis en place en France afin de répondre à cet objectif.

Afin que les intérêts de production et les intérêts de protection du patrimoine naturel soient conciliés, afin que le développement du secteur s'opère d'une manière fluide et conformément aux objectifs fixés de production d'énergie, la mise en œuvre de ce cadre réglementaire doit répondre à quelques principes-clés que cette présentation s'attachera à expliciter.

Les effets des parcs éoliens terrestres au regard des objectifs des réglementations de protection de la biodiversité

Les effets des parcs éoliens terrestres sur la biodiversité

On distingue deux types d'effets :

- ceux au sol, provoqués par l'aménagement d'un parc éolien ; il s'agit principalement de destruction ou d'altération d'habitats naturels ou d'habitats d'espèces, de destruction de stations végétales. Ils ne se distinguent pas sensiblement des effets des autres types d'aménagements et d'infrastructures mais il faut toutefois prêter une attention particulière au fait que les parcs sont installés sans

connexion avec le tissu urbanisé ou industrialisé, dans les milieux agricoles ou naturels et que de ce fait les perturbations sur les milieux ou sur les espèces peuvent être plus importants que d'autres types d'aménagements et d'infrastructures qui s'implantent dans des zones où l'état de la biodiversité peut être davantage dégradé.

- ceux dus aux pales lors du fonctionnement des machines ; les effets se rencontrent chez les oiseaux et les chiroptères en pouvant occasionner des mortalités d'individus de ces espèces, leur dérangement ou des altérations de leurs domaines vitaux. Les sensibilités à ces effets diffèrent en fonction des espèces et les impacts sur les populations d'espèces de faune sauvage dépendent également de leur état de conservation. L'évaluation des effets dus au fonctionnement des machines est techniquement plus exigeante que celle des effets au sol, ces derniers s'opérant à titre principal lors des travaux d'installations alors que les effets des pales se font ressentir tout au long de la durée d'exploitation.

Il importe dans tous les cas d'évaluer, selon les meilleures techniques disponibles, les effets des parcs éoliens et ces évaluations doivent être appréciées au regard des objectifs des réglementations de protection de la biodiversité dans le cadre des procédures administratives qui s'y attachent.

Les objectifs généraux des réglementations de protection de la biodiversité

L'objectif-clé de ces réglementations porte sur le maintien ou l'atteinte d'un état de conservation favorable pour les espèces et les habitats naturels qui font l'objet d'une protection réglementaire ; en droit français, cet objectif découle de la réglementation relative aux espèces protégées en application de l'article L. 411-1 du code de l'environnement ainsi que de la réglementation relative au réseau Natura 2000 qui impose le respect des objectifs de conservation des sites de ce réseau, en application de l'article L. 414-1 du code de l'environnement.

Cet objectif résulte d'engagements internationaux (Convention sur les espèces migratrices et les accords internationaux qui lui sont reliés tels Eurobats, Convention de Berne en particulier) et européens (directives « oiseaux » et « habitats, faune et flore »).

On peut définir l'état de conservation favorable d'une espèce ou d'un habitat naturel comme leur capacité à perdurer sur le long terme au regard de l'ensemble des influences auxquelles ils sont soumis. L'état de conservation s'apprécie à différentes échelles : biogéographique, nationale, régionale et locale.

Il importe donc d'évaluer l'impact des parcs éoliens au regard de cet objectif écologique, en examinant leurs effets à chacune des échelles d'évaluation de l'état de conservation ; cet impact peut être significatif à des degrés différents (majeur, fort, moyen, faible) ou non significatif. Cette évaluation est déterminante afin que les réglementations soient appliquées de manière proportionnée aux enjeux rencontrés.

Comme pour tout autre type de projet, la transparence écologique des parcs éoliens est visée ; la récente loi du 8 août 2016 relative à la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages se fixe ainsi pour objectif que les projets d'aménagements et d'infrastructures n'entraînent pas de « pertes nettes de biodiversité » voire qu'ils génèrent un gain de biodiversité (c'est notamment le cas quand les impacts résiduels des projets s'exercent sur des éléments fragilisés de la biodiversité et pour lesquels une politique de restauration est conduite). Le bilan des effets des parcs éoliens sur l'état de conservation des espèces ou des habitats naturels, comme pour tout autre type de projet, doit donc être neutre ou positif afin que le parc éolien puisse être autorisé.

Pour atteindre de tels objectifs, les différentes réglementations établies par le code de l'environnement s'appuient sur la séquence « éviter, réduire, compenser » dite « ERC » dont les principes ont été renforcés par la loi du 8 août 2016, à la suite des travaux entrepris au niveau national depuis plusieurs années (qui ont conduit à l'élaboration d'une doctrine nationale « ERC » et à des lignes directrices nationales en la matière¹). En suivant un principe de proportionnalité, il s'agit dans un premier temps d'éviter et de réduire autant qu'il est raisonnablement possible, les effets des parcs éoliens sur les espèces et les habitats naturels ainsi que, le cas échéant si le bilan écologique des effets des parcs révèle un impact significatif, de compenser cet impact résiduel afin de parvenir à une situation où l'effet de l'installation sera finalement neutre (voire positif dans certains cas) sur l'état de conservation des espèces ou des habitats naturels.

Le cadre réglementaire et sa mise en œuvre

La planification

La planification des installations sur les territoires au regard des enjeux d'aménagement et de production d'énergie et des enjeux relatifs à la protection de la biodiversité, doit permettre d'identifier à un stade très précoce les zones où ces enjeux sont conciliables entre eux dans une logique d'évitement et de réduction des impacts. Cette étape aura en outre pour corollaire si elle

¹ Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. Collection « Références ». CGDD et DEB. Octobre 2013.

est bien mise en œuvre, de simplifier considérablement les procédures d'instruction des autorisations administratives.

L'article R. 222-2 du code de l'environnement prévoit ainsi que le volet annexé au schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie, intitulé « schéma régional éolien », identifie les parties du territoire régional favorables au développement de l'énergie éolienne compte tenu d'une part du potentiel éolien et d'autre part des servitudes, des règles de protection des espaces naturels ainsi que du patrimoine naturel et culturel, des ensembles paysagers, des contraintes techniques et des orientations régionales.

Sans préjudice de ce cadre réglementaire de planification, il est pertinent, pour les porteurs de projet, de mettre en œuvre une politique de développement des parcs éoliens terrestres sur des territoires où les impacts sur la biodiversité auront été identifiés comme très faibles, afin de pouvoir bénéficier des effets favorables d'une planification raisonnée des projets.

Les principaux éléments du régime d'autorisation administrative applicable aux parcs éoliens terrestres

Les parcs éoliens terrestres constituent des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) au sens du code de l'environnement.

A l'exception de petites installations, l'installation et le fonctionnement des parcs éoliens sont soumis à autorisation administrative au titre de cette réglementation. Dans ce cas, ils sont notamment soumis à une étude d'impact.

Depuis le 1^{er} mars 2017, cette autorisation administrative prend la forme de l'autorisation environnementale, prévue à l'article L. 181-1 du code de l'environnement.

La constitution de la demande d'autorisation, son instruction, la mise en œuvre du projet, les contrôles et les sanctions qui lui sont applicables sont précisés aux articles L. 181-1 à L. 181-31 et R. 181-1 à R.181-56 du code de l'environnement.

L'autorisation environnementale tient lieu des autorisations et absences d'opposition suivantes (relative à la protection de la biodiversité) lorsque le projet de parc éolien terrestre les nécessite :

- dérogation aux interdictions édictées pour la conservation de sites d'intérêt géologique, d'habitats naturels, d'espèces animales non domestiques ou végétales non cultivées et de leurs habitats en application du 4^o de l'article L. 411-2 du code de l'environnement ;

- absence d'opposition au titre du régime d'évaluation des incidences Natura 2000, en application du VI de l'article L. 414-4 du code de l'environnement ;
- autorisation spéciale au titre des réserves naturelles en application des articles L. 332-6 et L. 332-9 du code de l'environnement lorsqu'elle est délivrée par l'État (en dehors des cas prévus par l'article L. 425-1 du code de l'urbanisme où l'un des permis ou décisions déterminés par cet article tient lieu de cette autorisation).

Le projet ne peut être autorisé que si chacune des exigences au titre de ces différentes réglementations est satisfaite.

Le régime de l'autorisation environnementale permet :

- d'imposer des prescriptions couvrant l'ensemble de la durée de vie du parc éolien (construction, mise en service, exploitation et démantèlement) ;
- le contrôle du fonctionnement pour vérifier la mise en œuvre effective des mesures de maîtrise des risques et des impacts ainsi que la conformité des dispositifs par rapport aux engagements pris par le pétitionnaire dans la demande initiale et à l'arrêté préfectoral d'autorisation.
- l'application de sanctions administratives (sans préjudice des sanctions pénales) en vue du respect des prescriptions initiales ; par ailleurs, les prescriptions fixées initialement peuvent être révisées au cours de la vie de l'installation si cela est nécessaire pour répondre aux objectifs de la réglementation.

L'exploitation des parcs éoliens terrestres est encadrée par l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

L'article 12 de cet arrêté impose au minimum à toute installation éolienne :

- la réalisation d'un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement puis tous les dix ans ;
- l'obligation d'appliquer un protocole de suivi harmonisé, reconnu par le ministère en charge de l'environnement ; le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres impose qu'une copie des résultats des suivis soit fournie par l'exploitant au Muséum national d'histoire naturelle ;

- l'obligation de tenir ce suivi à la disposition de l'inspection des installations classées.

L'ensemble des obligations prévues par l'arrêté ministériel du 26 août 2011 peuvent être renforcées par l'arrêté préfectoral d'autorisation si le contexte local le justifie.

Le déroulé de la procédure d'instruction de la demande d'autorisation environnementale fait l'objet d'un encadrement précis aux termes du code de l'environnement comprenant la phase d'examen de la demande (instruction inter-services, consultations obligatoires des instances et commissions concernées, avis de l'autorité environnementale en cas d'étude d'impact), la phase d'enquête publique, la phase de décision (le silence de l'administration valant rejet de la demande). Une phase « amont » peut précéder le dépôt de la demande, au cours de laquelle l'administration peut préciser les informations attendues dans le dossier de demande ou délivrer un certificat de projet à la demande du pétitionnaire. Une phase de recours peut également succéder à la décision administrative.

La prise en compte des enjeux relatifs aux espèces protégées dans le cadre des projets

Les indications contenues dans ce chapitre sont issues du guide publié en mars 2014 par le ministère en charge de l'environnement relatif à l'application de la réglementation « espèces protégées » dans le cas des parcs éoliens terrestres². On pourra également se référer à un autre guide national d'une portée plus générale relative à la mise en œuvre de cette réglementation dans le cas des aménagements et des infrastructures³.

a – Rappels législatifs et réglementaires

L'article L. 411-1 du code de l'environnement permet de fixer par la voie d'arrêtés ministériels, des interdictions d'activités qui s'attachent à certaines espèces de faune et de flore sauvages (par exemple, interdiction de destruction des spécimens de telles espèces ou/et de leurs habitats, interdiction de perturbation intentionnelle de ces spécimens, etc.). Ces interdictions sont fixées afin de répondre à l'exigence de maintien ou de rétablissement de l'état de conservation des populations de ces espèces. Pour les plus menacées d'entre elles, l'article L. 411-3 du code de l'environnement prévoit l'élaboration et la mise en œuvre de plans nationaux d'actions dont l'objectif est de déterminer les actions propres à la restauration de l'état de conservation de leurs populations.

Des précisions doivent être apportées sur certaines interdictions réglementaires qui peuvent être rencontrées dans le cas des effets des parcs éoliens.

S'agissant de la perturbation intentionnelle des spécimens d'espèces protégées ainsi que de la destruction, l'altération ou la dégradation de leurs habitats (aires de repos et sites de reproduction), les interdictions qui s'y rapportent sont effectives lorsque les effets des projets remettent en cause le bon accomplissement des cycles biologiques de ces espèces. Dans ce cas cela signifie que les effets de tels projets (lors de leur construction ou de leur fonctionnement) vont entraîner une dégradation de la situation biologique des espèces protégées sur le territoire d'implantation de l'installation et donc avoir un effet dégradant, au niveau local, l'état de conservation de la population de l'espèce considérée.

Des précisions doivent être également apportées sur la destruction de spécimens d'espèces protégées lors du fonctionnement des parcs éoliens. Une mortalité est ainsi considérée comme accidentelle lorsqu'elle n'a pas d'effet significatif, au niveau local, sur l'état de conservation de la population de l'espèce considérée. Si l'effet est significatif, la mortalité n'est plus considérée comme accidentelle et relève de l'interdiction réglementaire de destruction des individus d'une espèce protégée : on retrouve là la notion d'effet significatif sur l'état de la population d'une espèce protégée, notion qui s'applique également pour déterminer si la perturbation intentionnelle ou la destruction d'un habitat d'une espèce relève ou non des interdictions fixées par la réglementation. On soulignera que ces précisions relatives à la mortalité accidentelle ou non s'appliquent uniquement pour les effets des installations lors de leur fonctionnement ; en revanche, pour les travaux de construction des projets, la mortalité d'individus d'espèces protégées qu'ils peuvent occasionner ne peut être considérée comme accidentelle : elle relève ainsi dans tous les cas des interdictions de destruction prévues par la réglementation.

Si un projet de parc éolien se heurte à de telles interdictions, il ne peut être autorisé. Le projet doit donc être modifié afin que ses effets ne relèvent plus de ces interdictions, ou s'il n'est pas possible de modifier en ce sens le projet, celui-ci doit, pour se réaliser, bénéficier d'une dérogation à la protection stricte des espèces concernées.

Cette possibilité de déroger aux interdictions d'activités est prévue à l'article L. 411-2 du code de l'environnement, sous réserve de respecter trois conditions : a) l'intérêt à agir (la raison impérative d'intérêt public majeur dans le cas d'un aménagement

² Guide sur l'application de la réglementation relative aux espèces protégées pour les parcs éoliens terrestres. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Mars 2014.

³ Guide « espèces protégées, aménagements et infrastructures ». Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. 2011.

ou d'une infrastructure) ; b) l'absence d'autres solutions satisfaisantes de moindre impact ; c) ne pas nuire au maintien ou au rétablissement de l'état de conservation des espèces considérées.

D'un point de vue technique, on perçoit donc l'importance d'une évaluation précise, selon les meilleures méthodes disponibles, des effets des parcs éoliens, en particulier au cours de leur fonctionnement. Cette évaluation est rendue d'autant plus exigeante qu'elle s'opère dans le cadre de l'étude d'impact alors que l'installation n'est pas encore construite et qu'il s'agit donc de prédire ses effets sur l'état des populations des espèces présentes sur le site, en fonction de l'état initial de ces populations et de leurs caractéristiques écologiques ainsi que de leur sensibilité particulière aux effets des parcs éoliens. L'évaluation de ces effets devra logiquement se poursuivre *in itinere* lorsque le parc éolien sera en fonctionnement, afin d'apprécier en particulier la mortalité des individus des espèces protégées. Ce suivi permettra de valider ou non les conditions de fonctionnement du parc éolien, telles qu'autorisées initialement.

La qualité de ces évaluations constitue ainsi l'élément technique principal dans le cadre de l'instruction des demandes d'autorisation environnementale des projets de parcs éoliens terrestres, qui comprendront ou non, en fonction de leurs impacts résiduels sur les populations d'espèces protégées, une demande de dérogation à la protection stricte de telles espèces.

b – Conséquences : les points clés du respect de la réglementation relative aux espèces protégées

Tout d'abord, il faut préciser que la prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité doit être la plus précoce possible ; à un stade amont de conception des projets, on dispose en effet de davantage de marge de manœuvre pour les faire évoluer dans le sens d'un moindre impact sur les espèces et les milieux naturels.

Dans le cadre de l'autorisation environnementale, les connaissances acquises sur l'état initial de l'environnement et la situation des espèces présentes sur le site d'implantation et à sa périphérie (au cours de l'ensemble de leurs stades biologiques) ainsi que sur les effets prévisibles des installations sur ces espèces, sont déterminantes.

L'étude d'impact constitue un outil pertinent pour appliquer la séquence ERC ainsi que pour qualifier l'impact résiduel des installations sur la biodiversité. Sa qualité est essentielle dans le cadre de l'instruction d'une demande d'autorisation d'un projet.

La conception d'un projet doit s'attacher en premier lieu à éviter puis à réduire les impacts sur la biodiversité.

Les principales mesures d'évitement des impacts dans le cas des parcs éoliens terrestres consistent à éviter les zones fréquentées par les espèces les plus menacées, en particulier lorsqu'elles sont sensibles aux effets des parcs, les zones de migration, les linéaires convergents, les zones de boisement, à minimiser les zones perturbées, à conserver les continuités écologiques, à éviter les effets cumulatifs (à cet égard, il faut prendre en compte les effets des ouvrages existants, éviter la densification et, si cela est nécessaire réduire le nombre de machines).

Les principales mesures de réduction des impacts des parcs éoliens terrestres sont les suivantes : limitation de la fréquentation du site, réalisation des travaux en dehors des phases de reproduction, mise en place d'un suivi environnemental du chantier, disposition des éoliennes de manière appropriée, régulation du fonctionnement des éoliennes en fonction de la présence des espèces, modification de la hauteur des mâts, de la longueur des pales, mise en place d'effarouchement, maîtrise de l'attractivité (milieux, luminosité, attractivité pour les insectes).

Après mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction, l'impact résiduel du projet doit être évalué. Il est nécessaire de prendre en compte à cet effet :

- les risques de mortalité et l'effet prévisible sur la dynamique des populations d'espèces ;
- la perturbation des continuités écologiques, des fonctionnalités écologiques et leurs effets sur l'évolution des populations d'espèces ;
- l'importance et la qualité des sites de reproduction et des aires de repos, des domaines vitaux perturbés et les effets du projet sur l'utilisation de ces habitats par les espèces ;
- l'état de conservation initial des populations d'espèces ;
- les effets cumulés (pressions récentes et prévisibles).

Dès lors que, malgré l'application des mesures d'évitement et de réduction, il est constaté un impact sur la permanence des cycles biologiques provoquant un risque de fragilisation de la population impactée, la réalisation du projet de parc éolien justifie l'octroi d'une dérogation à la protection stricte des espèces.

De tels impacts résiduels significatifs doivent en outre être compensés dans la logique de maintien ou de rétablissement de l'état de conservation des espèces.

Les principales mesures compensatoires sont les suivantes dans le cas des parcs éoliens terrestres : renforcement de corridors écologiques, création de zones favorables pour les espèces, participation aux programmes de conservation, réduction des mortalités causées par d'autres activités.

En résumé, trois cas de figure peuvent être rencontrés :

1. le projet ne justifie pas d'une dérogation à la protection stricte des espèces dans le cadre de l'autorisation environnementale car les mesures d'évitement et de réduction des impacts permettent de respecter les objectifs de la réglementation, en ne portant pas atteinte aux espèces protégées concernées.
2. le projet justifie d'une dérogation à la protection des espèces dans le cadre de l'autorisation environnementale du fait de la persistance d'un impact résiduel significatif sur les espèces protégées concernées malgré l'application de mesures d'évitement et de réduction ; pour que le parc éolien soit autorisé, l'ensemble des mesures ERC doivent permettre de respecter les objectifs de la réglementation en ce qui concerne l'état de conservation des populations d'espèces protégées ; le pétitionnaire devra démontrer également qu'il n'y avait pas d'autres solutions satisfaisante de moindre impact pour la réalisation de son projet, celui-ci devant en outre justifier d'une raison impérative d'intérêt public majeur ; l'autorisation environnementale intégrera alors l'octroi de cette dérogation.
3. il est impossible de se conformer aux objectifs de la réglementation du fait de la permanence des impacts du projet malgré l'application des mesures ERC ; cette situation se rencontre d'autant plus que l'état de conservation des espèces impactées est dégradé ; il est dès lors impératif d'éviter les impacts et de déterminer un autre site pour l'installation du parc afin que les différents intérêts soient conciliables.

Une fois le parc éolien en fonctionnement, le suivi environnemental permet de vérifier la validité des conditions de fonctionnement. Si nécessaire, ces conditions de fonctionnement doivent être ajustées.

La prise en compte des enjeux relatifs à Natura 2000

La réglementation prévoit l'obligation de procéder à une évaluation des incidences Natura 2000 pour les projets soumis à l'autorisation environnementale, ainsi que pour les projets éoliens soumis à déclaration ICPE (ou non) si ce type de projet figure sur des listes départementales complétant les dispositions nationales.

Le dossier d'évaluation des incidences Natura 2000 comprend en particulier un exposé des raisons pour lesquelles le projet est susceptible ou non d'avoir une incidence sur un ou plusieurs sites Natura 2000 (compte tenu de l'ampleur du projet, de sa distance avec le site Natura 2000, de la topographie, de l'hydrographie, du fonctionnement des écosystèmes et des objectifs de conservation du site).

S'il apparaît à ce stade qu'un site est susceptible d'être affecté, le dossier sera complété par une analyse plus détaillée des effets permanents, temporaires, directs ou indirects que le projet peut avoir ainsi que ses effets cumulés avec d'autres projets en cours.

S'il résulte de cette analyse que le projet peut avoir des effets significatifs dommageables sur l'état de conservation des habitats naturels et des espèces qui ont justifié la désignation du ou des sites, le dossier sera complété par un exposé des mesures prises pour supprimer ou réduire ces effets dommageables.

L'effet significatif ne doit être apprécié qu'après prise en compte des mesures d'évitement ou de réduction.

Une activité est susceptible de porter atteinte aux objectifs de conservation du site si :

- elle risque de retarder ou d'interrompre la progression vers l'accomplissement des objectifs de conservation du site ;
- de déranger les facteurs qui aident à maintenir le site dans des conditions favorables ;
- de changer l'équilibre du site en tant qu'écosystème ;
- de réduire la surface de l'habitat ;
- de réduire la population d'espèce.

Aux termes d'une procédure dérogatoire, des projets ayant un impact significatif sur un site Natura 2000 peuvent être autorisés à trois conditions :

1. Démontrer l'absence de solutions alternatives ; il s'agit de montrer l'impossibilité de modifier le projet de telle sorte que les effets dommageables soient supprimés et de montrer que la solution proposée est la moins préjudiciable.
2. Présenter une raison impérative d'intérêt public majeur (cette caractérisation intervient au cas par cas sur décision de l'administration) ; il s'agit d'une situation où les activités envisagées se révèlent indispensables.
3. Prévoir des mesures compensatoires à la charge du porteur de projet venant compenser l'incidence négative de l'activité. Elles visent à contrebalancer les effets négatifs du projet. Elles doivent être ciblées, localisées (dans les zones ayant les mêmes fonctions au sein du réseau Natura 2000), faisables techniquement, proportionnées à l'atteinte portée aux espèces et aux habitats, effectives (opérationnelles au moment où le dommage causé est effectif), faire l'objet d'une estimation détaillée des dépenses, présenter des garanties sur le long terme.

Le dossier présentant les mesures compensatoires est soumis pour information à la Commission Européenne et dans certains cas pour avis (espèce prioritaire et projet non lié à la santé de l'homme et à la sécurité publique).

Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015

Geoffroy MARX¹

¹ LPO France, rue du Dr Pujos 17300 Rochefort. geoffroy.marx@lpo.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

La France compte aujourd'hui environ 6 000 éoliennes en exploitation. Si des suivis environnementaux ont été menés sur de nombreux parcs éoliens français entre 1997 et 2015 par des bureaux d'études et des associations naturalistes, aucune analyse globale et consolidée n'avait été réalisée jusqu'ici. Pour répondre à ce besoin, la LPO a compilé et analysé pendant un an 197 rapports de suivi réalisés sur un total de 1 065 éoliennes réparties sur 142 parcs français. Une masse de données importante a été récoltée qui permet de décrire, pour la première fois à l'échelle nationale, les parcs éoliens français, les suivis qui y ont été réalisés et les impacts qui ont été mesurés en termes de mortalité directe par collision.

Malgré un certain nombre d'indicateurs limités (distribution géographique disparate, disparité des méthodologies mises en œuvre, insuffisance de nombreux suivis, etc.) cette compilation contribue à une meilleure compréhension de la mortalité directe causée par les éoliennes en France en identifiant les espèces les plus impactées (rapaces nicheurs et passereaux migrateurs) et surtout en mettant en évidence un facteur d'impact prédominant : la proximité des zones de protection spéciales (ZPS). En effet, deux fois plus de cadavres sont retrouvés par prospection à proximité de ces ZPS et les cadavres retrouvés appartiennent, bien plus souvent qu'ailleurs, à des espèces patrimoniales (inscrites en liste rouge ou à l'Annexe I de la Directive Oiseaux).

Matériel et méthode

Informations sur les éoliennes implantées en France

Le préalable à toute analyse a été la constitution d'une base de données des éoliennes françaises. Les recherches effectuées dans le catalogue interministériel de données géographiques, auprès des DREAL et sur le site Internet de The Wind Power ont abouti au recensement de l'ensemble des parcs puis des éoliennes en exploitation sur le territoire français métropolitain en avril 2016.

Les données obtenues sont les suivantes :

- coordonnées précises des 5 156 éoliennes en exploitation en avril 2016 ainsi que de 1 017 autres éoliennes pour lesquelles un permis de construire a été accordé mais non encore construites (soit un total de 6 173 éoliennes) ;
- date de mise en service de 5 120 éoliennes (99,3 % des éoliennes déjà en service) ;
- gabarit (hauteur de mât et longueur de pale) de 4 217 éoliennes, soit 68,3 % des 6 173 machines (et 100 % des éoliennes pour lesquelles nous disposons de rapports de suivi de mortalité).

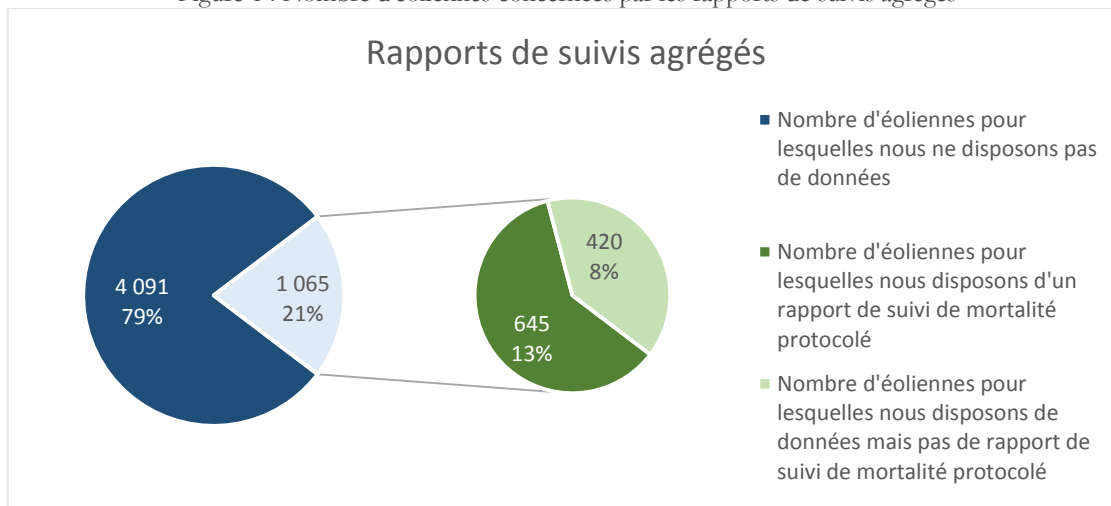
Informations sur les suivis de mortalité réalisés

Les rapports de suivis réalisés par des bureaux d'étude ou des associations naturalistes ont été demandés aux DREAL, plus précisément à l'Inspection des installations classées de chaque région. Le réseau naturaliste et, en particulier celui de la LPO, a également été sollicité.

Dans le cadre de cette étude nous avons réuni 197 rapports pour un total de 8 696 pages. Tous ne contiennent pas de suivi de mortalité : certains se concentrent sur les habitats ou l'activité – des migrateurs, des nicheurs, des chiroptères – suivis qui n'excluent pas nécessairement des prospections rapides ou des découvertes fortuites.

Les données ainsi recueillies (découvertes fortuites, suivis de mortalité ou autres suivis) concernent 142 parcs (1 065 éoliennes), soit 20,6 % du parc éolien français en exploitation en avril 2016. Parmi ces rapports, les rapports de suivi de mortalité concernent 645 éoliennes appartenant à 91 parcs et représentant 12,5 % du parc éolien français en exploitation en avril 2016 (Figure 1).

Figure 1 : Nombre d'éoliennes concernées par les rapports de suivis agrégés



Suite à nos sollicitations, certains bureaux d'étude ou associations ont parfois accepté d'apporter des compléments d'informations non spécifiés dans ces rapports (rapports intermédiaires, dates de découverte des cadavres, largeurs de transects, distance par rapport au mât, etc.).

Certains cas de mortalité sont également issus de compilations réalisées par le CPIE Pays de Soule en Champagne-Ardenne et Tobias Dürr (Agence de l'environnement du Land de Brandebourg) qui tient à jour un décompte des cas de mortalité constatés en Europe¹. Pour ces dernières sources, il n'a pas été systématiquement possible de relier chaque cas de mortalité à un parc particulier ou à des modalités de suivis ; toutefois, il a été possible de s'assurer de l'absence de doublons.

Lorsque les informations étaient disponibles, chaque suivi annuel a été décrit aussi précisément que possible dans une base de données : parc concerné, nature du suivi, date de début et de fin, nombre d'éoliennes suivies, nombre de prospections par éolienne, surface théorique prospectée, surface réellement prospectée, largeur des transects.

37 839 prospections réalisées entre 1997 et 2015 ont ainsi pu être répertoriées dont 35 903 issues de suivis de mortalité dont le protocole est connu (94,9 %).

Pour chaque suivi annuel, les cas de mortalité constatés ont été renseignés dans une table, précisant les espèces, les dates de découverte et la distance à l'éolienne la plus proche lorsque ces informations étaient disponibles.

Enfin, pour les parcs ayant fait l'objet des suivis les plus robustes incluant la mise en œuvre de tests de persistance des cadavres et de taux d'efficacité de recherche, les résultats de l'application des formules

destinées à estimer la mortalité réelle à partir du nombre de cadavres retrouvés ont été renseignés.

Au final, les données récoltées permettent donc de décrire assez précisément :

- **les parcs éoliens français** et les éoliennes qui les composent (coordonnées, hauteur du mât, longueur de pale, date de mise en service, puissance unitaire, etc.) ;
- **les suivis qui ont été réalisés** (parcs concernés, nombre d'éoliennes suivies, type de suivi réalisé, dates de début et de fin, nombre de semaines couvertes, nombre de prospections réalisées sur cette période, surface prospectée, largeur de transect, etc.) ;
- **les cas de mortalité directe qui ont été constatés** (parc et suivi concerné, espèce, date de découverte, distance par rapport à l'éolienne la plus proche) ;
- **l'estimation de la mortalité réelle** pour les quelques parcs ayant fait l'objet des suivis les plus robustes.

Ces données peuvent ensuite être croisées avec différentes couches d'informations géographiques : localisation des Zones de Protection Spéciales (ZPS) et des Zones Spéciales de Conservation (ZSC), classification CORINE Land Cover 2012, etc. Chaque cadavre peut donc être relié, en théorie, à ses modalités de découverte et aux caractéristiques du parc et du territoire où il a été trouvé, le but étant de réussir à estimer la mortalité directe des oiseaux due aux éoliennes françaises et à identifier les facteurs d'impacts.

¹ [Bird fatalities at windturbines in Europe](#) (Dürr, 2017)

Résultats

Le parc éolien français

Si l'on considère comme un parc tout ensemble d'éoliennes distantes de moins de 1 500 m les unes des autres, alors les 6 175 éoliennes construites ou disposant des autorisations de construire et d'exploiter en avril 2016 sont réparties en 802 parcs constitués en moyenne de 7,7 machines.

La moitié de ces 802 parcs est constituée 6 machines ou moins. Les trois quarts sont constitués de 9 éoliennes ou moins. Et seul 6,7 % des parcs accueillent plus de 16 éoliennes.

Comprendre la façon dont s'est développé le parc éolien français dans le temps et dans l'espace permet également d'éviter certains biais d'observations.

Le croisement entre les dates de mise en service des éoliennes, leur gabarit et leur localisation donne une image relativement précise de la façon dont a été développé le parc éolien français.

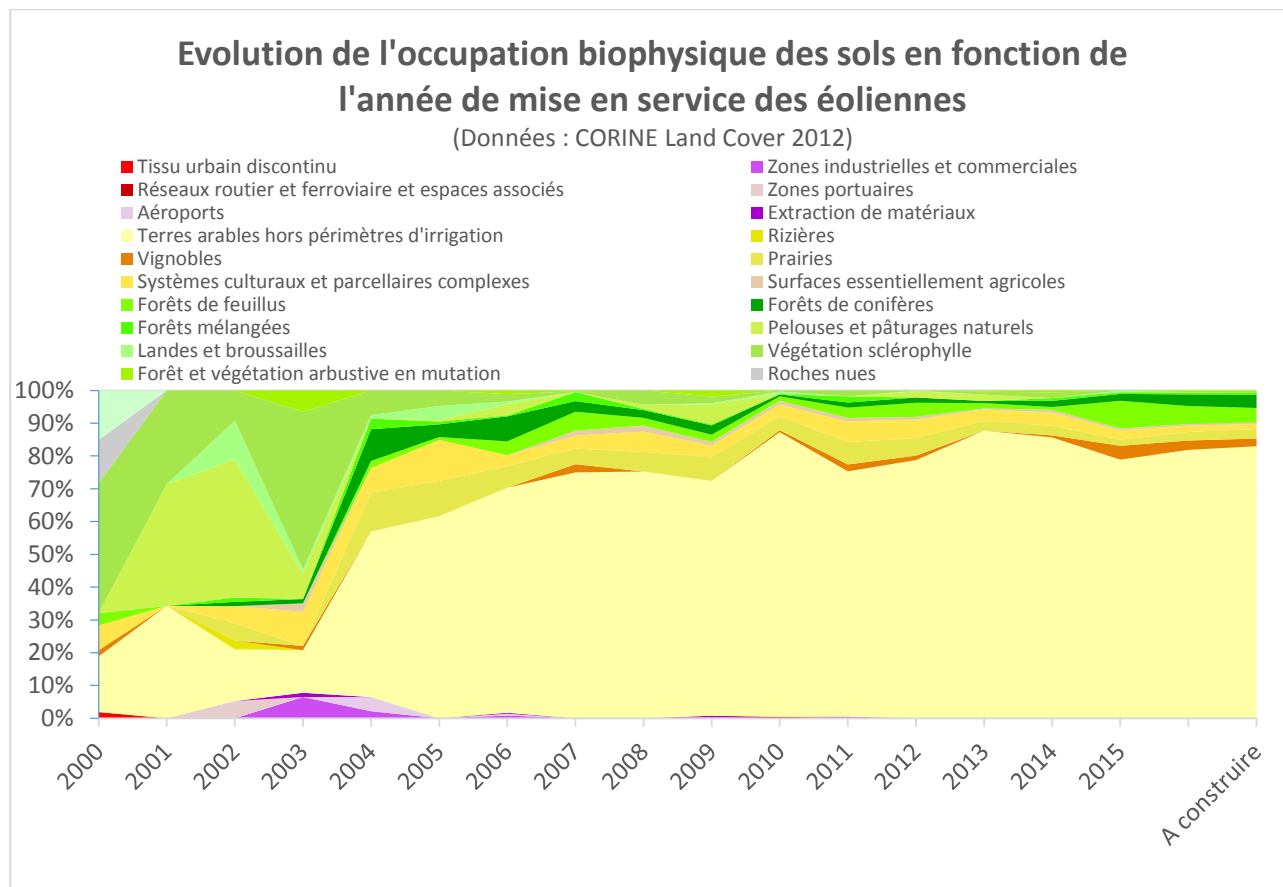
Jusqu'en 2000, les éoliennes avaient une hauteur totale comprise entre 40 et 80 m en bout de pale. Le critère vent primait donc sur toute autre considération, d'autant que la rentabilité n'était pas assurée par le

mécanisme d'obligation d'achat tel qu'il existe aujourd'hui en France. Le cadre réglementaire n'imposait pas des études d'impact aussi exigeantes qu'aujourd'hui. Enfin, le réseau Natura 2000 était peu développé, spécialement les ZPS dont l'essentiel des désignations est intervenu en 2006-2007.

C'est ainsi que les premières éoliennes ont été implantées, pour la plupart, dans les espaces naturels exposés au mistral et à la tramontane, puis sur les côtes de la Manche et de la mer du Nord.

A partir de 2004, grâce à l'augmentation du gabarit des machines et aux exigences accrues des services instructeurs (déploiement du réseau Natura 2000, émergence de la notion de séquence ERC², classement ICPE des éoliennes, etc.), les parcs mis en service chaque année s'implantent de plus en plus en plaine agricole. Dans les régions à faible potentiel éolien, les projets deviennent petit à petit économiquement viables du fait de l'augmentation de la taille des pales qui permet de générer de l'électricité à partir de vitesses de vents plus faibles. Les mâts, de plus en plus hauts, permettent également de capter les vents d'altitude jusque-là inaccessibles et laissent appréhender, dans l'avenir, une augmentation du nombre d'éoliennes en forêt.

Figure 2 : Evolution de l'occupation biophysique des sols



² [Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels](#), MEDD (2013)

Deux constats s'imposent lorsque l'on superpose les éoliennes et les périmètres des Zones de Protection Spéciale (ZPS) telles qu'elles existent aujourd'hui : d'une part, la répartition des éoliennes situées en ZPS n'est pas uniforme sur le territoire français et, d'autre part, la proximité des ZPS dépend de la date de mise en service.

Ainsi, 15 régions – parmi les 22 que comptait la France métropolitaine avant l'entrée en vigueur du nouveau découpage régional le 1^{er} janvier 2016 – n'accueillent aucune éolienne en ZPS. Ces régions regroupent pourtant 71,3 % des éoliennes françaises. Au contraire, 5 régions concentrent 90,5 % des 252 éoliennes situées en ZPS (Centre-Val de Loire, Bourgogne, Pays-de-la-Loire, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur).

D'autre part, plus les éoliennes ont été mises en service récemment, moins elles sont implantées en ZPS ; et les éoliennes sont implantées, en moyenne, de plus en plus loin des ZPS.

Les suivis réalisés

Souvent difficiles à obtenir, insuffisants dans leur méthodologie (surface prospectée réduite, nombre de visites limité, absence de test d'efficacité de recherche ou de persistance des cadavres, etc.) et peu précis dans leur retranscription (date des visites, largeur des transects, surface réellement prospectée, données brutes, etc.), les suivis de mortalité que nous avons pu réunir sont également peu nombreux au regard du nombre total de parcs exploités en France.

S'ils permettent, pour certains, d'estimer la mortalité d'un parc sur une période donnée, ils sont généralement trop hétérogènes dans leur réalisation pour envisager de comparer sérieusement l'impact de différents parcs éoliens entre eux ou pour espérer obtenir une estimation fiable du nombre de cas de mortalité d'oiseaux causé par l'ensemble des éoliennes françaises.

Le suivi de mortalité « type » consiste à prospecter autour de chacune des éoliennes d'un parc, sur un rayon théorique de 50 m, pendant 26 semaines à raison d'une fois par semaine ; ce suivi étant reconduit une fois à l'issue de la première année. Toutefois, cette moyenne masque une très forte hétérogénéité des suivis mis en œuvre.

Les parcs situés en plaines agricoles, pressentis comme moins impactants pour l'avifaune, ont généralement fait l'objet d'un effort de prospection plus faible que les autres. Notre étude montre toutefois que ces parcs peuvent potentiellement provoquer un nombre tout à fait similaire de collisions et impacter des espèces tout aussi patrimoniales que ceux situés dans d'autres types d'habitats.

Les parcs situés à proximité de ZPS, quant à eux, bénéficient des suivis les plus robustes et peuvent, pour certains, appliquer les formules permettant d'estimer la mortalité réelle causée par les éoliennes sur les oiseaux.

La mortalité constatée

Le nombre de cas de collisions constatés est globalement faible au regard de l'effort de prospection mis en œuvre (35 903 prospections réalisées dans le cadre de suivis de mortalité protocolés, généralement sur un rayon d'au moins 50 m autour de chaque éolienne, ont permis de découvrir 803 cadavres d'oiseaux, soit 1 cadavre toutes les 45 prospections).

Le nombre de cadavres trouvés dépend essentiellement de l'effort de prospection, des enjeux avifaunistiques présents sur le site, du taux de détection et de la durée moyenne de persistance des cadavres. Les suivis les plus robustes (au moins 48 semaines de prospections dans l'année à raison d'au moins une prospection par semaine sur un rayon théorique d'au moins 50 m sous chaque éolienne du parc) réalisés sur des parcs présentant des enjeux environnementaux *a priori* forts puisque situés dans ou à proximité de ZPS, ont permis de découvrir en moyenne 2,2 oiseaux par éolienne et par année de suivi.

La mortalité réelle

Plusieurs formules existent pour estimer la mortalité réelle d'un parc à partir du nombre de cadavres constatés, notamment (Winkelmann, 1989), (Erickson, 2000), (Jones, 2009), (Huso, 2010). Elles utilisent, d'une façon plus ou moins complexe, les variables suivantes :

1. la surface réellement prospectée ;
2. le taux de détection (qui reflète tout autant la densité de la couverture végétale que l'efficacité de l'observateur) ;
3. la durée entre deux prospections ;
4. la durée moyenne de persistance des cadavres (qui dépend de l'activité des prédateurs et des nécrophages ainsi que de la vitesse de décomposition).

En France, ces estimations de la mortalité n'ont été effectuées, à notre connaissance, que pour très peu de parcs, souvent localisés dans des ZPS ou présentant de fortes sensibilités avifaunistiques. Pour les huit parcs concernés, qui représentent 1,4 % des éoliennes françaises, la mortalité réelle estimée varie de 0,3 à 18,3 oiseaux tués par éolienne et par an, la médiane s'établissant à 4,5 et la moyenne à 7,0. Certains parcs n'impactent donc qu'un faible nombre d'oiseaux, du moins en ce qui concerne la mortalité directe par collision, tandis que d'autres peuvent être plus impactants.

Ces estimations sont finalement du même ordre de grandeur que celles calculées en Amérique du nord :

- 4,7 oiseaux par éolienne et par an (Canada Bird Studies, 2016)
- 8,2 oiseaux par éolienne et par an (Zimmerling, Pomeroy, d'Entremont, & Francis, 2013)
- 5,3 oiseaux par éolienne et par an (Loss, Will, & Marra, 2013)

Mais plus que le nombre d'oiseaux retrouvés, ce sont les espèces auxquelles ils appartiennent qui permettent d'évaluer l'impact de l'éolien sur des populations parfois menacées.

Les espèces impactées

Parmi les 1 102 cadavres d'oiseaux retrouvés, 1 008 appartenant à 97 espèces ont pu être précisément identifiés. Sur les 97 espèces retrouvées 75 % sont

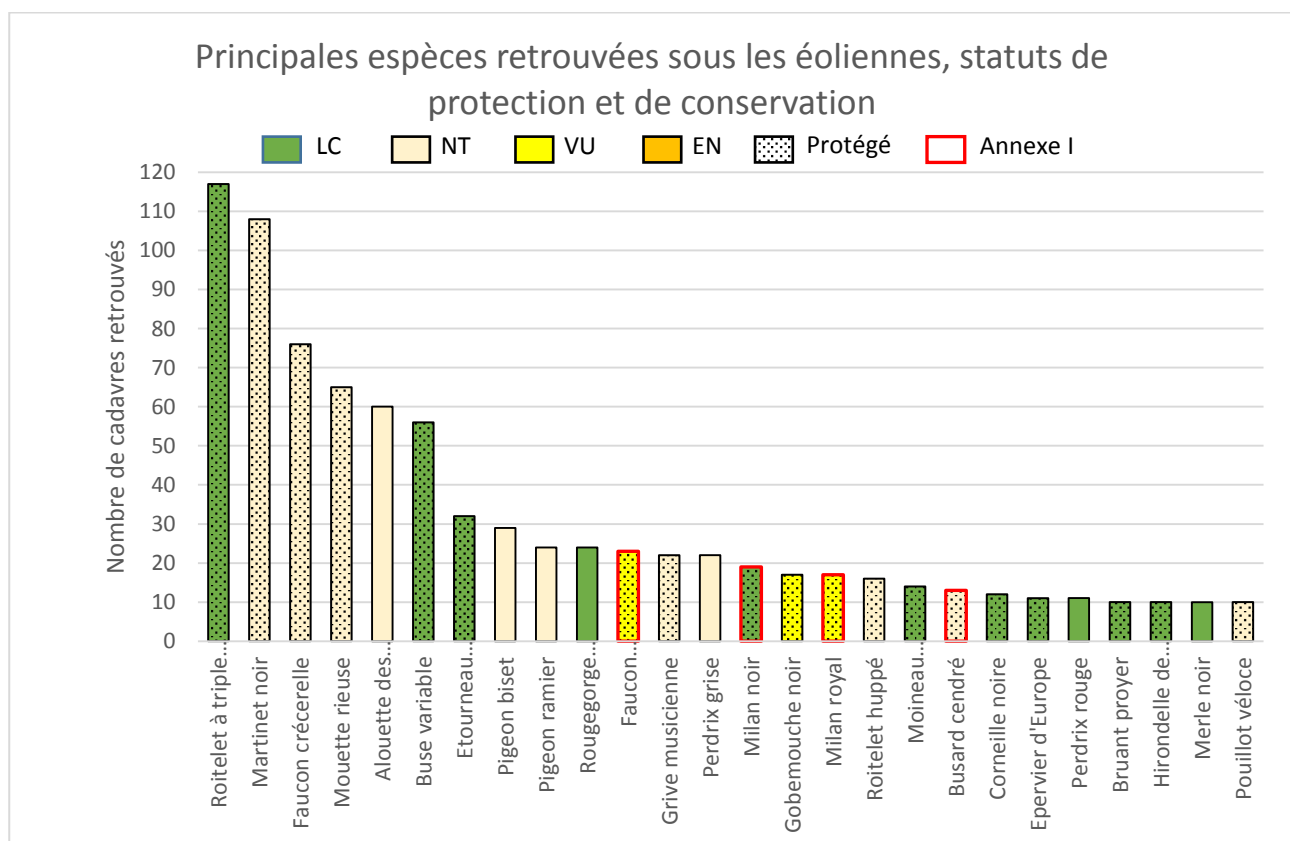
protégées en France, ce qui correspond, globalement, au pourcentage d'espèces d'oiseaux protégées en France.

10,2 % des cadavres appartiennent à des espèces inscrites à l'Annexe I de la Directive Oiseaux³ tandis que 8,4 % des cadavres appartiennent à des espèces considérées comme menacées sur la liste rouge française (UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, 2016), chiffre porté à 36,6 % en comptabilisant les espèces considérées comme quasi-menacée (NT).

Seuls 19 % des cadavres retrouvés appartiennent à des espèces non protégées et ne présentant qu'une préoccupation mineure quant à leur état de conservation.

La Figure 3 récapitule le statut de protection et l'état de conservation des espèces les plus impactées (celles dont au moins 10 cadavres ont été retrouvés).

Figure 3 : Statut de protection et état de conservation des principales espèces retrouvées



LC : Préoccupation mineure, NT : Quasi menacée, VU : Vulnérable, EN : En danger

Les migrateurs, principalement des passereaux, représentent environ 60 % des cadavres retrouvés. Les roitelets à triple bandeau (*Regulus ignicapilla*) et les martinets noirs (*Apus apus*), impactés principalement lors de la migration postnuptiale, sont les espèces les plus dénombrées sous les éoliennes françaises (Figure 4). Le fait que de nombreux roitelets soient retrouvés

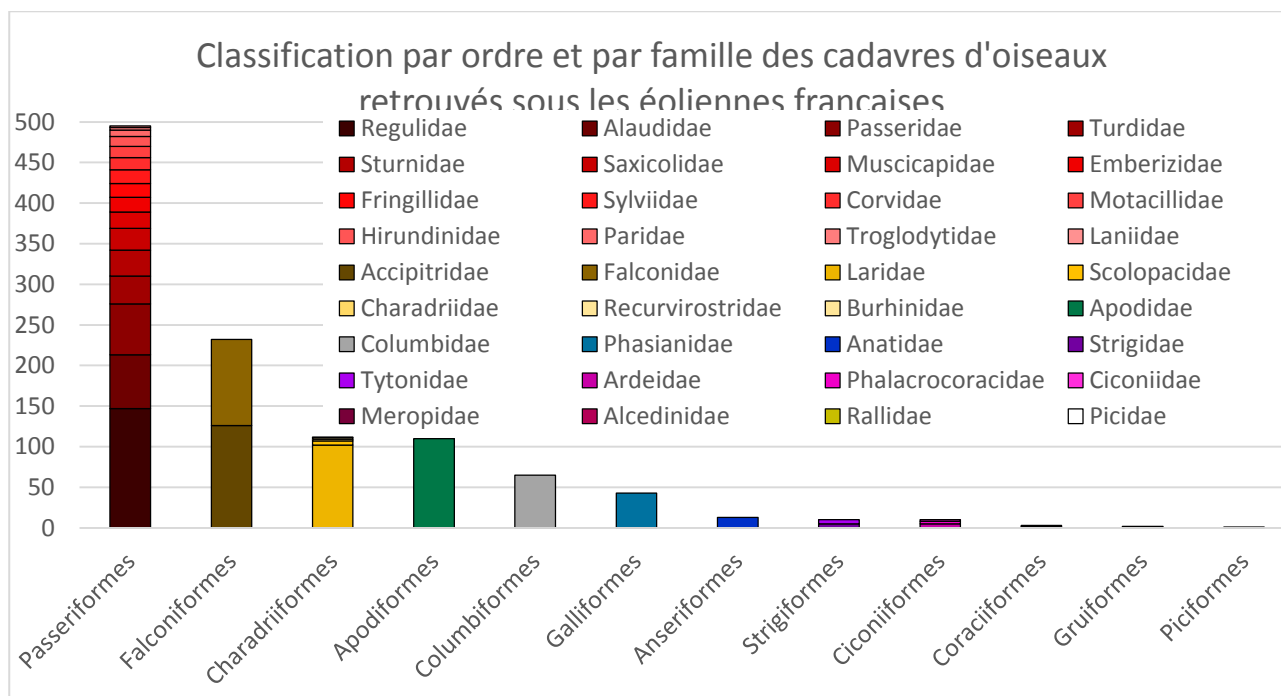
sous les éoliennes peut être interprété comme un signe de l'efficacité des suivis mis en œuvre. En effet, si ces cadavres minuscules sont retrouvés, il est raisonnable de penser que des oiseaux plus grands le seraient d'autant plus facilement par les observateurs.

³ Annexe I de la Directive [2009/147/CE](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/147/ce) du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages.

Les rapaces diurnes, représentant 23 % des cadavres retrouvés, forment le deuxième cortège d'oiseaux retrouvé sous les éoliennes. Impactés

principalement en période de nidification, ils sont, par contre, indéniablement les premières victimes des éoliennes au regard de leurs effectifs de population.

Figure 4 : Classification par ordres et familles des cadavres d'oiseaux

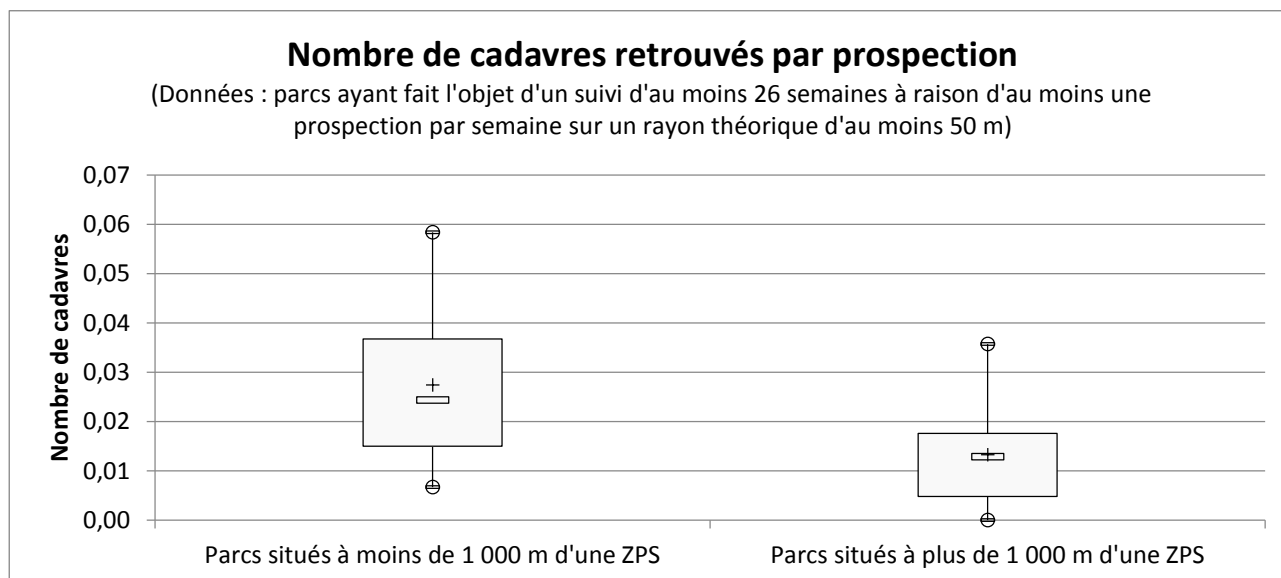


Les facteurs d'impact

Si l'on observe les 828 cadavres dont la localisation et l'espèce ont été correctement renseignés dans les rapports, alors on constate que 60 % d'entre eux (495) ont été découverts sous les éoliennes de parcs situés à moins de 1 000 m d'une ZPS alors que ces parcs n'accueillent qu'environ 11 % du total des éoliennes de France. Cette forte proportion s'explique en partie par l'important effort de prospection consenti sur la plupart des parcs situés à proximité de ZPS. Toutefois, la

Figure 5 – qui se concentre sur les parcs ayant fait l'objet d'un suivi d'au moins 26 semaines à raison d'au moins une prospection par semaine sur une surface théorique d'au moins 50 m sous chaque éolienne – montre, sans ambiguïté possible, l'importance de la proximité des ZPS comme facteur de mortalité directe par collision avec les éoliennes. En effet, en moyenne, deux fois plus de cadavres sont retrouvés à chaque prospection sous les éoliennes situées à moins d'un kilomètre des ZPS que sous les autres éoliennes, alors même que celles-ci sont, en moyenne, 20 m plus petites.

Figure 5 : Nombre de cadavres retrouvés en fonction de la distance aux ZPS



En raison du nombre généralement plus important de prospections par an dont bénéficient les parcs situés à proximité des ZPS, le nombre total de cadavres découverts par éolienne et par an sur ces parcs est, lui, 2,5 fois plus importants pour les parcs situés à moins de 1 000 m d'une ZPS que pour les autres parcs.

Parmi les 828 cadavres retrouvés sous les éoliennes françaises qui ont pu correctement être identifiées et localisées, 102 appartiennent à des espèces inscrites à l'Annexe I, soit 12,32 % du total. Pour 72 % d'entre eux, ces cadavres ont été retrouvés sous des parcs situés en ZPS ou à moins de 1 000 m d'une ZPS. Pourtant, ces parcs n'accueillent que 11 % des éoliennes françaises et n'ont concentré que 25 % des suivis de mortalité protocolés.

On notera également que, parmi les individus retrouvés au-delà des 1 000 m, certains cadavres appartiennent à des espèces pour lesquelles les collisions ont lieu essentiellement en période de migration – comme le Milan royal – ou à des espèces ayant un large rayon d'action – comme le Vautour fauve – et pour lesquels il est donc normal de retrouver les cadavres à bonne distance des ZPS.

Cela montre, d'une part, que les zones de protection spéciale existantes ont été correctement déterminées et, d'autre part, qu'elles doivent être préservées de l'implantation d'éoliennes y compris dans une zone tampon correspondant à l'espace vital des espèces ayant justifié ce classement (au moins 1 km et parfois bien plus) ; c'est particulièrement vrai pour les rapaces (Faucon crécerellette, Milan noir, Milan royal, Busard cendré, Bondrée apivore, Balbuzard pêcheur, etc.).

Conclusion

L'étude montre la nécessité de disposer d'un protocole de suivi robuste applicable à tous les parcs éoliens.

Pour réduire la mortalité des oiseaux, elle confirme la nécessité de bien prendre en compte les migrateurs nocturnes lors du développement des projets et de préserver les espaces vitaux des rapaces diurnes, premières victimes des éoliennes au regard de leurs effectifs de population.

Elle recommande d'éviter l'implantation d'éoliennes dans mais aussi à proximité des ZPS, périmètres dans lesquels la mortalité est plus importante et touche, plus qu'ailleurs, des espèces patrimoniales.

Elle éclaire également la problématique du renouvellement des parcs en fin de vie (Repowering) en attirant l'attention sur les parcs éoliens les plus anciens qui sont également, souvent, les plus problématiques.

Références

- Canada Bird Studies. (2016). Summary of the findings related to bird and bat fatalities, including corrected mortality estimates, based on post construction monitoring reports.
- Erickson, W. (2000). Examples of statistical methods to assess risk of impacts to birds from wind plants. *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, 1998*, (pp. 172-182). San Diego, CA.
- Huso, M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, Vol. 22, 318–329.
- Jones, G. (2009). Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain. *Scoping and method development report*.
- Loss, S., Will, T., & Marra, P. (2015). Direct Mortality of Birds from Anthropogenic Causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Vol. 46, 99-120.
- UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS. (2016). *La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine*. Paris, France.
- Winkelmann, J. (1989). Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese and swans. *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting, 1994*, (pp. 122-166). Lakewood, Colorado.
- 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* 8(2).

Deux applications web en libre accès pour calibrer et évaluer la pertinence des suivis de mortalités sous les éoliennes

Aurélien BESNARD¹, Cyril Bernard¹

¹ EPHE, PSL Research University, CNRS, UM, SupAgro, IRD, INRA, UMR 5175 CEFE, F-34293 Montpellier, France. aurelien.besnard@cefe.cnrs.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

La collecte de cadavres sous les éoliennes est désormais classiquement utilisée pour estimer les mortalités occasionnées. De nombreux biais sont connus pour affecter fortement l'extrapolation nécessaire pour obtenir les mortalités totales à partir de ce qui est collecté sous les éoliennes. Ces biais sont évalués par les opérateurs sur les sites suivis à partir d'expérimentations spécifiques et leur prise en compte passe ensuite par l'utilisation de formules, plus ou moins complexes. Si ces formules sont de plus en plus utilisées par les opérateurs, à notre connaissance quasiment aucune structure ne s'est penchée sur les intervalles de confiance associés aux estimations qu'elles produisent. Pourtant, comme tout pour processus d'échantillonnage, l'extrapolation à partir d'un échantillon est assujettie à une variance d'échantillonnage qui doit être quantifiée pour que les estimations soient interprétables. Malheureusement, le calcul de ces intervalles de confiance est complexe et ne repose pas sur de simples formules à appliquer. Dans ce contexte, nous avons développé une application Web, en libre accès, permettant à partir des informations sur le dispositif de suivis mis en place et de ses résultats d'estimer les mortalités ainsi que leurs intervalles de confiance. Des travaux de simulation nous ont aussi montré que les dispositifs généralement mis en place produisent des estimations avec des intervalles de confiance extrêmement larges et donc peu exploitables. Ce constat nous a conduits à développer une deuxième application web permettant de simuler des dispositifs et ainsi de calibrer les protocoles pour pouvoir obtenir un degré de précision voulu selon les situations locales.

Abstract

The collection of dead animals below wind turbines is now classically used to estimate the mortalities induced by these infrastructures. Yet, several sources of bias are well known to affect the extrapolation needed to get estimates of the true mortalities. These bias are now regularly estimated locally by specific experiments and then dealt with into more or less complex mathematical formulae. If these formulae are more and more used by operators, to our knowledge, none of these operators tried to produce confident intervals around the produced estimates. Yet, these confident intervals are crucially needed as mortalities estimates are generated by sampling scheme and thus subject to sampling variances. Unfortunately, these confident intervals are difficult to calculate as they do not rely on simple mathematical formulae. In this context, we developed a free-access web application that allows to automatically estimate mortalities and their confident intervals from data collected in the fields. Simulation works we conducted also showed that these confident intervals are usually very large for usual sampling designs used in the field. We thus developed a second web-interface that allows to simulate sampling designs and to assess the precision they provide on mortalities estimates.

Motivation

La collecte de cadavres sous les éoliennes est une méthode désormais classiquement utilisée pour estimer les mortalités occasionnées par ces infrastructures. Cependant, le nombre de cadavres trouvés ne peut être directement utilisé pour en déduire les mortalités totales. En effet, deux problèmes vont se poser. Le premier réside dans le fait que la recherche de cadavres est un processus d'échantillonnage du fait que les opérateurs ne passent pas tous les jours. Il va donc être nécessaire, comme pour tout processus d'échantillonnage, de quantifier les incertitudes

associées aux estimations de mortalités. Le deuxième réside dans le fait que le nombre de cadavres détecté est fortement biaisé en comparaison avec le nombre de mortalités occasionnées. Il va donc être nécessaire de corriger ces biais dans la mesure du possible.

Durée de persistance des cadavres

La première source de biais dans la collecte des cadavres est liée au fait que les cadavres disparaissent plus ou moins rapidement du site étudié. En effet, ils sont généralement prédatés par des charognards. De ce fait, ils ne sont plus détectables par les opérateurs. Ce biais, lié à la persistance des cadavres, induit donc une

sous-estimation des mortalités. La littérature montre que ce biais est très variable dans le temps et dans l'espace. Il va dépendre de la communauté de charognards fréquentant le site, de leurs abondances mais aussi de leurs rythmes d'activité (lié à la saison par exemple), à l'abondance des ressources alimentaires alternatives, etc. La persistance des cadavres va aussi dépendre de la taille des cadavres et de leur couleur, qui va les rendre plus ou moins détectables (mais aussi plus ou moins faciles à faire disparaître entièrement par un charognard). Il va dépendre aussi de l'âge du cadavre (un cadavre ancien étant plus difficile à détecter et moins intéressant pour un charognard). Enfin, il va dépendre de l'emplacement même du cadavre (plus ou moins visible, plus ou moins accessible). Du fait de cette hétérogénéité, il est recommandé aux opérateurs d'estimer localement la persistance des cadavres dans leur zone d'étude et au cours de différentes saisons. Ceci est réalisé via des expérimentations consistant à déposer des cadavres sur le terrain et à caractériser leur vitesse de disparition. Ces expérimentations sont intéressantes mais souffrent de plusieurs limites. Les cadavres sont généralement issus d'élevages et sont manipulés par les observateurs. Ils sont donc sans aucun doute imprégnés d'odeurs spécifiques qui peuvent les rendre plus ou moins attractifs. La densité de cadavre posée est sûrement différente de celle de cadavres « naturels ». Ceci peut conduire à attirer des charognards sur le site ou au contraire à réduire leur appétence par l'abondance de ressources. Enfin, ces expérimentations visent à estimer la persistance des cadavres, il s'agit donc d'un processus d'échantillonnage. Ces estimations s'accompagnent donc d'un certain degré d'incertitude qu'il faudra quantifier. Ce degré d'incertitude sera lié à la taille de l'échantillon de cadavres utilisés pour l'expérimentation mais aussi à l'hétérogénéité dans le temps et dans l'espace de la persistance.

Efficacité de recherche

La deuxième source de biais est liée au fait que tous les cadavres disponibles à la détection sur le site ne sont pas nécessairement détectés par les opérateurs. Comme pour la persistance, cette limite induit une sous-estimation des mortalités. La littérature montre, comme pour la persistance, que cette détection est très hétérogène dans le temps et dans l'espace. Elle va dépendre fortement du milieu dans lequel le cadavre est tombé (détection plus faible en milieu fermé par exemple), de la taille et de la couleur des cadavres mais aussi de l'expérience de l'observateur, de sa méthode de prospection, de son état de fatigue, de sa concentration, etc. De ce fait, il est recommandé d'estimer localement cette probabilité de détection des cadavres à l'aide, comme pour la persistance, de dépôt de cadavres sur le site, cadavres qui sont alors recherchés par les observateurs. Cependant, ce type d'expérimentation s'accompagne de limites comme par exemple le fait que

les cadavres soient disposés par des observateurs humains ce qui peut impacter leur détection, le fait que l'observateur sait qu'il y a des cadavres à trouver ce qui peut impacter sa concentration, etc. Par ailleurs, comme pour la persistance, la détection est une estimation issue d'un processus d'échantillonnage, qui s'accompagne donc d'une incertitude qu'il faut quantifier et qui sera liée à la taille de l'échantillon et à la variation spatio-temporelle de cette détection.

Surface réellement prospectée

La troisième source de biais est liée au fait que, sous une éolienne, toute la surface peut ne pas être prospectable, certaines zones étant difficiles d'accès. Là encore, ce biais induit une sous-estimation du nombre de mortalités. Ce biais est, lui aussi, très hétérogène dans l'espace (varie selon la végétation au pied des éoliennes) et dans le temps (la végétation évolue au cours de la saison), mais varie aussi entre observateurs selon leur méthode de prospection. Il est donc recommandé de calculer les surfaces réellement prospectées pour ramener le nombre de cadavres trouvés à cette surface et non à la surface théorique de prospection.

« Crippling loss »

La quatrième source de biais est moins abordée dans la littérature sur les mortalités induites par les éoliennes. Il s'agit du « crippling loss », un terme dérivé de la littérature scientifique sur l'impact de la chasse sur les populations animales. Il s'agit de la proportion d'individus qui meurent en dehors de la zone d'étude. Souvent il s'agit d'individus blessés qui arrivent à se déplacer encore et meurent à proximité de la zone d'étude. Ces individus peuvent aussi mourir plusieurs heures après avoir été percuté donc très loin de l'éolienne. Ce biais induit, là encore, une sous-estimation des mortalités mais, à notre connaissance, n'a jamais fait l'objet d'études spécifiques dans le contexte éolien. Il paraît très difficile à caractériser.

Calcul de l'incertitude globale

Les quatre sources de biais abordées précédemment induisent toutes une sous-estimation des mortalités. Leur hétérogénéité impose de les estimer localement. Les estimations des différents paramètres associées à ces sources de biais peuvent ensuite être intégrées dans différentes formules dont l'objectif sera de passer d'un nombre de cadavres trouvés à un nombre de mortalités.

Ces formules sont assez nombreuses dans la littérature, et, par exemple, le protocole proposé par le ministère, à la date de cette présentation, recommande l'utilisation de quatre formules différentes. Malheureusement, les opérateurs qui utilisent régulièrement ces formules ont pu constater qu'appliquées sur un même jeu de données, elles peuvent fournir des estimations différentes, parfois très différentes (parfois jusqu'à un facteur 10). Ceci est lié

au fait que toutes ces formules sont des modèles, qui reposent donc sur des hypothèses décrivant la manière dont les processus de recherche, de persistance, de détection, se déroulent sur le terrain. Ces hypothèses diffèrent entre formules, ce qui génère les différences dans les estimations produites. Malheureusement, les conditions d'application de ces formules sont souvent méconnues des opérateurs. De plus, une difficulté plus fondamentale réside dans le fait que nous ne savons pas grand-chose sur l'adéquation entre ces hypothèses des modèles et ce qui se passe concrètement sur le terrain.

Enfin, pour aller un peu plus loin, il faut revenir sur le fait que le nombre de cadavres détectés, la persistance et la probabilité de détection des cadavres sont tous issus de processus d'échantillonnage comme nous venons de le détailler. Tous ces paramètres s'accompagnent d'un certain degré d'incertitude. Il est donc crucial que les formules utilisées intègrent elles-aussi ces incertitudes pour pouvoir fournir, non pas une simple estimation des mortalités, mais une estimation assortie de son incertitude (on parlera de son « intervalle de confiance »). On peut facilement montrer par exemple que si l'on dépose dix cadavres sur un site et que la probabilité de détection est de 0.50 alors, par pur processus aléatoire, il sera assez fréquent de ne détecter que quatre, voire trois, voire même deux cadavres ou au contraire six, sept ou huit. On peut aisément comprendre cela en regardant le nombre de garçons dans une fratrie. Le sex-ratio est bien de 50/50 chez l'homme et pourtant il n'est pas rare d'avoir trois, voire quatre garçons dans une fratrie de quatre enfants. Ceci vaut pour la détection mais aussi la persistance et, de manière encore plus importante, pour la mortalité. Une rapide petite simulation montre, par exemple, que si vous répartissez au hasard 50 cadavres sur un site au cours d'une année, que vous réalisez dix visites sur le terrain, et que vous réalisez cette expérimentation un grand nombre de fois et bien dans 20% de cas il n'y aura pas de cadavres du tout à détecter malgré les 50 mortalités annuelles. Ce pourcentage monte à 76% s'il y a dix mortalités dans l'année au lieu de 50. Il faut donc bien intégrer tous ces processus aléatoires pour quantifier l'incertitude autour des estimations. Malheureusement, ceci n'est pas possible avec de simples formules. Il convient d'utiliser des méthodes dites de « bootstrapping » qui consistent à tirer un grand nombre de fois les valeurs dans la distribution des paramètres estimés (distribution liée à leur propre incertitude) et de combiner les valeurs obtenues par ces multiples tirages dans les formules usuelles pour obtenir l'incertitude « globale ».

Les applications développées

Estimer la mortalité et les intervalles de confiance

Du fait de la technicité de cette méthode, elle n'est jamais utilisée par les opérateurs malgré l'importance de

quantifier ces incertitudes. Dans ce contexte, nous avons développé au CEFÉ une application Web (application Shiny basé sur le logiciel R), en libre accès, permettant à partir des informations sur le dispositif de suivis mis en place et de ses résultats (nombre de cadavres déposés et détectés par les observateurs, nombre de cadavres déposés ainsi que leurs durées de persistance, nombre de cadavres trouvés à chaque visite, etc.) d'estimer les mortalités selon les quatre formules proposées par le ministère (Huso, Jones, Erickson, Winkelman) ainsi que leurs intervalles de confiance respectifs. Cette application est en libre accès, totalement transparente (pas d'inscription, pas de cookies, pas d'enregistrement des résultats) et est appelée à évoluer au gré des évolutions des recommandations du ministère par exemple.

Estimer la robustesse des protocoles de suivi de mortalité

Nous avons aussi développé une deuxième application sur le même principe, dont l'objectif cette fois est de simuler des scénarios de protocoles prévus pour anticiper sur la précision attendue des estimations si le protocole est mis en œuvre sur le terrain (ceci s'apparente à un test de puissance du protocole). L'utilisation de cette applications nous a notamment permis de montrer que les dispositifs généralement mis en place par les opérateurs produisent des estimations avec des intervalles de confiance extrêmement larges et donc souvent peu exploitables. Ceci est particulièrement vrai quand la persistance des cadavres est faible et quand le nombre de passages est limité. Le nombre de fois où l'on ne détecte aucun cadavre malgré le fait qu'il y ait des mortalités conséquentes croit lui aussi fortement quand la persistance et/ou le nombre de visites baisse.

Conclusion

En conclusion, l'estimation des mortalités à partir des suivis réalisés sous les éoliennes est un processus complexe qui produit des estimations avec beaucoup d'incertitude. Il convient donc de faire des efforts de terrain très importants pour que les estimations soient exploitables. Quantifier le nombre de mortalités induites par une éolienne n'est aussi que la première étape d'une réflexion plus approfondie à mener sur l'impact démographique de ces mortalités sur les populations.

Les liens pour les deux applications :

- <https://shiny.cefe.cnrs.fr/EolApp>
- <https://shiny.cefe.cnrs.fr/Eol2App>

Les sciences participatives appliquées à la modélisation des enjeux de conservation des chiroptères et des oiseaux : exemple en Nouvelle-Aquitaine

Aurélien G. BESNARD¹

¹ LPO Aquitaine, 433 Chemin de Leysotte, 33140 Villenave-d'Ornon. aurelien.besnard@lpo.fr

Télécharger le diaporama



Résumé

Localiser les enjeux de conservation concernant les populations de chiroptères et d'oiseaux est une étape importante dans le cadre du développement éolien. Cela permet à la fois d'orienter ce développement éolien vers les zones où l'impact semble plus faible sur la biodiversité, mais aussi de cibler plus finement des espèces lors de la réalisation d'études d'impact. Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé les données naturalistes issues de la science participative, pour 23 espèces de chiroptères et 57 espèces d'oiseaux. Ces données ont été mises en relation avec un catalogue de variables environnementales construit spécifiquement pour ce projet. Cela a ainsi permis de modéliser de manière continue sur l'ensemble du territoire aquitain la distribution de chaque espèce considérée, sous la forme de cartes de probabilité de présence. Ces cartes ont ensuite servi de base pour réaliser une carte synthétique de la sensibilité à l'éolien pour les oiseaux et les chiroptères. Nous avons utilisé une méthode de hiérarchisation de l'information en pondérant chaque espèce selon sa propre sensibilité à l'éolien et l'étendue de sa distribution sur le territoire. Cette carte de la sensibilité a pour objectif d'orienter le développement éolien et ainsi de limiter son impact sur la biodiversité en Aquitaine.

Motivation

Le développement éolien induit des impacts sur la biodiversité, en particulier sur les chiroptères et les oiseaux. Ces impacts sont liés à la destruction d'habitat par artificialisation, à la mortalité directe causée par les machines en fonctionnement ou encore par les effets d'évitement par ces espèces ce qui induit une perte d'habitat. L'estimation de ces impacts est aujourd'hui très difficile à évaluer, cependant les données dont nous disposons pour la mortalité directe rendent compte d'une grande variabilité entre les sites qui dépend de la sensibilité locale de la biodiversité. Afin de planifier un développement éolien qui soit le moins impactant possible sur la biodiversité il est donc nécessaire de disposer d'une carte de cette sensibilité.

Méthodologie

Dans le cadre de cette étude nous avons mobilisé des données issues des sciences participatives. L'appel aux naturalistes bénévoles permet la collecte de données massive et une prospection large grâce à une animation du réseau pour orienter l'effort d'échantillonnage. Ces données ont été mises en relation avec un catalogue de variables environnementales construit pour cette étude en sélectionnant des descripteurs pertinents de l'habitat de ces espèces en se basant sur la littérature. Cette modélisation vise dans un premier temps à décrire la niche écologique de chaque espèce, c'est-à-dire son affinité pour chaque paramètre environnemental. Dans

un second temps, cette niche écologique est projetée sur le territoire afin de calculer des cartes de probabilité de présence et donc de décrire la distribution des espèces. Cette modélisation permet d'acquérir une information homogène sur le territoire à une résolution de 2 km. Les 90 cartes ainsi produites ont ensuite servi de base à la création de cartes de synthèse. Pour ce faire, un indice a été attribué à chaque espèce afin de prendre en compte les spécificités de chacune d'entre elles, en particulier sa sensibilité à l'éolien et son statut de conservation. Ces informations ont été hiérarchisées pour aboutir au final à une carte qui synthétise la sensibilité de la biodiversité à l'éolien à l'échelle régionale.

Résumé des résultats

Des modèles de distribution ont été produits pour 23 espèces de chiroptères sur les 25 connues sur le territoire. Ces cartes décrivent la répartition de chaque espèce à une résolution fine (2 km x 2 km). Concernant les oiseaux 70 cartes ont été réalisées pour 57 espèces, la différence correspond aux espèces qui ont une sélection d'habitat différente selon les saisons sur le territoire et pour lesquelles nous avons réalisé un traitement différent en période de reproduction et en hivernage. Cette étude a permis également la production de cartes de sensibilité, une concernant les populations de chiroptères et une autre concernant les populations d'oiseaux.

Ces cartes peuvent être consultées sur le site de l'OAFA (<http://si-faune.oafs.fr/diffusion-carto>)

Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

Ces cartes peuvent être des outils précieux pour identifier les zones accueillant la biodiversité la plus sensible à l'éolien et ainsi alimenter le processus de planification. Il faut cependant garder à l'esprit que ces cartes présentent une hiérarchisation des enjeux et ainsi que les zones avec l'indice de sensibilité le plus faible ne correspondent pas nécessairement à des zones d'enjeux négligeables mais à des zones d'enjeux moindres que sur le reste du territoire. De plus, ces cartes sont le résultat d'un processus de modélisation qui peut induire des erreurs de prédiction. Ces cartes ont pour objectif d'être des outils d'aide à la décision en présentant un état actuel des connaissances mais ce n'est pas pour autant un miroir parfait de la réalité. Il faut noter également que cette étude ne prend pas en compte les phénomènes migratoires qui sont pourtant selon la littérature des périodes de risques important pour ces espèces. Des travaux ultérieurs seront nécessaires pour améliorer notre connaissance de cette période biologique. Les résultats de cette étude permettent cependant d'avoir une vision hiérarchisée de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères afin de participer à un développement éolien à faible impact écologique.

Bibliographie

Aguirre-Gutiérrez, J., Carvalheiro, L.G., Polce, C., van Loon, E.E., Raes, N., Reemer, M. & Biesmeijer, J.C.

(2013a) Fit-for-Purpose: Species Distribution Model Performance Depends on Evaluation Criteria - Dutch Hoverflies as a Case Study. PLoS ONE, 8.

Barré, K., Julliard, R., Le Viol, I., Bas, Y. & Kerbiriou, C. (2017) Impact of wind turbines on bat activity: an omitted long-distance concern.

Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L. & Hedenström, A. (2010) Bat Mortality at Wind Turbines in Northwestern Europe. Acta Chiropterologica, 12, 261–274.

Sansom, A., Pearce-higgins, J.W. & Douglas, D.J.T. (2016) Negative impact of wind energy development on a breeding shorebird assessed with a BACI study design. , 541–555.

Moilanen, A., Wilson, K. & Possingham, H. (2009) Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools.

Remerciements

Cette étude a été financée par l'ADEME et par LISEA Biodiversité. Merci au Groupe Chiroptères Aquitaine ainsi que l'Observatoire Aquitain de la Faune Sauvage pour avoir mis à disposition leurs bases de données concernant les chiroptères. Merci à tous les contributeurs de la base de données Faune-Aquitaine qui, en mettant en commun leurs observations naturalistes, ont permis un bond en avant dans la connaissance de la biodiversité. Merci également à tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à ce projet.

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

Christian ITTY¹, Olivier DURIEZ²

¹ BECOT (Baguage et Etudes pour la Conservation des Oiseaux et de leurs Territoires). christian.itty@wanadoo.fr

² Université de Montpellier – Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Montpellier. nicolas.saulnier@lpo.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

Afin de comprendre l'impact des parcs éoliens sur les comportements des grands rapaces et les risques de collision, l'association BECOT coordonne un suivi télémétrique par balises GPS déployées sur les aigles royaux *Aquila chrysaetos* du sud du massif central. Un mâle adulte territorial est équipé d'une balise GPS depuis février 2014 dans le département de l'Hérault. Le jeune né en 2016 sur ce même territoire a également été équipé, de même que d'autres aigles qui sont amenés à fréquenter cette zone géographique. La période 2014-2015 nous a permis de faire un état initial (seul un parc existait en 2014) avant les premières constructions des nouveaux parcs à l'automne 2015. Depuis 2016, 3 nouveaux parcs éoliens sont désormais construits au cœur du domaine vital concerné.

Le suivi télémétrique permet de documenter une importante modification du cœur du domaine vital des aigles royaux territoriaux, qui présente après constructions des premiers parcs une fragmentation importante comparé à la situation avant constructions. Nos analyses mettent en évidence que plus de 450 ha ont été impactés au centre de leur territoire par la construction de deux parcs éoliens, alors que les suivis pré-implantation fournis par les porteurs de projets annonçaient une absence d'impact. Par ailleurs, nos suivis permettent de documenter le premier cas de mortalité en France d'un aigle royal immature suite à une collision avec une éolienne, pourtant équipée d'un système d'effarouchement automatique. Les conséquences des parcs éoliens sont donc particulièrement lourdes pour l'aigle royal sur ce territoire.

En utilisant les trajectoires de vol enregistrées en 3D à haute résolution, une analyse statistique poussée a permis de quantifier les risques de collision chez les aigles, défini comme étant le temps passé en vol à la hauteur des turbines (entre 60 et 150 m). Le risque de collision est élevé (30-45 %) pour l'aigle royal, quel que soient les conditions aérologiques.

L'intensification des suivis télémétriques à haute résolution sur davantage d'espèces et d'individus devrait permettre à terme de mieux calibrer des modèles de prédiction des risques de collision, afin de privilégier la construction de nouveaux parcs éoliens dans des zones à faibles enjeux pour les grands rapaces en évitant les zones à enjeu fort.

Motivation

Le risque de collision des oiseaux face aux éoliennes a été décrit dans toutes les régions du monde, et les grands rapaces comptent parmi les taxa d'oiseaux les plus vulnérables face à ce péril (Thaxter *et al.*, 2017). L'aigle royal *Aquila chrysaetos* a été l'une des premières espèces sur laquelle un fort impact a pu être mis en évidence, en Californie et en Ecosse (Fielding *et al.*, 2006 ; Thelander and Smallwood, 2007).

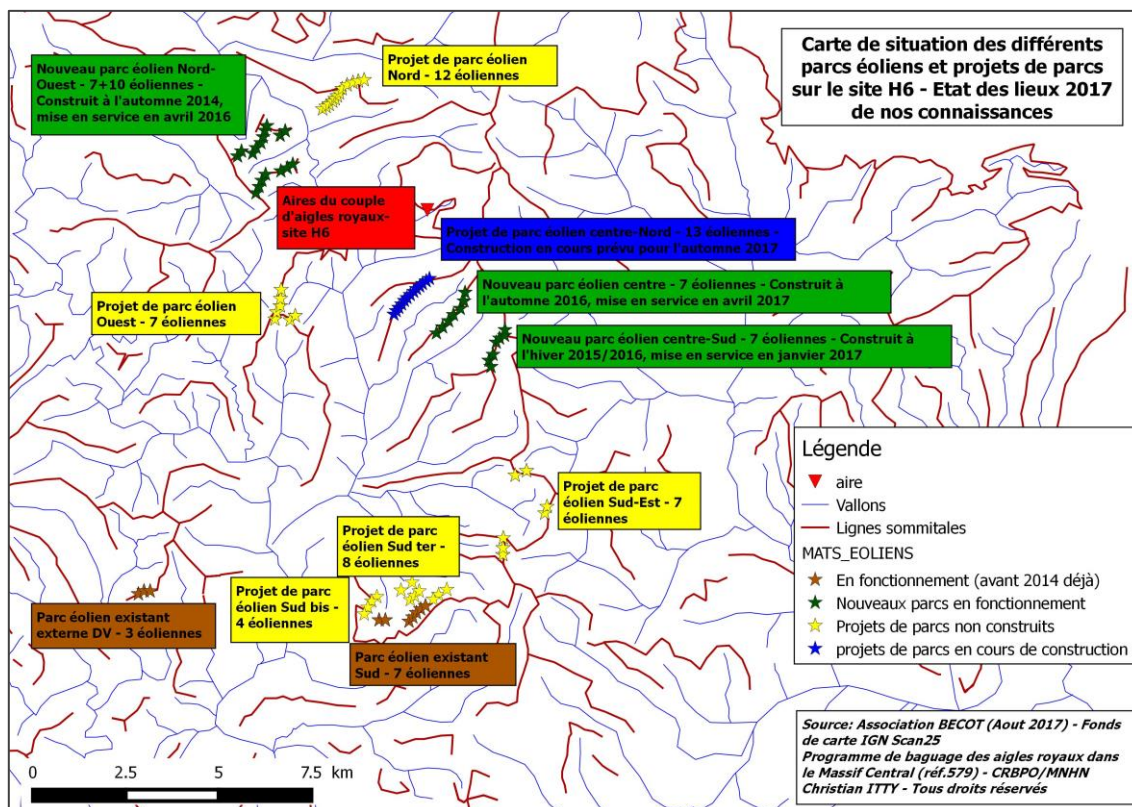
En Occitanie, les départements de l'ex-Languedoc Roussillon et l'Aveyron sont un territoire de développement privilégié pour les énergies éoliennes. Plusieurs centaines de mâts éoliens ont été construits

depuis 2005. Pour la seule population sud massif central d'aigles royaux sur le territoire de l'Occitanie, ce sont au moins 12 domaines vitaux (soit 1/3 de la population) qui sont concernés par des projets éoliens (7 en Hérault-Aude, 5 en Aveyron-Tarn). Dans ces zones occupées par les aigles, plus de 200 éoliennes ont été construites et plus d'une centaine supplémentaire sont en projet (pour les projets suffisamment avancés pour être connus).

Dans le cadre de procédures d'instruction, les services de l'administration sont régulièrement interrogés et sont à la recherche d'éléments tangibles concernant les impacts potentiels des parcs éoliens sur l'avifaune protégée. Les suivis ornithologiques classiquement réalisés, à raison de quelques journées

d'observation, ne sont généralement pas pertinents pour répondre à cette question car ils sont entachés de nombreux biais liés à la faible pression d'observation et la difficulté de détecter ce genre d'espèce rare et territoriale, volant parfois à très haute altitude ou passant beaucoup de temps perché à l'affût. En revanche, le développement de la télémétrie par GPS permet un suivi en continu, sur quelques individus, sans les biais cités précédemment, afin de déterminer exactement l'utilisation que font les aigles de leur territoire.

Nous présentons ici les résultats obtenus sur un territoire pilote du sud du massif central, pour lequel un aigle adulte est suivi par GPS depuis plus de 4 ans, avec une phase d'installation des nouveaux parcs éoliens après 2 ans. Sur ce territoire d'aigles, 8 projets représentant 78 éoliennes ont été déposés depuis 2005. Si quelques retours d'expérience existent en France sur la construction d'éoliennes et la présence d'aigles royaux, à l'heure actuelle aucun couple d'aigle (et de grand rapace de manière générale) n'a eu à faire face à une pression d'aménagement aussi forte.



Nous élargirons ensuite les résultats obtenus sur ce couple d'aigles à des résultats plus généraux obtenus sur l'ensemble des aigles royaux suivis dans cette région du sud du Massif Central. Enfin, nous présenterons quelques résultats visant à mieux quantifier les risques de collision chez les grands rapaces, en utilisant les trajectoires de vol enregistrées en 3D à haute résolution, en fonction des conditions aérologiques.

Méthodologie

Les membres de l'association BECOT ont équipé avec des balises GPS 11 aigles royaux adultes territoriaux, 1 immature et 15 juvéniles depuis février 2014. Un plan d'échantillonnage a été établi sur l'ensemble des couples d'aigles royaux territoriaux du Massif central, prévoyant de poser une seule balise sur un des deux individus de chaque couple ciblé, et d'équiper une dizaine de jeunes. La moitié des oiseaux a été équipée sur des sites soumis à pression éolienne et

l'autre moitié a été équipée sur des sites vierges de tout contexte éolien.

Les balises GPS choisies (14 modèles skua-H et 5 saker-H de la marque Ecotone ; 2 modèles Bird Solar de la marque e-obs ; 7 modèles Ornitrack EE 50 de la marque Ornitela ; 1 modèle Bird Solar 70 de la marque Microwave), pesaient entre 25 et 70 grammes (soit < 3% du poids des oiseaux suivis). La batterie rechargeable est couplée à un panneau solaire miniature. Les balises fonctionnent tous les jours du lever du jour jusqu'à la tombée de la nuit. La règle générale adoptée est une programmation de base pour une définition générale du domaine vital (1 point / 15 minutes), et une adaptation de cette programmation jusqu'à 1 point par seconde pour enregistrer des trajectoires précises, lorsque la batterie le permet. Les balises transmettent leurs données par le réseau GSM ou par ondes UHF.

Sur le site pilote en question, la capture d'un des 2 individus adulte (le mâle) du couple a eu lieu le 20

février 2014. D'un poids de 4,450 kg, le GPS (balise skua-H de marque Ecotone) lui a été posé au niveau du dos à l'aide d'un harnais en téflon cousu. En février 2017 nous avons recapturé le même oiseau afin de lui changer son émetteur GPS (modèles Bird Solar de la marque e-obs modèles Bird Solar de la marque e-obs) pour prolonger le suivi en cours.

Les domaines vitaux ont été calculés selon deux méthodes selon la densité des points : la méthode de kernel classique (Worton, 1989) pour les périodes du jeu de données où les positions ont été enregistrées à des intervalles supérieurs à 1 point/15 minute ; et la méthode de kernel adaptée pour des animaux en déplacement (MKDE), pour des intervalles inférieurs à 1 point/15 minute (Benhamou and Cornélis, 2010). Le domaine vital global, comprenant 95% des observations (UD95%, pour Distribution d'Utilisation), est distingué du cœur du domaine vital, où sont concentrées plus de 50% des observations (UD50%).

Pour être rigoureux dans nos analyses visant à comparer les conséquences de la construction des parcs éoliens, il a fallu tenir compte du statut reproducteur des oiseaux, car le fait qu'ils élèvent un aiglon peut directement influencer l'utilisation de leur domaine vital et leurs déplacements. Sur les 4 années de suivi, ce couple d'aigle s'est reproduit en 2016. Nous avons donc choisi de comparer 2 périodes :

- Du 1^{er} Octobre 2014 à fin juin 2015 : période sans reproduction avant construction des parcs éoliens
- Du 1^{er} Octobre 2016 à fin juin 2017 : période sans reproduction, après construction et mise en service de 3 parcs éoliens.

Pour estimer le risque de collision, il a été posé l'hypothèse que le risque de collision dépendant du temps passé à la hauteur de turbines (soit entre 60 et 180 m), et que ce temps passé dans la zone à risque dépendait du potentiel de courants ascendants. Ce potentiel de courants ascendants a été calculé pour chaque pixel du domaine vital, pour chaque heure de suivi, en utilisant les données de relief (modèle numérique de terrain) et des conditions météorologiques instantanées (température de l'air, pression, hauteur de la couche limite de nuages, vitesse et force du vent). Le détail de la méthode est décrit dans Péron et al (2017).

Résumé des résultats

Les données de télémétrie montrent que le territoire de l'aigle royal concerné présente une orientation nord-sud, avec le site de nidification situé au nord et l'essentiel des territoires de chasse situés au sud de l'aire. La superficie du domaine vital (UD95%) classique est de 13 628 ha (sur la base des données pluriannuelles de février 2014 à juin 2017).

Le cœur du territoire (UD50%) représente moins de 15 % de cette surface et est configuré en « îlots ». L'îlot central comprend deux projets éoliens. Le premier de ces projets prévus a été construit à l'automne 2015, le second pendant l'hiver 2015/2016. Enfin, un troisième projet a été construit à l'automne 2016 dans l'UD95%.

En utilisant la méthode des kernels de déplacement, nous constatons d'importantes modifications de la configuration interne du domaine vital des aigles royaux, qui sont liées à des modifications de leurs déplacements pour exploiter leur territoire entre 2014-15 (avant construction des parcs éoliens) et 2016-17 (après leur construction). Même si ces résultats ne couvrent pas tout à fait un cycle annuel, nous les considérons comme quasi-stabilisés pour la première année post-construction de ces parcs, au regard de la longueur de la période suivie (9 mois), et du nombre de localisations ayant servi de support aux analyses (> 150 000 localisations sur les 2 périodes).

Avant la construction des parcs éoliens, les déplacements préférentiels des oiseaux sont effectués le long des lignes des crêtes. C'est sur ces zones que l'aéologie est la plus favorable aux oiseaux et leur permet de se déplacer avec le coût énergétique le plus rentable.

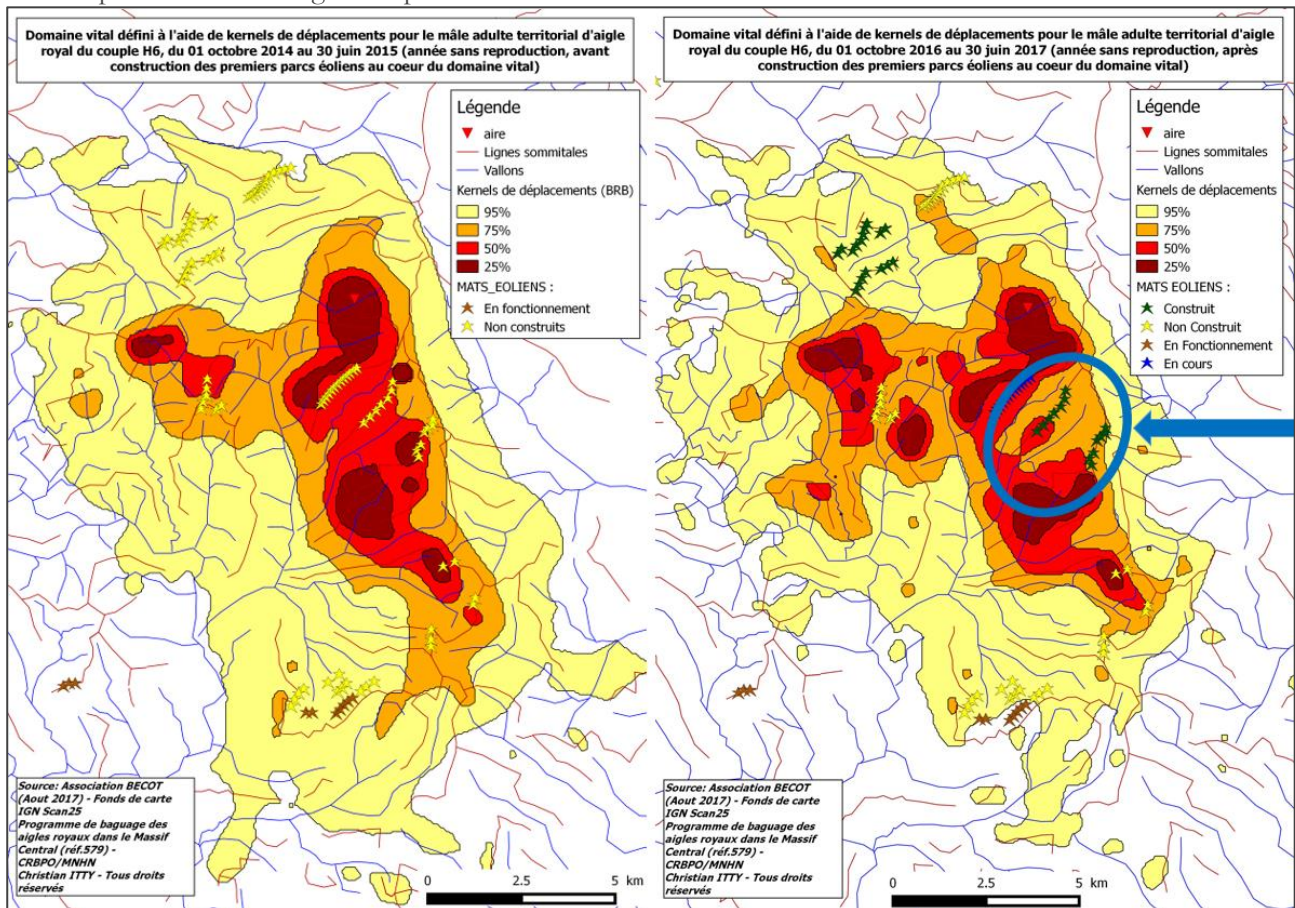
Après la construction des premiers parcs éoliens, la configuration du cœur du domaine vital a changé et est devenue plus fragmentée. Les deux parcs éoliens centraux sont exclus du cœur du domaine vital, traduisant un impact fort de ces parcs sur le fonctionnement des oiseaux au sein de leur domaine vital. La circulation des aigles ne semble plus effectuée prioritairement le long des lignes de crêtes hautes naturellement les plus favorables, désormais occupées par les éoliennes, mais au-dessus des pentes basses des flancs de la vallée.

Pour la première fois la perte dans l'intensité de l'utilisation des habitats autour des deux parcs éoliens centraux a été quantifiée : 39 ha passent de l'UD25% (cœur) à l'UD75% ; 27 ha passent de l'UD25% à l'UD50% (toujours dans le cœur mais utilisation réduite) ; 326 ha passent de l'UD50% à l'UD75% ; et 60 ha passent de l'UD75% à l'UD95%. Sur cette même zone on a cependant une compensation d'une partie de ces déclassements puisque 50 ha passent l'UD50% à l'UD25% (augmentation de l'intensité d'utilisation en zone cœur). Au total, 452 ha ont été impactés. Tous les types de milieux sont impactés, aussi bien les milieux ouverts (constituant les meilleures zones de chasse) que les milieux boisés (où les oiseaux venaient se percher pour surveiller leur territoire, mais également chasser).

Cette moindre utilisation de ces secteurs liée à cette fragmentation et à la nouvelle configuration du cœur de leur domaine vital entraîne un report d'une partie de leur activité sur d'autres zones.

Entre 2014/2015 et 2016/2017, on constate une augmentation des surfaces des UD25%, 50% et 75%. L'UD25% de 2014/2015 couvrant 743 ha, a été augmentée à 800 ha en 2016/2017. Pour les UD50% et 75%, on passe respectivement de 2 262 ha à 2 438 ha, et de 5 430 ha à 5 745 ha. Ceci n'est pas illogique car les aigles choisissent naturellement les meilleures zones pour organiser leur domaine vital. Lorsqu'ils sont contraints à en changer, ils compensent ailleurs sur des zones moins optimales. Pour avoir le même bénéfice, ils sont probablement obligés d'exploiter des surfaces

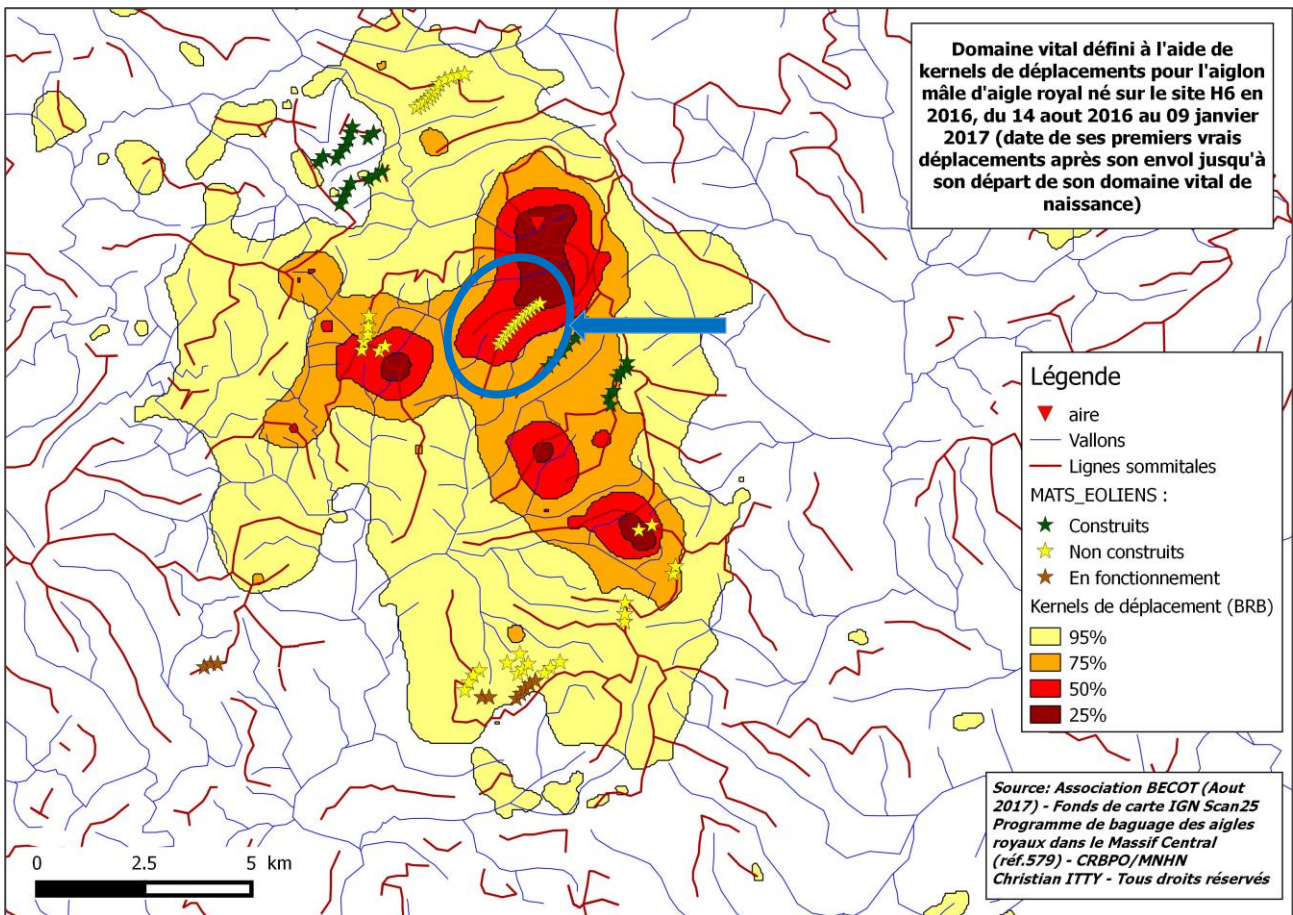
plus grandes. Cette augmentation de taille des zones cœurs de leur domaine vital peut être logiquement reliée à une perte de qualité du territoire. Même si les oiseaux se reportent sur d'autres zones cela ne veut donc pas dire que ce sera sans conséquence à moyen ou long terme. Les oiseaux ont eu le temps de choisir leurs habitats préférés avant l'installation des parcs éoliens. On peut raisonnablement dire que les niveaux des UD initiaux reflétaient de façon synthétique la qualité et la fonctionnalité d'habitat optimum pour eux.



Seule l'UD95% présente une évolution inverse, avec une diminution de la surface. En effet la diminution de l'enveloppe de l'UD95% sur le secteur sud peut s'expliquer du fait d'un « effet barrière » des parcs éoliens, rendant les déplacements des oiseaux moins aisés et moins fréquents vers le sud de leur domaine vital. Par ailleurs, le territoire concerné est bordé par d'autres territoires d'aigles dans toutes les autres directions (Ouest, Nord et Est). Les aigles royaux concernés ne peuvent donc pas étendre leur domaine vital pour compenser dans ces directions sans rentrer en conflit ou impacter des couples voisins. La territorialité de cette espèce entraîne pour l'instant le relatif *statu quo* observé sur ces franges externes, et en conséquence la diminution observée sur la surface de l'UD95%. Si la pression devenait trop forte, il pourrait y avoir une augmentation de compétition intraspécifique, voir interspécifique avec l'aigle de Bonelli, modifiant les contours des domaines vitaux, au

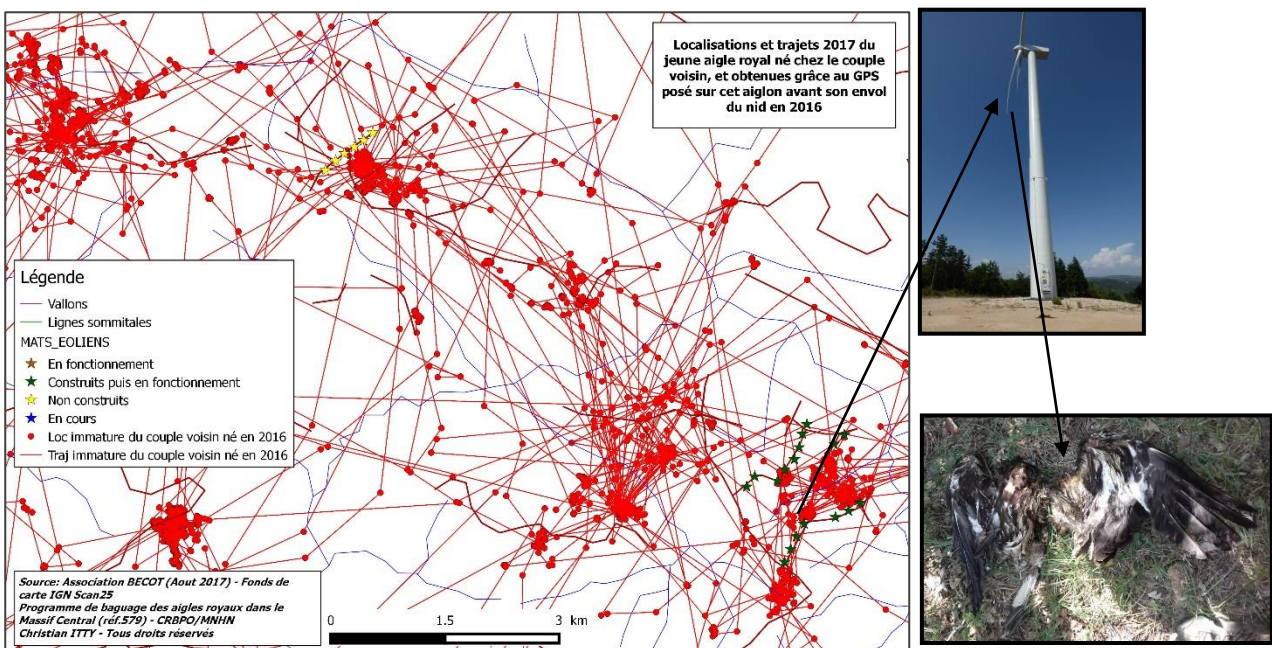
profit des couples dominants. Dans ce cas des couples non concernés par des projets éoliens pourraient être impactés indirectement par ceux-ci, par l'intermédiaire de conflits avec des couples directement impactés.

L'aiglon né en 2016 sur ce site a été équipé d'une balise GPS (balise skua-H de marque Ecotone). L'analyse couvre la période de dépendance de l'aiglon par rapport aux adultes, sur son domaine vital de naissance, soit d'août 2016 à janvier 2017. Les résultats montrent que le jeune calque son domaine vital sur celui de ses parents, car la forme, la surface (UD95%) et l'organisation du domaine vital sont très similaires chez le jeune par rapport à l'adulte. Par contre, l'aiglon évite encore plus nettement que son père les environs des nouveaux parcs éoliens. Ces données confirment la perte importante dans l'utilisation des habitats situés autour des éoliennes, qui semble encore plus forte chez ce jeune que chez les adultes.



Sur le troisième parc éolien, le 28 juillet 2017, l'aiglon issu du couple voisin, né et équipé d'un GPS en 2016, est entré en collision avec une pale d'éolienne entre 15h31 et 15h46. La mortalité a été confirmée par

la découverte du cadavre sous l'éolienne en question, qui était équipée du système d'effarouchement automatique DT-Bird.

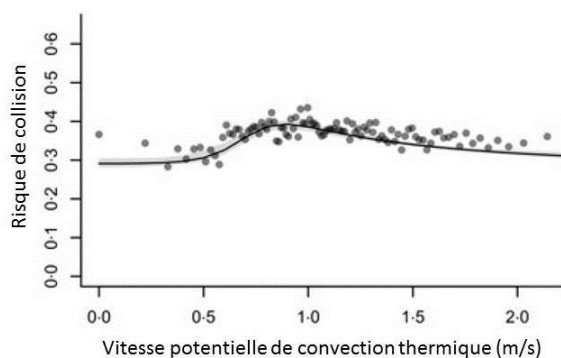


L'analyse précise des trajectoires de 9 aigles royaux adultes a permis de mieux comprendre comment les aigles utilisent l'aérodynamisme. La hauteur de vol dépend du potentiel de convection thermique (c'est-à-dire la présence de courant ascendants générés par le relief ou

d'origine thermique). Pour des vitesses de convection faibles (< 0,8 m/s), les aigles utilisent majoritairement des courants orographiques, avec des hauteurs de vol < 500 m par rapport au sol. Pour des vitesses de convection < 0,5 m/s, tous les vols sont réalisés à des

hauteurs < 200 m par rapport au sol, soit dans la zone à risque de collision. Pour des vitesses de convection fortes (> 0.8 m/s), les aigles utilisent en majorité les courants ascendants thermiques, souvent à des hauteurs comprises entre 500 et 1 500 m par rapport au sol, mais parfois quand même à moins de 200 m. Par ailleurs les aigles ont tendance à voler moins haut quand ils chassent au niveau des sommets des montagnes. En conséquence, le risque de collision est compris entre 30 % et 45 %, quel que soit la vitesse de convection thermique. Le risque de collision est néanmoins maximal pour des vitesses de convection thermique comprises entre 0,5 et 1,5 m/s.

Risque de collision sur des turbines, estimé comme la probabilité de voler à moins de 180 m au dessus du sol, en fonction de la vitesse potentielle de convection thermique pour l'aigle royal. Graphe issu de Péron et al 2017.



Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

Cette étude confirme la vulnérabilité de l'aigle royal face au risque de collision sur des éoliennes, en contradiction avec l'absence d'impact qui était affichée dans les différentes études d'impact pré-implantations basées sur des séances de suivi visuel. Bien qu'il soit difficile de généraliser à partir du suivi d'un seul couple, cet exemple montre que l'installation de trois parcs éoliens sur un territoire d'aigle a un impact significatif sur l'organisation de ses déplacements et sur le choix de ses zones de chasses. Globalement, la construction de parcs éoliens génère une perte d'habitats pour les aigles et perturbe leurs déplacements d'une zone à l'autre. Les chiffres de perte dans l'utilisation des habitats obtenus sont par ailleurs très largement supérieurs à ce qui est en général proposé en mesures compensatoires.

Par ailleurs, ce suivi par télémétrie GPS a permis de documenter le premier cas de destruction en France d'un aigle royal par une éolienne, suite à une collision. Il a suffi d'équiper 9 aiglons de balises GPS pour mettre en évidence ce premier cas en moins d'un an de suivi. Le fait que cet aigle ait été retrouvé mort au pied d'une éolienne équipée du système DT Bird, dont la mise en place sert aussi à justifier l'absence d'impacts futurs,

peut laisser perplexe sur l'efficacité de ces mesures de réduction.

En conclusion, ces travaux permettent de démontrer que la télémétrie à l'aide de balises GPS déployés sur les oiseaux est une méthode bien plus efficace que les suivis visuels classiques. Avec la télémétrie, les oiseaux peuvent être suivis de manière continue tous les jours et par tout type de conditions météorologiques. D'autre part, les biais liés à l'observateur et aux problèmes de détection des individus sont éliminés, ainsi que les problèmes dans la fiabilité et la précision des localisations par rapport à un observateur qui reporte ses observations sur une carte. La seule limite est la fiabilité du matériel (durée de vie de la batterie), mais les derniers modèles de GPS répondent en grande partie à ces limites. Ce type de suivi télémétrique permet un suivi continu sur plusieurs années et de travailler sur les impacts cumulés. Sur des sites et projets problématiques, c'est la méthode la plus adaptée à une évaluation objective et fine des impacts potentiels de projets éoliens.

L'utilisation de la télémétrie 3D à haute résolution et des analyses globales sur plusieurs individus voir plusieurs espèces permettent de produire des estimations du risque de collision, à l'aide de nouvelles méthodes statistiques prometteuses. Les données recueillies dans le cadre de nos études montrent l'importance de considérer les conditions aérologiques pour évaluer ce risque (Katzner *et al.*, 2012 ; Péron *et al.*, 2017). Les résultats obtenus indiquent qu'il y a des valeurs seuils de convection thermique au-delà desquelles en fonction du contexte il pourrait être pertinent d'arrêter les éoliennes. Une approche multi-individus et multi-espèces permet l'établissement de cartes d'enjeux avifaune qui ont pour objectif de proposer l'installation d'éoliennes dans des secteurs à faible enjeu (Duriez *et al.*, 2016 ; Miller *et al.*, 2014 ; Reid *et al.*, 2015 ; Vasilakis *et al.*, 2016).

Ces travaux démontrent également la nécessité de comprendre les mécanismes de sélection d'habitat chez les grands rapaces pour mieux appréhender les notions d'évitement / attraction des zones à éoliennes. L'évolution de la technologie avec la disponibilité de balises GPS haute résolution (jusqu'à 1 point/seconde) vont désormais en plus permettre d'avoir des analyses fines des comportements de vol dans le périmètre des éoliennes (pour préciser par exemple si l'évitement est précoce ou tardif par rapport aux machines).

La poursuite des suivis à moyen voir à long terme devrait permettre d'améliorer les connaissances sur l'évolution du comportement des oiseaux confrontés à de nouveaux parcs éoliens (s'y habitent-ils ou au contraire l'évitement reste-t-il la règle ?). Les impacts très forts documentés dans cette étude sont-ils amenés à se pérenniser dans le temps ? A plus long terme une meilleure étude et prise en compte de l'écologie

sensorielle des oiseaux afin de connaître leurs perceptions visuelles pourront également apporter des éléments précieux sur cette problématique (Potier, 2016).

Bibliographie

- Benhamou S, Cornélis D, 2010. Incorporating Movement Behavior and Barriers to Improve Kernel Home Range Space Use Estimates. *J Wildl Manag* 74:1353-1360.
- Duriez O, Jacob L, Néouze R, Ziletti N, 2016. Fréquentation des Grands Causses (Aveyron, Lozère, Gard et Hérault) par les vautours et évaluation des risques de collision avec les parcs éoliens. Millau: Parc Naturel Régional des Grands Causses & LPO; 41.
- Fielding AH, Whitfield DP, McLeod DRA, 2006. Spatial association as an indicator of the potential for future interactions between wind energy developments and golden eagles *Aquila chrysaetos* in Scotland. *Biol Conserv* 131:359-369.
- Katzner TE, Brandes D, Miller T, Lanzone M, Maisonneuve C, Tremblay JA, Mulvihill R, Merovich GT, 2012. Topography drives migratory flight altitude of golden eagles: implications for on-shore wind energy development. *J Appl Ecol*:n/a-n/a.
- Miller TA, Brooks RP, Lanzone M, Brandes D, Cooper J, O'Malley K, Maisonneuve C, Tremblay J, Duerr A, Katzner T, 2014. Assessing Risk to Birds from Industrial Wind Energy Development via Paired Resource Selection Models. *Conserv Biol* 28:745-755.
- Péron G, Fleming CH, Calabrese JM, Duriez O, Fluhr J, Itty C, Lambertucci SA, Safi K, Shepard EL, 2017. The energy landscape predicts flight height and wind turbine collision hazard in three species of large soaring raptor. *J Appl Ecol* 54:1895-1906.
- Potier S, 2016. Ecologie sensorielle des rapaces: vision et olfaction. Montpellier: Université de Montpellier.
- Reid T, Krüger S, Whitfield DP, Amar A, 2015. Using spatial analyses of bearded vulture movements in southern Africa to inform wind turbine placement. *J Appl Ecol* 52:881-892.
- Thaxter CB, Buchanan GM, Carr J, Butchart SHM, Newbold T, Green RE, Tobias JA, Foden WB, O'Brien S, Pearce-Higgins JW, 2017. Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proc R Soc Lond B* 284.
- Thelander CG, Smallwood KS, 2007. The Altamont Pass wind resource area's effect on birds: a case history. In: *Birds and wind farms; Risk assessment and mitigation* (De Lucas M, Janss GFE, Ferrer M, eds). Madrid: Quercus; 25-46.
- Vasilakis DP, Whitfield DP, Schindler S, Poirazidis KS, Kati V, 2016. Reconciling endangered species conservation with wind farm development: Cinereous vultures (*Aegypius monachus*) in south-eastern Europe. *Biol Conserv* 196:10-17.
- Worton BJ, 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology* 70:164-168.

Remerciements

Nous remercions tous les observateurs du groupe rapaces du sud du Massif Central ; Victor Garcia Matarranz (Ministère de l'environnement espagnol) et Alain Ravayrol (La Salsepareille) pour leur aide dans les captures d'aigles ; Guillaume Péron (LBBE – CNRS) et Simon Benhamou (CEFE) pour les analyses de données. Le matériel de télémétrie a été financé et a pu être déployé grâce au soutien des membres de l'association BECOT, du Ministère en charge de l'environnement et DREAL Occitanie, l'Union européenne au travers de la politique Natura 2000, le Grand Parc du Puy du Fou, le Parc national des Cévennes, l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, le Conseil départemental du Gard, la Fondation PETZL, le Centre Ornithologique du Gard et la Communauté de communes du Grand Pic Saint Loup.

Ce programme n'aurait pas pu être mis en œuvre sans l'accord et l'autorisation du CRBPO et du Museum d'Histoire Naturelle de Paris (programme n°579).

Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette

Olivier DURIEZ¹, Philippe PILARD², Nicolas SAULNIER³, Mathias BOUZIN³, Patrick BOUDAREL⁴, Aurélien BESNARD¹

¹ Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR5175 CNRS-Université de Montpellier- EPHE, PSL Research University, CNRS, SupAgro, IRD, INRA, F-34293 Montpellier, France ; aurelien.besnard@cefe.cnrs.fr, olivier.duriez@cefe.cnrs.fr

² LPO – Mission Rapaces, 26 avenue Alain Guigue, 13104 Mas Thibert, France ; philippe.pilard@lpo.fr

³ LPO Hérault, 15 Rue du Faucon crécerellette - Les Cigales - Route de Loupian, 34560 Villeveyrac, France ; nicolas.saulnier@lpo.fr , mathias.bouzin@lpo.fr

⁴ DREAL Occitanie, 520 allée Henri II de Montmorency - CS 69007 - 34064 Montpellier Cedex 02, France ; patrick.boudarel@developpement-durable.gouv.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

L'impact des surmortalités par collision avec des éoliennes a souvent été évalué au niveau des individus, mais rarement au niveau des populations. Le faucon crécerellette *Falco naumanni* est un petit rapace menacé et son mode de chasse le rend susceptible aux collisions avec les éoliennes. Nous avons évalué l'impact démographique d'un parc éolien de 31 turbines construit à moins de 10 km de la deuxième plus importante colonie française, dans l'Hérault. A partir de données de suivi de reproduction, de capture-marquage-recapture, de suivi de mortalité sous les éoliennes, nous avons quantifié les paramètres vitaux de fécondité et survie, afin de paramétrer un modèle matriciel pour étudier la viabilité de cette population. Les analyses montrent que le succès reproducteur est élevé dans cette population, et varie de manière synchrone avec la probabilité de survie, en fonction des conditions climatiques (pluviosité) pendant l'hivernage en Afrique. 31 cadavres ont été trouvés entre 2010 et 2016 sous les éoliennes. Sur la période 2013-2016, les suivis de mortalité et tests de détection et persistance indiquent que la mortalité réelle devait approcher 80 cadavres, soit environ 4 % de la population qui serait touchée par les collisions chaque année. Le modèle matriciel montre que la croissance de population observée n'est possible que grâce au recrutement d'environ 10 individus immigrants par an. Sans la surmortalité causée par les éoliennes, la population devrait compter 18 % de plus de couples nicheurs en 2016. Des simulations sur 20 ans montrent que si les conditions climatiques et le nombre d'immigrants actuels se maintenaient, la population commencerait à décroître au-delà de 7 % de surmortalité par an. Si l'immigration se tarit et/ou si la fréquence des sécheresses au Sahel augmente (induisant une baisse des taux de survie et fécondité), la population déclinera au-delà de 2-4 % de surmortalité par an. Il est urgent de suivre et d'agir pour réduire drastiquement la surmortalité des parcs éoliens qui pourrait mettre en péril à moyen terme la seconde population française de faucon crécerellette.

Introduction

Les activités humaines impactant les populations d'oiseaux sont multiples et l'impact des collisions des oiseaux sur les infrastructures (bâtiments, lignes électriques) ou les véhicules (mortalité routière) a été décrit de longue date (Drewitt & Langston 2008, Loss *et al.* 2015). Depuis les années 1980, il a été mis en évidence que les parcs éoliens destinés à produire de l'électricité à partir d'une énergie renouvelable, le vent, peuvent être une cause majeure de mortalité (Drewitt & Langston 2006, De Lucas *et al.* 2007). L'une des premières études à long terme mené sur ce sujet a concerné

l'impact du parc éolien de grande ampleur d'Altamont Pass en Californie sur les populations d'oiseaux, et en particulier sur l'aigle royal *Aquila chrysaetos* (Thelander & Smallwood 2007). Les impacts décelés des éoliennes concernent en premier lieu les collisions avec les pales. Mais les parcs éoliens peuvent aussi agir comme répulsif et générer une perte d'habitat pour les oiseaux (Drewitt & Langston 2006).

De nombreuses études se sont intéressées à la manière dont les éoliennes pouvaient tuer les animaux volants par collision directe pour les oiseaux (Barrios & Rodriguez 2007), ou par barotraumatisme pour les chauves-souris (Baerwald

et al. 2008)) ; à la méthodologie pour quantifier les mortalités et retrouver les cadavres (Wang *et al.* 2015), aux mécanismes écologiques par lesquels les oiseaux pouvaient être attirés par les éoliennes (car elles sont situées à proximité de ressources attractives pour les oiseaux (végétation environnante, présence de proies, ou conditions aérologiques particulières (Marques *et al.* 2014)), aux facteurs sensoriels qui les rendent peu détectables par les oiseaux (Martin 2011). Cependant, très peu d'études se sont intéressées aux impacts démographiques réels sur les populations des espèces concernées, alors que cet élément est déterminant pour que l'enjeu soit pris au sérieux par les décideurs politiques et le grand public. Il existe pourtant un large corpus théorique en dynamique des populations concernant les populations exploitées par l'homme (par exemple dans le cadre de la gestion des pêcheries, ou des espèces chassées) permettant d'étudier ces questions de manière quantitatives (Williams *et al.* 2002). Dans ce contexte, les mortalités dues aux collisions avec les éoliennes peuvent être vues comme un prélèvement par les humains dans les populations sauvages. A notre connaissance, seules quelques études ont utilisé des modèles de viabilité de population (PVA) pour étudier l'impact à long-terme des surmortalités par les éoliennes sur des populations de chauve-souris (Frick *et al.* 2017) ou des oiseaux (Carrete *et al.* 2009, Schaub 2012, Cook & Robinson 2017). Cependant les études sur les oiseaux ont toutes concerné des espèces longévives, à cycle de vie relativement lent (grands rapaces ou oiseaux marins). L'impact des mortalités par éoliennes sur des espèces à cycle de vie plus court n'a que très peu été étudié.

Dans une étude globale visant à estimer la probabilité de collision pour toutes les espèces d'oiseaux dans le monde entier, il a été calculé que les rapaces diurnes (accipitridae et falconidae) étaient le taxon le plus vulnérable aux collisions avec les éoliennes (Thaxter *et al.* 2017). Ces auteurs dressaient une liste des espèces les plus vulnérables au risque de collision avec les éoliennes, et le faucon crécerellette *Falco naumanni* faisait partie du percentile 90 % les plus élevés, avec une valeur prédite de 0,149 collision par turbine et par an (Thaxter *et al.* 2017). En effet, le faucon crécerellette était déjà listé dans plusieurs études sur la mortalité due aux éoliennes en Espagne (Barrios & Rodriguez 2007, Lekuona & Ursua 2007, De Lucas *et al.* 2008). Le faucon crécerellette est une espèce menacée en France, classée comme « vulnérable » à l'échelle nationale (Moncorps & Siblet 2016), faisant l'objet d'un plan national d'actions, dont les objectifs principaux consistent à favoriser la croissance des populations et l'installation des nouvelles

populations (Pilard 2011). La seconde population française s'est installée spontanément dans un village de l'Hérault au début des années 2000. Depuis, son expansion numérique et géographique se poursuit et se concentre sur une dizaine de villages dans un rayon de 10 km autour du plateau d'Aumelas, devenu une zone de chasse importante pour l'espèce. L'installation puis l'expansion d'un parc éolien depuis 2006 sur ce plateau pourraient impacter négativement cette population en cours de reconstitution. D'ailleurs, dans le cadre de suivis de la mortalité faunistique de ce parc engagés depuis 2010 pour le compte de l'exploitant, une trentaine de cadavres de faucons crécerellettes a été retrouvée au pied des éoliennes. Cependant aucune étude n'a étudié l'impact à long terme de surmortalité due aux collisions sur éoliennes chez ce genre d'espèce à cycle démographique relativement rapide.

Dans cet article, notre objectif est d'étudier l'impact démographique à long terme qu'aurait une surmortalité due aux collisions par éoliennes pour la croissance de cette population de faucons crécerellettes. En particulier, nous voulons identifier les classes d'âge les plus sensibles vers lesquelles il serait nécessaire de diriger les actions de conservation, le cas échéant. Une première étape consiste à estimer les paramètres vitaux (succès reproducteur et probabilité de survie des adultes et jeunes) grâce au suivi précis de la reproduction de la population locale et au marquage individuel dans une population proche (par capture-marquage-recapture). Une deuxième étape consiste à estimer les taux de mortalité induits par les éoliennes via des recherches de cadavres ciblées au pied des éoliennes. Enfin, une troisième étape consiste à réaliser des simulations démographiques, basées sur des matrices de Leslie, utilisant les paramètres vitaux précédemment calculés, pour obtenir des projections sur 20 ans et calculer un risque d'extinction.

Méthodes

Site d'étude

D'une superficie de plus de 15 000 ha, le plateau ou cause d'Aumelas est le plus grand territoire de garrigue du département Hérault, riche d'une diversité remarquable en espèces et habitats emblématiques des garrigues méridionales. Ce plateau karstique présente une physionomie spécifique caractérisée par la prédominance des milieux ouverts, comme des pelouses méditerranéennes à *Brachypode* rameux (*Brachypodium retusum*) ou encore des faciès variés de garrigue à Chêne kermes (*Quercus coccifera*). On y note également la présence de milieux boisés à Chênes verts (*Quercus ilex*) et Chênes blancs (*Quercus alba*)

ainsi que de nombreuses mares méditerranéennes temporaires réparties sur l'ensemble du site. Le Causse d'Aumelas est couvert par 2 sites Natura 2000 qui se superposent partiellement (le site d'intérêt communautaire "Montagne de la Moure et causse d'Aumelas", désignée en 2006 (FR9101393) ; et la zone de protection spéciale "Garrigues de la Moure et d'Aumelas" désignée en 2016 (FR9112037).

Le parc éolien du Causse d'Aumelas a été initialement constitué par 11 éoliennes construites en juillet 2006. Il a été étendu à 24 éoliennes construites en mars 2009, et complété à 31 éoliennes en juillet 2014.

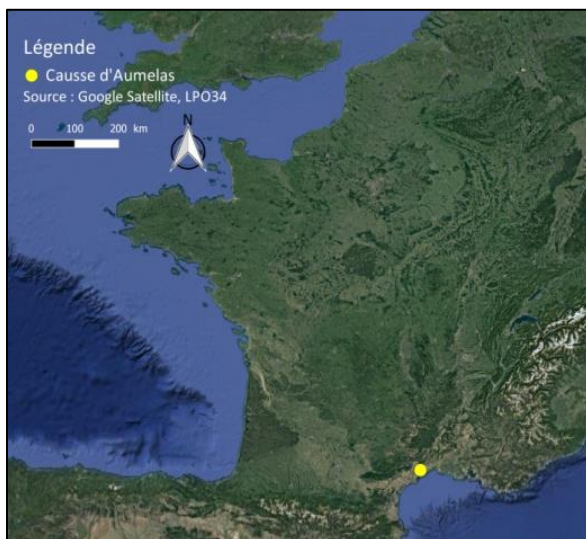


Fig. 1 : Localisation du Causse d'Aumelas (coordonnées WGS84 ; Longitude : 3,64410, Latitude : 43,57473)

Modèle d'étude et suivi de population

Le Faucon crécerellette est un petit rapace migrateur colonial pesant entre 140 et 160 g (Cramp & Simmons 1982). Son régime alimentaire comporte une grande majorité de macro-invertébrés (orthoptères, courtilières), mais aussi des micromammifères, lézards et oiseaux. L'aire de répartition s'étend à travers la zone méditerranéenne et se prolonge vers l'est, au Proche et Moyen-Orient (Cramp & Simmons 1982). La population française est située en limite nord de l'aire de répartition de l'espèce. L'espèce nichait autrefois dans la plupart des départements méridionaux (Aude, Gard, Bouches-du-Rhône, Vaucluse, Var). Actuellement, l'espèce ne niche plus que dans la plaine de la Crau (Bouches-du-Rhône), dans l'Hérault et dans l'Aude. En Crau, les colonies sont établies dans des tas de pierres ou sur des bâtiments aménagés en sites de nidification. Dans l'Hérault et l'Aude, la population nidifie sur les bâtis principalement au sein des villages.

Le faucon crécerellette est une espèce dont le cycle de vie est relativement court, pouvant se reproduire dès l'âge de deux ans. Les couples s'installent sur les sites de nidification à partir du mois de mars. Les pontes (de 1 à 6 œufs) sont déposées au mois de mai. Les jeunes s'envolent au mois de juillet et après la reproduction, à partir du mois de septembre, l'ensemble des individus migre vers l'Afrique sub-sahélienne.

La population concernée par le parc éolien d'Aumelas correspond à la population nichant dans une dizaine de villages de l'Hérault, à l'ouest et au sud du Causse d'Aumelas. Le suivi de cette population, effectué par la LPO34, consiste en un dénombrement hebdomadaire des couples nicheurs à partir de leur retour d'hivernage en mars, et un dénombrement des jeunes au moment de leur envol en juillet. Lors des dénombrements dans les villages, les observateurs relèvent l'identité des individus bagués parfois originaires d'autres populations françaises comme l'Aude ou la Crau ; ou espagnoles (voir plus loin). Ces lectures de bagues prouvent que la population de l'Hérault accueille des immigrants issus des populations voisines.

Analyse de survie

Etant donné le faible nombre d'oiseaux bagués dans la population de l'Hérault, les variations annuelles des taux de survie ont été étudiées dans la population proche de la Crau (distante d'environ 100 km). En effet, les variations annuelles dans les probabilités de survie de cette population sont essentiellement liées aux conditions climatiques rencontrées par les faucons sur leurs sites d'hivernage en Afrique de l'Ouest (notamment la pluviométrie annuelle en zone sahélienne, qui détermine les densités en Orthoptères), et relativement peu sur leurs sites de reproduction (Mihoub *et al.* 2010). On peut donc supposer que les grands patrons de variations de survie de la population de l'Hérault doivent être corrélés à ceux de la population de la Crau (les effectifs de ces deux populations varient d'ailleurs de manière similaire). Dans la Crau, grâce à la grande accessibilité des nids, depuis 1994, environ 250 poussins sont marqués chaque année avec des bagues métalliques et couleur codées. Des sessions d'observations hebdomadaires sur toutes les colonies pendant la période de reproduction (d'avril à juillet) permettent de contrôler en moyenne 300 individus marqués chaque année (Pilard 2017).

L'analyse de survie a porté sur l'intégralité du jeu de données de Capture-Marquage-Recapture de la Crau (3 764 oiseaux marqués, 1 890 oiseaux contrôlés au total) entre 1994-2016 (soit 23 occasions). Les histoires de capture ont été codées en un seul état de manière annuelle, avec la première

occasion correspondant au marquage de l'individu quittant le nid. Mihoub *et al.* (2010) n'ayant pas détecté de forte différence entre les probabilités de survie des mâles et des femelles, nous n'avons pas tenu compte de différences liées au sexe dans nos modèles.

Afin de décrire de manière adéquate les variations annuelles de survie, et en particulier les éventuelles diminutions liées à la sénescence, nous avons d'abord considéré un modèle complet avec 22 classes d'âge. Par la suite, une fois la meilleure structure d'âge déterminée, nous avons simplifié les modèles en regroupant en 3 classes d'âge. Les analyses de survie ont été réalisées avec le logiciel E-SURGE (Choquet *et al.* 2008). La sélection de modèles a été effectuée sur la base du critère d'information d'Akaike (AIC), où un modèle est considéré comme significativement meilleur qu'un autre si la différence de valeur d'AIC est supérieure à 2. Nous avons d'abord testé si la probabilité de recapture p variait en fonction de la classe d'âge (en ne considérant que 3 classes d'âge : juvénile (1^{ère} année), subadulte (2^{ème} année) et adulte (> 2 ans) et en fonction du temps. Ensuite nous avons étudié si les probabilités de survie variaient en fonction du temps pour chacune des classes d'âge.

Les tests d'ajustements classiquement effectués pour des analyses en Capture-Recapture (modèle de Cormack-Jolly-Seber) ont été réalisés avec le logiciel U-CARE (Choquet *et al.* 2009). En cas d'hétérogénéité dans le jeu de données révélée par ces tests d'ajustement, les modifications suivantes ont été apportées. En cas de transience (test 3.SR significatif, correspondant à un excès d'individus marqués et non revus lors des occasions ultérieures), un modèle séparant la première classe d'âge des autres classes d'âge a été adopté. En cas de « trap-dépendance » (test 2.CT significatif), un coefficient de sur-dispersion c a été appliqué, calculé comme étant le rapport entre la somme des valeurs de tests de χ^2 pour chaque composante du test d'ajustement et la somme des degrés de liberté de chaque composante du test.

Analyse de fécondité

Les paramètres de reproduction de la population héraultaise sont estimés par observation à distance, étant donné la faible accessibilité des nids sous les toitures des habitants. Cette estimation est réalisée par au moins un suivi hebdomadaire (deux en périodes d'envol) de chaque colonie, au travers d'une prospection itinérante et par point fixe. L'objectif est alors de localiser et quantifier chaque site de nidification, puis d'y estimer le nombre de jeunes à l'envol. Le rapport entre le nombre de jeunes et le nombre de couples donne la productivité annuelle.

Analyse de mortalité par collision avec les éoliennes

La méthode appliquée pour le suivi de mortalité a évolué entre 2010 et 2011 (phase de test de terrain), pour se standardiser en 2012. Elle était initialement basée sur un passage par semaine sous les 24 machines pendant 48 semaines (entre janvier et novembre) en 2010, puis réduit à 36-38 semaines en 2011 (entre mars et octobre). En 2012, le protocole de suivi a été renforcé selon les modalités suivantes : 1 prospecteur, 2 passages par aérogénérateur et par semaine, avec 2 jours minimum entre 2 prospections. Le rayon de recherche autour des éoliennes est théoriquement de 50 mètres (soit une aire de 0,785 ha). Néanmoins, les zones à forte densité de végétation (tel que *Quercus coccifera*) réduisent la surface prospectée en réduisant l'efficacité du prospecteur. Au final, en excluant de la surface théorique les zones à trop forte densité de végétation, une surface moyenne de 0,65 ha a été prospectée par éolienne.

Afin de quantifier les biais pouvant survenir quant à la détectabilité des cadavres (efficacité du prospecteur) et la persistance des cadavres (disparition des cadavres par prédation), des protocoles spécifiques ont été mis en œuvre en 2013. L'efficacité des prospecteurs est testée par la pose de leurres (cailles et lapereaux congelés) par une personne indépendante au suivi, de façon aléatoire sur la surface de prospection sous les éoliennes. Les cailles sont censées être représentatives de l'avifaune de taille moyenne et les lapereaux (de quelques centimètres) la petite avifaune et les chiroptères. Le prospecteur est alors amené immédiatement après à retrouver ces cadavres.

Le total de cadavres artificiellement déposés étant connu, il est alors possible de quantifier l'efficacité du prospecteur par la proportion de cadavres découverts par rapport au nombre total. Les tests d'efficacité sont réalisés à au moins trois reprises sur des périodes correspondant aux différentes saisons couvertes par le suivi. Le temps de disparition des cadavres (persistance) a été testé après chaque test de détectabilité et avec le même matériel. La position de chaque cadavre artificiel étant connue, un contrôle de leur disparition s'effectue après leur pose selon la périodicité suivante : jour 0 (jour de pose), puis jour 1, 2, 3, 6, 8, 10... Une fois ces sources de biais estimées, il devient possible de corriger la mortalité constatée sur le terrain suivant trois formules, détaillées dans l'annexe A, pour les années 2013 à 2016 où les tests de détection/persistance ont été réalisés.

Simulations de viabilité de population

Construction des modèles matriciels

Le cycle de vie est basé sur six classes d'âge, avec recensement avant reproduction. Les individus de 1 à 5 ans sont considérés comme ayant les mêmes paramètres de survie (voir résultats des analyses de survie). La fréquence de reproduction diffère pour les individus de 1 an et ceux de plus de 1 an alors que la fécondité (nombre de jeunes produits par un couple se reproduisant) est considérée comme indépendante de l'âge des individus (voir résultats de fécondité en Crau et Hérault).

De même que la population de Crau est alimentée par des immigrants (Mihoub 2009), celle de l'Hérault a subi une croissance qui paraît peu compatible avec une simple croissance interne. Nous avons de ce fait développé des modèles matriciels incluant de l'immigration. Puisque les résultats de Mihoub (2009) tendaient à montrer que l'hypothèse d'un nombre d'immigrants constant (donc indépendant du nombre d'individus déjà présents dans la population) était plus crédible que celle d'un taux d'immigrants constant (proportionnel au nombre d'individus déjà présents dans la population), nous avons fait le choix de coder cette première hypothèse. Pour ce faire, nous avons utilisé un septième stade dans la matrice de Leslie, nommé « immigrant », qui permet d'introduire dans la population un nombre fixe d'individus tous les ans. Les immigrants sont considérés comme étant des subadultes (dans leur 2^{ème} année) et arrivant juste avant la reproduction, ils contribuent donc immédiatement à la reproduction de l'année considérée avec les mêmes paramètres de reproduction que les individus subadultes locaux et leur probabilité de survie est identique à celle des individus locaux jusqu'à la reproduction suivante.

Enfin, nous avons intégré dans le modèle un taux de mortalité additionnelle due aux collisions avec les éoliennes, en ajoutant un paramètre de

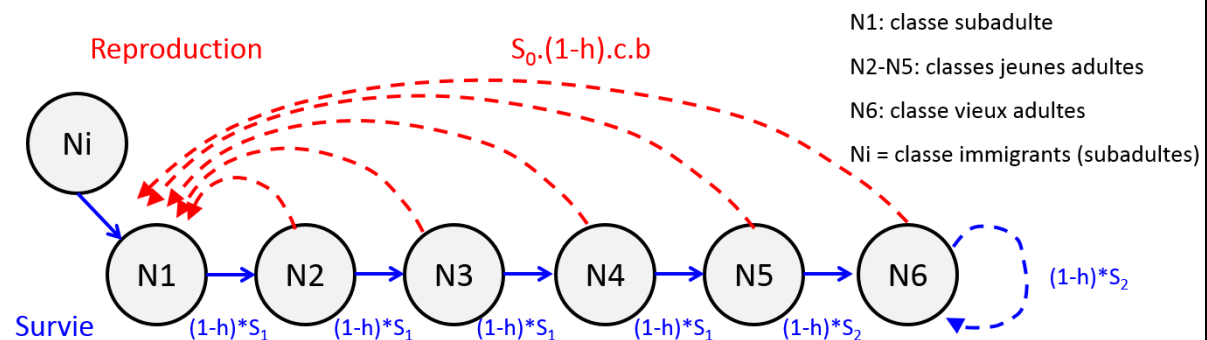
« prélèvement » (un taux de prélèvement annuel b). Comme les mortalités ont essentiellement lieu en cours de reproduction, nous avons appliqué ce taux de prélèvement à la fois sur la survie et sur la reproduction, considérant que la ponte ou la nichée d'un individu qui meurt lors d'une collision ne peut arriver à terme et est donc perdue en termes de fécondité.

Le cycle de vie final et la matrice de Leslie résultante, basée sur 7 stades, sont détaillés en figure 2.

Simulations démographiques

Dans une première approche rétrospective, nous avons exploré le potentiel de notre modèle à décrire la croissance de la population de l'Hérault. Cette étape avait pour but de bien calibrer le modèle pour s'assurer ensuite de la qualité des prédictions de modélisation de l'impact des collisions. Nous avons utilisé autant de matrices que d'années de suivis sur cette population (période 2006-2016). Les matrices annuelles étaient complétées avec les valeurs de chaque année observées sur la population de Crau pour les survies et pour la population de l'Hérault pour les paramètres de reproduction. Sachant que le nombre d'éoliennes sur le Causse d'Aumelas a progressivement augmenté au cours des années (voir plus haut), nous avons augmenté progressivement le taux de collision, qui est considéré comme maximum les trois dernières années (2014-2016), au 2/3 de ce maximum les 4 années précédentes (2010-2013) et au tiers de ce maximum les 3 premières années (2007-2009) (tableau 2). L'adéquation entre les prédictions du modèle et les observations de terrain a été évaluée visuellement en comparant les effectifs simulés aux effectifs observés dans la population de l'Hérault, en tenant compte des mortalités par éoliennes et de l'immigration. Nous avons également simulé la trajectoire de la population sans surmortalité par éoliennes pour calculer ce qu'aurait pu être l'effectif de cette population sans surmortalité éolienne.

Figure 2 : cycle de vie du faucon crécerellette et la matrice de Leslie résultante, basée sur 7 stades, avec b le taux de mortalité induit par les collisions avec les éoliennes, N_i le nombre d'immigrants annuel, s_0 la probabilité de survie sur la première année de vie des individus, s_1 la probabilité de survie après 1 an à 6 ans, s_2 la probabilité de survie après 6 ans, c_1 la proportion de reproducteurs à 1 an, c_2 la proportion de reproducteurs après 1 an et b la fécondité exprimée en nombre de femelles produites par femelle. Les valeurs de chaque paramètre, issu des analyses, pour les bonnes et mauvaises années, sont détaillées dans le tableau en bas de la figure.



		Moyenne \pm erreur-type	
		Bonne année	Mauvaise année
Survie			
S_0	juvénile	0.569 \pm 0.061	0.431 \pm 0.045
S_1	subadulte et adulte (1-6 ans)	0.764 \pm 0.038	0.647 \pm 0.042
S_2	vieil adulte >6 ans	0.657 \pm 0.047	0.529 \pm 0.053
Fréquence de reproduction			
C_1	subadulte	0.2	0.15
C_2	adulte	0.9	0.9
Fécondité : productivité de femelle par femelle			
b	Subadulte/adulte	1.22	1.17
Nombre d'immigrants annuels			
N_i	subadulte	10	10
Taux de mortalité par éoliennes			
h	1996-2011	0.013	0.013
	2009-2012	0.026	0.026
	2013-2016	0.040	0.040

Pour la deuxième étape d'analyse prospective, notre objectif était de déterminer comment le taux de croissance de population allait être affecté en faisant varier le taux de collisions, le nombre d'immigrants, et en fonction de modifications climatiques probables. Puisque la reproduction et la survie des individus sont fortement dépendantes des conditions climatiques dans la zone d'hivernage (Mihoub *et al.* 2010), nous avons développé des modèles incluant de la stochasticité environnementale, en considérant deux types d'années : de bonnes années pour lesquelles les paramètres démographiques sont élevés et de mauvaises années pour lesquelles les paramètres démographiques sont faibles. Nous avons utilisé les résultats des valeurs de survie issus de la population

de Crau en distinguant les années « bonnes » et « mauvaises », à partir d'un seuil établi sur la médiane des valeurs moyennes des survies annuelles sur la série 1994-2016. Pour les fécondités, les estimations sont issues de la population de l'Hérault lors des mêmes années.

Nous avons ensuite réalisé 1 000 projections démographiques sur 20 ans, en partant des effectifs de 2016 (260 femelles, voir résultats), avec une fréquence de 50 % des mauvaises et bonnes années (équivalente à la fréquence observée entre 2006 et 2016). Comme les prévisions du GIEC prévoient une augmentation des sécheresses au Sahel dans les 20 prochaines années (Dai 2013), nous avons simulé ce changement climatique en augmentant la

fréquence de mauvaises années (25 % de bonnes années et 75 % de mauvaises années). Le taux de croissance de la population est calculé sur l'ensemble de la population (les 7 stades) en calculant la moyenne des taux de croissance inter-annuels pour chaque simulation. Nous avons étudié les modifications du taux de croissance de population selon différents scénarios de taux de collision (variant de 0 à 50 % de la population mourant par collisions par an) et d'immigration (comparant la situation actuelle avec 10 immigrants par an, à une situation sans immigration).

Pour les deux types de modélisation, il est nécessaire de connaître les effectifs des classes d'âge dans la population. Or nous ne disposons chaque année que du nombre de couples reproducteurs, constitué d'un mélange d'individus d'adultes et subadultes dans des proportions inconnues. Pour reconstituer les effectifs des classes d'âge incluant donc à la fois les non-reproducteurs et les reproducteurs, nous avons utilisé la structure d'âge

stable prédite par la matrice de Leslie (structure stable à l'équilibre et donc indépendante des effectifs initiaux) auxquels nous avons combiné les taux de reproduction des classes d'âge.

Toutes les simulations démographiques ont été réalisées avec le logiciel R (R Development Core Team 2010), en utilisant les [packages 'popbio'](#).

Résultats

Fécondité

En plaine de Crau, le pourcentage des individus subadultes nicheurs (âgés d'1 an) est de 48 % et le pourcentage des adultes nicheurs, dont l'âge est égal ou supérieur à deux ans, est de 88 % (fig. 3). Dans l'Hérault, le succès reproducteur varie de 2,36 à 2,97 avec une valeur moyenne de 2,51 (fig. 4). Le taux moyen de réussite égale 89.9 % (variant entre 81,8 % et 97,8 %).

Fig. 3 :

Fréquence de reproduction pour les faucons crécerellettes subadultes et adultes en plaine de Crau, entre 1994 et 2016.

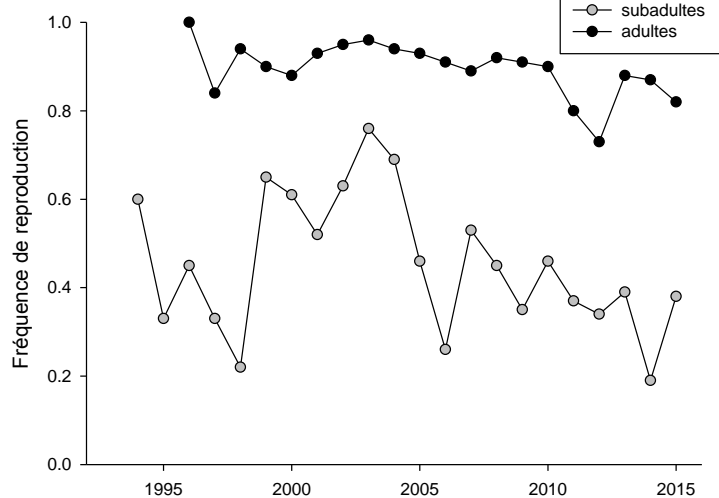
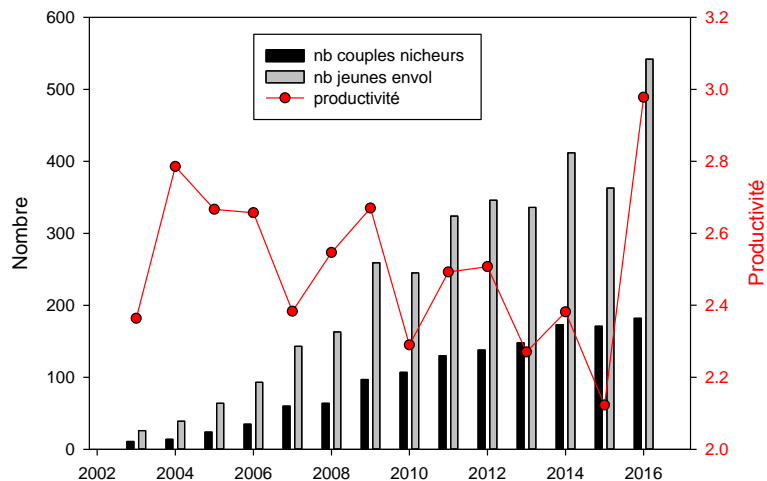


Fig 4 :

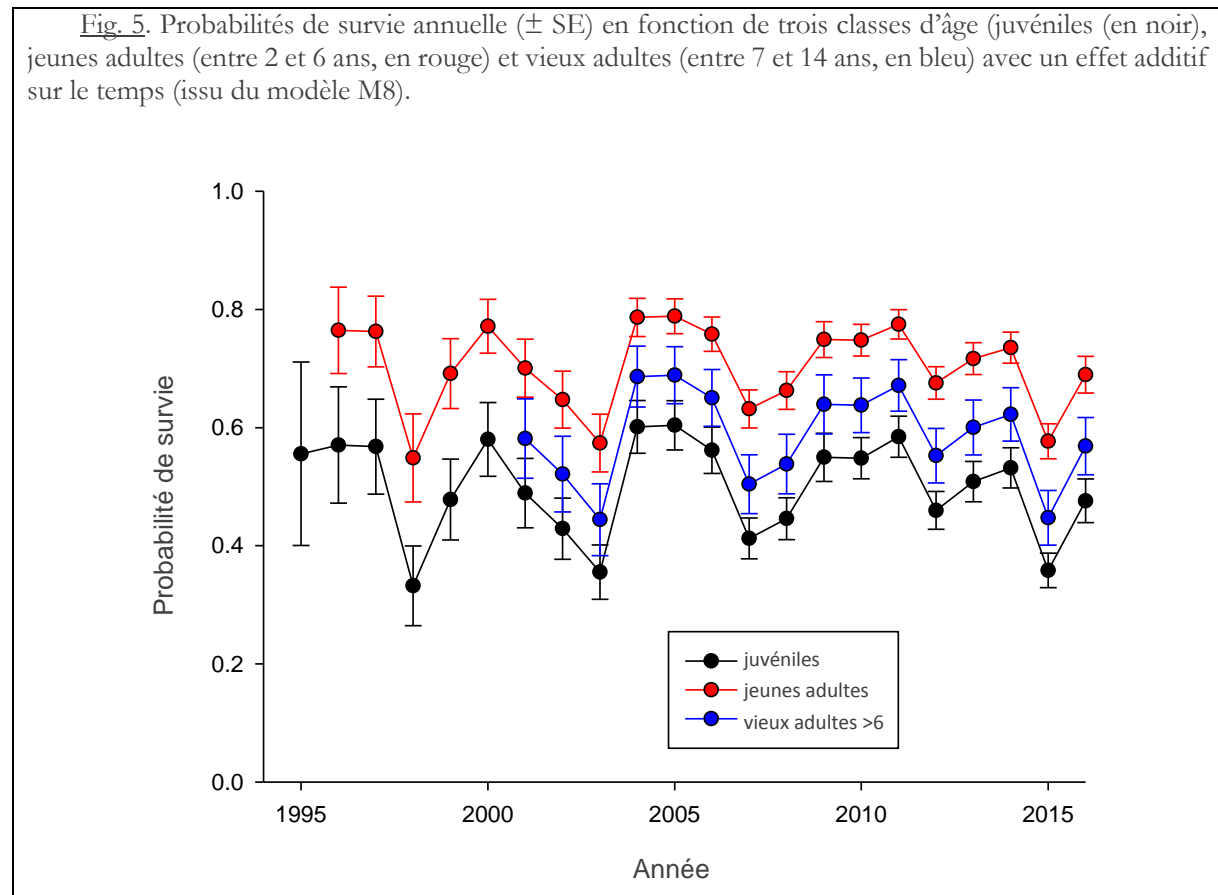
Bilan de la reproduction (nombre de couples nicheurs, nombre de jeunes à l'envol et productivité) des faucons crécerellettes dans la population de l'Hérault entre 2003 et 2016.



Probabilité de survie

Le modèle qui décrit le mieux les données est un modèle additif sur le temps (modèle M8, voir détails en annexe A), où les probabilités de survie varient de manière parallèle entre les trois classes d'âge (fig. 5). Les probabilités moyennes de survie pour les juvéniles, les jeunes adultes et les vieux

adultes sont respectivement de $0,50 \pm 0,05$, $0,70 \pm 0,04$, et $0,58 \pm 0,05$. En triant les valeurs de survie de manière croissante, il devient possible d'attribuer des classes d'années « bonnes » ou « mauvaises » en fonction de si elles se trouvent respectivement au-dessus ou en dessous de la valeur médiane (tableau dans la figure 2).



Analyse de mortalité par éoliennes

Sur l'ensemble du parc éolien du cause d'Aumelas, 31 cadavres de Faucons crécerellettes ont été découverts depuis 2011, dont 26 entre 2013 et 2016 (tableau 1). Après correction des biais dus à la persistance des cadavres, à l'efficacité du prospecteur et à la surface réellement prospectée, les estimations du nombre de cadavres induits par ces aérogénérateurs pour la période 2013-2016 sont comprises entre 61 cas de mortalité (méthode Erickson) à 90 (méthode Jones) (tableau 1). La formule de Huso (2011), que nous considérons comme étant plus fiable, a servi de base au calcul du taux de mortalité annuel, et prédit 83.2 cadavres

sur la période de 4 ans, soit 3.2 fois plus que les 26 cadavres trouvés effectivement sur le terrain. Entre 2013 et 2016, 6.5 cadavres ont été trouvés en moyenne par an, ce qui revient à $6,5 \times 3,2 = 20,8$ individus probablement tués par an (âges et sexes confondus, donc $20,8/2=10,4$ femelles). En considérant un sex-ratio équilibré et une population femelle de 260 sur les dernières années (voir plus loin), le taux de surmortalité est donc égal à $10,4/260 = 0,039$, soit environ 4 % par an.

Analyse PVA rétrospective

Le modèle matriciel prédit une structure en âge stable avec 73 % de femelles reproductrices et 27 % de femelles non reproductrices. Avec 190 couples

reproducteurs en 2016, le nombre total de femelles adultes et subadultes devait se situer autour de 260 dans la population.

D'après les effectifs observés, le taux de croissance inter-annuel λ observé pour la population de l'Hérault entre 2006 et 2016 est de 1.179 (courbe bleue sur la fig. 6A). Pour obtenir un tel taux de croissance inter-annuel avec la mortalité additionnelle due aux éoliennes, le modèle prédit qu'il faudrait injecter environ 10 immigrants par an dans la population (fig. 6A). En modélisant la trajectoire de la population sans mortalité éolienne, les effectifs augmentent bien plus vite, avec un pic étant estimé à 250 couples reproducteurs en 2015, contre 204 pour le modèle incluant la mortalité, soit une réduction de 18 % induite par les mortalités par collision.

Analyse PVA prospective

Si la situation actuelle se maintenait pendant les 20 prochaines années, avec une alternance équilibrée

d'années bonnes et mauvaises, en l'absence d'immigration, le taux de croissance inter-annuel λ baisserait de manière strictement linéaire avec le taux de mortalité induit par les collisions (fig. 7A). Ainsi chaque pourcent supplémentaire de surmortalité par collision induirait une baisse de 1 % de λ . La population commencerait à décroître ($\lambda < 1$) à partir de taux de mortalité par collision supérieur à 0.07. En présence de 10 immigrants par an, le taux de croissance devrait décroître de manière exponentielle (fig. 7B). La population commencerait à décroître pour un taux de mortalité par collision de 0.10 soit seulement 3 % de plus qu'en absence d'immigration. L'immigration permet de tamponner les effets de la surmortalité.

Si les conditions d'hivernage se dégradent avec un doublement de la fréquence de mauvaises années, il suffirait d'un taux de collision de 0.02 pour que la population commence à décliner en absence d'immigration (fig. 7C). Ce taux de collision serait de 0.045 en présence de 10 immigrants par an (fig. 7D).

Fig. 6 : Effectifs observés (bleu) et prédits par la PVA (en rouge) de faucons crécerellettes dans la population de l'Hérault entre 2006 (année 1) et 2016 (année 10): A) avec une mortalité additionnelle due aux collisions sur les éoliennes (à gauche ; valeur observée de 4 % par an sur les trois dernières années, 2.6 % sur les 4 années précédentes, 1.3 % sur les 3 premières années) ; et B) sans mortalité additionnelle due aux éoliennes (à droite).

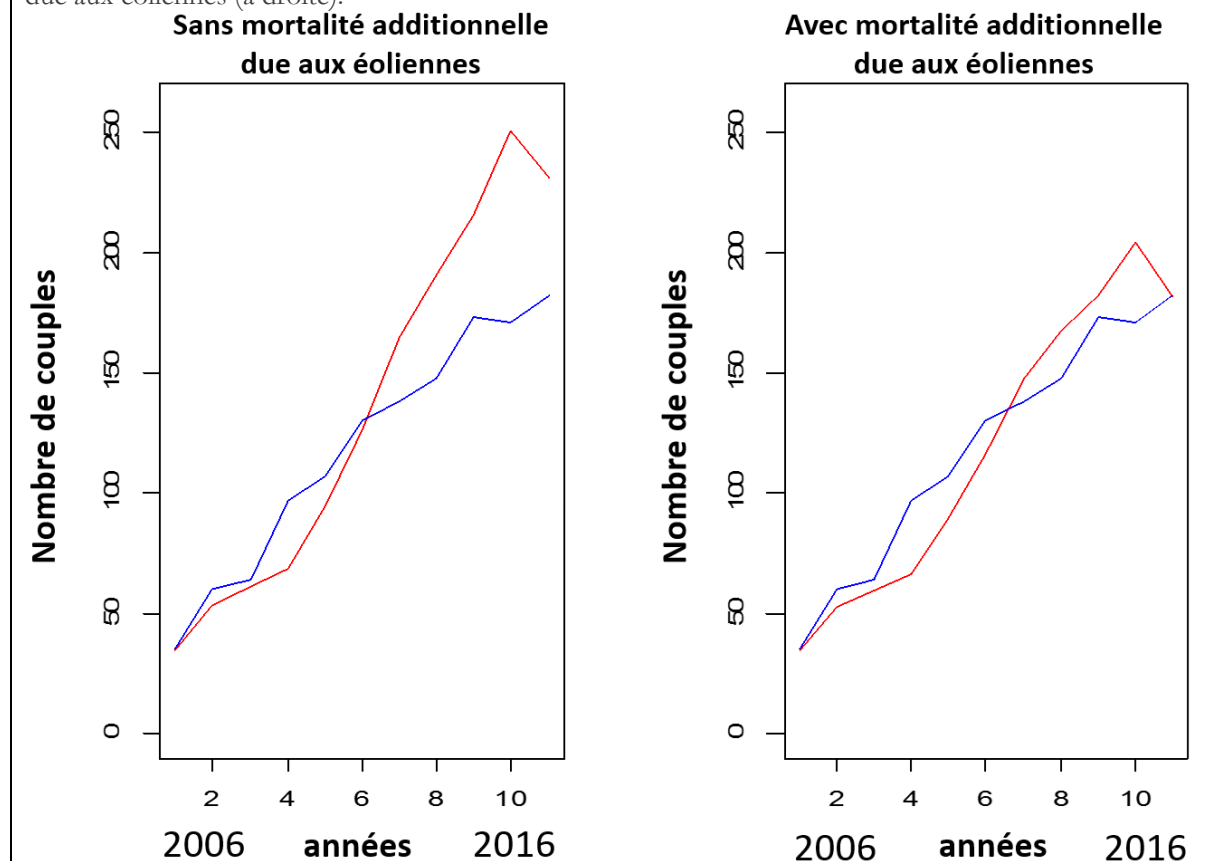
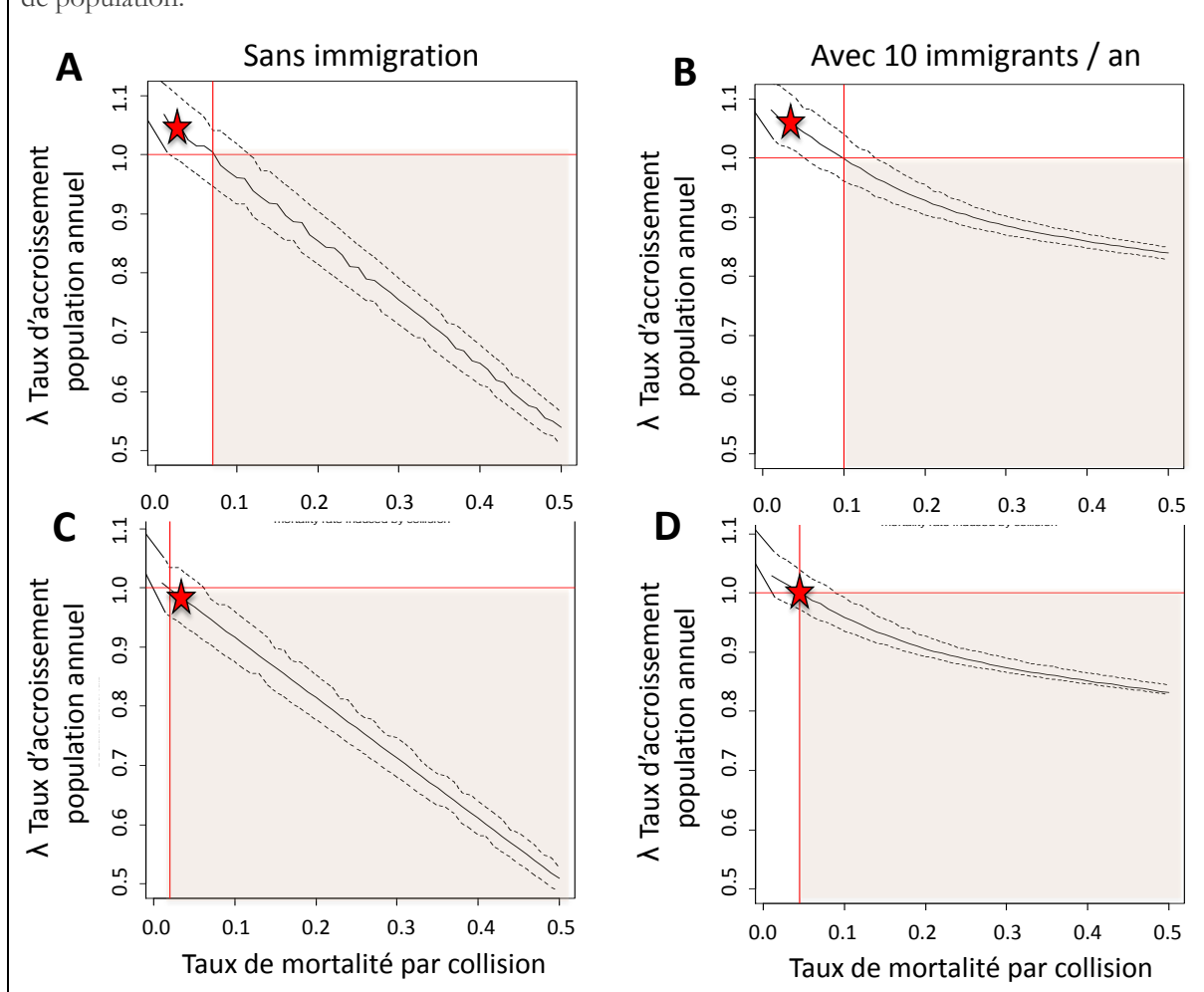


Tableau 1 : résultats du suivi de mortalité entre 2013 et 2016 et estimations corrigées avec les trois formules standard (détails des paramètres en annexe A). Les valeurs moyennes annuelles sont données avec les intervalles de confiance à 95 % entre crochets.

	Saison	Nb de leurres	Paramètres des formules											Correction du nombre de cadavres		
			<i>N_a</i>	<i>N_b</i>	<i>P</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>tm</i>	<i>P'</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>é</i>	<i>a</i>	Erikson	Jones	Huso
2013	Printemps	20	3	0	0,62	0,85	3,33	3,73	0,64	0,66	7,46	1,24	1,38	4,31	6,11	5,92
	Été	26	4	0	0,46	0,85	3,33	3,75	0,64	0,67	7,5	1,25	1,77	7,33	10,35	10,52
	Automne	62	1	0	0,27	0,85	3,33	2,76	0,55	0,58	5,52	0,66	1,01	1,42	3,27	3,13
	Sous Total	108	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,06 [4,62-25,50]	19,73 [7,46-39,41]	19,57 [7,10-37,24]
2014	Printemps-été	20	5	0	0,25	0,80	3,50	2,40	0,48	0,52	4,80	1,00	1,325	12,08	17,17	15,74
	Été-automne	30	0	0	0,25	0,66	3,50	2,40	0,48	0,52	4,80	1,00	1,217	0,00	0,00	0,00
	Sous Total	50	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,08 [2,13-32,22]	17,17 [3,18-44,98]	15,74 [2,97-39,29]
2015	Printemps	26	0	0	0,42	0,69	3,50	2,38	0,48	0,52	4,76	1,00	1,22	0,00	0,00	0,00
	Été	24	5	0	0,38	0,58	3,50	2,83	0,53	0,57	5,66	1,00	1,36	14,57	21,88	20,55
	Automne	12	0	0	0,51	0,91	3,50	3,83	0,63	0,65	7,66	1,00	1,09	0,00	0,00	0,00
	Sous Total	62	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,57 [2,28-22,46]	21,88 [3,41-33,14]	20,55 [3,19-31,02]
2016	Printemps	20	4	0	0,39	0,85	3,47	3,10	0,57	0,60	6,20	1,00	1,20	6,35	9,93	9,43
	Été	18	4	0	0,26	0,77	3,50	2,00	0,41	0,47	4,00	1,00	1,64	14,78	20,27	17,89
	Automne	17	0	0	0,68	0,76	3,46	2,41	0,48	0,53	4,82	1,00	1,02	0,00	0,00	0,00
	Sous Total	55	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,14 [4,77-36,60]	30,20 [6,79-51,84]	27,33 [6,24-47,29]
2013 - 2016	Total	275	26	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,85	88,98	83,18

Fig. 7. Variation du taux de croissance inter-annuel λ de la population de faucons crécerellettes, en fonction du taux de mortalité induit par les collisions avec les éoliennes. à gauche en l'absence d'immigration, à droite avec 10 immigrants par an ; A et B : avec une alternance équilibrée entre bonnes et mauvaises années ; C et D : avec 75% de mauvaises années, dues à une dégradation des conditions d'hivernage. Les lignes rouges indiquent le seuil de mortalité au-delà duquel la population décline ($\lambda < 1$, zone grisée). L'étoile rouge indique le taux actuel de mortalité par collision et le taux actuel de croissance de population.



Discussion

Après avoir failli disparaître de France au tournant des années 1980, où ne subsistait plus que 2 couples en 1983 en plaine de Crau, le Faucon crécerellette a initié une reconquête spectaculaire de ses effectifs, jusqu'à ~ 400 couples en 2016 en France. La croissance de cette population, limitée alors à la Crau, était initialement très forte : 28,4 % en moyenne 1983-1992. Elle s'est ensuite réduite à ~ 11 % en moyenne dans la décennie 1993-2002. En 2003, la découverte d'une deuxième colonie (spontanée) de 11 couples dans l'Hérault puis le début de la réintroduction d'une troisième colonie dans l'Aude, relancent la croissance globale de la population française (près de 21 % en moyenne 2003-2010). Depuis lors, le taux de croissance a spectaculairement chuté puisqu'il n'est plus que de 0,56 % en moyenne sur la période 2011-2015.

Pour sa part, la population héraultaise est passée d'une croissance moyenne de 38,4 % entre 2002 et 2006, à une croissance de 7,1 % entre 2011 et 2015. Ces changements récents refléteraient, outre la part relativement réduite de l'immigration, des modifications des conditions d'hivernage en région sahélienne (Mihoub *et al.* 2010, Pilard 2017). Ils viennent tempérer la vision optimiste qui régnait à la fin du premier plan national d'actions (Pilard 2011), visant à atteindre une population dépassant 500 couples en 2016, accompagnée d'une expansion géographique en France méditerranéenne.

Dans ce contexte, la mortalité additionnelle importante mesurée sur le parc éolien d'Aumelas (de l'ordre de 4 % des effectifs ces dernières années) interroge sur l'avenir de la population, héraultaise et française (sachant que la population héraultaise produit plus de la moitié des jeunes annuellement). En 2006, quand les onze premières éoliennes

commençaient à fonctionner, la population de Faucons crécerellette de l'Hérault était alors de 35 couples et son taux de croissance annuelle de 46 % : la perte de croissance due à la mortalité probable, estimée *a posteriori* à 1,3 %, était donc absorbable (représentant moins de 3 % de la croissance globale). En 2009, quand le parc a été étendu à 24 éoliennes, la population a atteint 97 couples et a commencé à coloniser 2 autres villages au Nord et à l'Est, avec une croissance annuelle d'environ 52 % : la perte de croissance due à la mortalité probable par collision, estimée *a posteriori* à 2,6 %, était donc encore absorbable (représentant moins de 5 % de la croissance globale). En 2014, quand le parc a été encore étendu avec 31 éoliennes, les colonies reproductrices étaient dispersées sur 11 sites, dont le plus proche (Villeveyrac) se trouve à moins de 3 km des éoliennes. Au total il y avait 173 couples autour du Causse d'Aumelas et la croissance annuelle héraultaise n'était plus que de 17 % : la perte de croissance due à la mortalité probable, calculée à partir du suivi de mortalité en place depuis 2010 à 4 %, est déjà beaucoup plus importante (représentant 19 % de la croissance globale). En 2016, la colonie héraultaise (toujours sur 11 sites) semblait stabilisée à 182 couples, avec un taux de croissance annuel de 6,4 % depuis 2014 : la perte de croissance due à la mortalité probable, calculée à partir du suivi de mortalité en place depuis 2010 à 4 %, est très importante (représentant 38,5 % de la croissance globale).

Pendant la période du second plan national d'actions (2011-2015), à croissance réduite à 7,1 % en moyenne, la pression de mortalité (réduisant de 4 % la croissance) sur la population héraultaise est très importante puisqu'elle représente 36 % de la croissance globale attendue. On peut donc en déduire que les mortalités ont d'ores et déjà contribué à ralentir significativement la croissance des colonies héraultaises (rassemblant près de la moitié des effectifs des colonies françaises).

Si les conditions climatiques en hivernage au Sahel empirent et que le taux de croissance diminue encore de ce fait, le taux actuel de mortalité entraînera une régression brute des effectifs, non compensable par l'immigration dans l'hypothèse, assumée, où cette dernière reste stable.

La mise en place progressive depuis 2013 (complète sur les 31 éoliennes depuis mars 2017) du système d'effarouchement/arrêt DT-Bird n'a pas suffi à arrêter les mortalités (4 cadavres trouvés en 2017 sur un total de 16 cadavres trouvés sous des éoliennes équipées de DT-Bird) et ne donne pas de garantie suffisante de réduction de l'impact de mortalité sur cette population. On peut craindre par ailleurs que l'accumulation de différents parcs

éoliens dans le sud de la France ne vienne amplifier ces impacts. Ainsi, 2 autres cas de mortalité sous des éoliennes d'un parc de l'Aude ont été découverts à proximité d'un dortoir post-nuptial, proche de nombreux parcs éoliens. Plusieurs projets éoliens en cours d'instruction dans l'Aude, l'Hérault ou la Crau pourraient amplifier le phénomène.

Conclusion

Les suivis d'impact éolien espagnols puis français ont révélé l'extrême sensibilité à la mortalité (du fait d'un comportement peu farouche vis à vis des éoliennes) du Faucon crécerellette (Barrios & Rodriguez 2007, Thaxter *et al.* 2017). Après un déclin spectaculaire en Europe lié principalement aux séries de conditions d'hivernage mauvaises dans les années 1970 au Sahel, aggravées parfois par des persécutions humaines directes en France, de nombreux efforts de conservation tant en péninsule ibérique qu'en France (et au Sénégal sur le principal dortoir découvert (Pilard *et al.* 2011)) ont permis une amélioration de la situation de l'espèce en Europe de l'Ouest.

Le développement très important des parcs éoliens dans le sud de la France et en Espagne depuis une vingtaine d'années fait peser une nouvelle menace sur ses habitats et sa population, dont cette étude permet de mesurer concrètement les effets dans une des deux principales populations françaises. Il est urgent de mettre en place des suivis fiables et pluriannuels de la mortalité sous les parcs existant n'en disposant pas à proximité des deux autres populations, notamment celle de Crau.

Trouver des moyens efficaces pour réduire l'impact des parcs éoliens existants proches des colonies et sites de dortoirs post-nuptiaux est une priorité pour l'avenir de l'espèce. Faute de moyen efficace disponible, il faudra se poser la question de l'arrêt diurne des parcs durant la période de présence de l'espèce. Au-delà, il apparaît indispensable de préconiser le refus de création de tout nouveau parc éolien dans les domaines vitaux de l'espèce et aux alentours des dortoirs post-nuptiaux réguliers. Pour ces derniers, nous manquons encore d'information sur les distances parcourues par les oiseaux vers les zones de gagnages et ne pouvons donc actuellement fixer précisément un rayon tampon autour des dortoirs à respecter. Les suivis autour du dortoir hivernal du Sénégal montrent toutefois qu'il faut s'attendre à des distances de plusieurs dizaines de kilomètres. À l'avenir des suivis télémétriques d'individus fréquentant les principaux dortoirs pourraient être aussi nécessaires pour mieux estimer ces impacts potentiels supplémentaires.

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes ayant été impliquées dans les suivis des populations de faucons crécerelletes, à la fois dans l'Hérault et en Crau, ainsi que les suivis de mortalité. Nous remercions également les organisateurs du Séminaire Eolien et Biodiversité à Artigues-près-Bordeaux en novembre 2017. Ce travail a été réalisé dans le cadre du comité de pilotage du Plan National d'Actions pour le Faucon Crécerellette.

Références

- Baerwald EF, D'Amours GH, Klug BJ, Barclay RMR (2008) Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18:R695-R696
- Barrios L, Rodriguez A (2007) Spatiotemporal patterns of bird mortality at two wind farms of southern Spain. In: De Lucas M, Janss GFE, Ferrer M (eds) *Birds and wind farms; Risk assessment and mitigation*. Quercus, Madrid, p 229-239
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Benítez JR, Lobón M, Donázar JA (2009) Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. *Biol Conserv* 142:2954-2961
- Choquet R, Lebreton JD, Gimenez O, Reboulet A-M, Pradel R (2009) U-CARE: Utilities for performing goodness of fit tests and manipulating CAPture-REcapture data. *Ecography* 32:1071-1074
- Choquet R, Rouan L, Pradel R (2008) Program E-SURGE: a software application for fitting multievent models. *Env Ecol Stats* 16:847-868
- Cook ASCP, Robinson RA (2017) Towards a framework for quantifying the population-level consequences of anthropogenic pressures on the environment: The case of seabirds and windfarms. *J Environ Manag* 190:113-121
- Cramp S, Simmons KEL (1982) *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa, Vol II, Hawks to Bustards*. Oxford University Press, Oxford
- Dai A (2013) Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change* 3:52
- De Lucas M, Janss GFE, Ferrer M (eds) (2007) *Birds and wind farms; Risk assessment and mitigation, Vol. Quercus, Madrid*
- De Lucas M, Janss GFE, Whitfield DP, Ferrer M (2008) Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *J Appl Ecol* 45:1695-1703
- Drewitt AL, Langston RHW (2006) Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148:29-42
- Drewitt AL, Langston RHW (2008) Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:233-266
- Frick WF, Baerwald EF, Pollock JF, Barclay RMR, Szymanski JA, Weller TJ, Russell AL, Loeb SC, Medellin RA, McGuire LP (2017) Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biol Conserv* 209:172-177
- Huso MMP (2011) An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics* 22:318-329
- Lekuona JM, Ursua C (2007) Avian mortality in wind power plants of Navarra (Northern Spain). In: De Lucas M, Janss GFE, Ferrer M (eds) *Birds and wind farms; Risk assessment and mitigation*. Quercus, Madrid, p 177-192
- Loss SR, Will T, Marra PP (2015) Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 46:99-120
- Marques AT, Batalha H, Rodrigues S, Costa H, Pereira MJoR, Fonseca C, Mascarenhas M, Bernardino J (2014) Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biol Conserv* 179:40-52
- Martin GR (2011) Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153:239-254
- Mihoub J-B, Gimenez O, Pilard P, Sarrazin F (2010) Challenging conservation of migratory species: Sahelian rainfalls drive first-year survival of the vulnerable Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Biol Conserv* 143:839-847
- Mihoub JB (2009) Réintroductions et comportements de sélection d'habitat: de la modélisation à l'application - cas du Vautour moine *Aegypius monachus* et du Faucon crécerellette *Falco naumanni*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie
- Moncorps S, Sibley J-P (2016) oiseaux de france métropolitaine. In: *La liste rouge des espèces menacées en France*. UICN France, MNHN, LPO, SEOF & ONCFS, Paris, p 20
- Pilard P (2011) Plan national d'actions pour le Faucon crécerellette 2011-2015, Vol. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Paris

- Pilard P (2017) Bilan du Plan national d'Actions Faucon crécerellette 2011-2015 Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
- Pilard P, Lelong V, Sonko A, Riols C (2011) Suivi et conservation du dortoir de rapaces insectivores (Faucon crécerellette *Falco naumanni* et Élanion naucier *Chelictinia riocourii* de l'île de Kousmar (Kaolack / Sénégal). *Alauda* 79:295-312
- R Development Core Team (2010) R: A language and environment for statistical computing, Vol version 2.10. R Foundation for Statistical Computing, Vienna
- Schaub M (2012) Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. *Biol Conserv* 155:111-118
- Thaxter CB, Buchanan GM, Carr J, Butchart SHM, Newbold T, Green RE, Tobias JA, Foden WB, O'Brien S, Pearce-Higgins JW (2017) Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proc R Soc Lond B* 284
- Thelander CG, Smallwood KS (2007) The Altamont Pass wind resource area's effect on birds: a case history. In: De Lucas M, Janss GFE, Ferrer M (eds) *Birds and wind farms; Risk assessment and mitigation*. Quercus, Madrid, p 25-46
- Wang S, Wang S, Smith P (2015) Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44:599-607
- Williams BK, Conroy MJ, Nichols JD (2002) *Analysis and management of animal populations*, Vol. Academic Press

Annexe A

Détails des principaux coefficients de correction du suivi mortalité et formules de calcul.

Nom et formule	Variable	Conditions/Hypothèses
<p>Erickson</p> $N \text{ estimé} = \left[(Na - Nb) * \frac{I}{tm * d} \right] * a$	<p>Na : nombre total de cadavres retrouvés</p> <p>Nb : le nombre d'oiseaux tués par une autre cause que les éoliennes (cadavres ne présentant pas les symptômes d'une mort par collision, projection / barotraumatisme)</p> <p>I : durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)</p> <p>tm : durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).</p> <p>d : taux d'efficacité (ou taux de détection) du chercheur.</p> <p>a : coefficient de correction surfacique</p>	<p>Cette équation est adaptée de la formule de Winkelman, mais permet de faire le calcul même</p> <p>lorsque le taux de prédation est très élevé (donc le taux de persistance est nul).</p>
<p>Jones</p> $N \text{ estimé} = \frac{Na - Nb}{a * d * \hat{e} * P'}$	<p>Le taux de persistance est remplacé par la formule : P' = e^{-0,5*I/tm}</p> <p>L'intervalle effectif Î est égal à : -log(0,01) * tm</p> <p>ê : coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à (Min I : Î) / I.</p>	<p>Le taux de mortalité est constant sur l'intervalle, la durée de persistance suit une variable exponentielle négative et la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle</p>
<p>Huso</p> $N \text{ estimé} = \frac{Na - Nb}{a * d * p * \hat{e}}$	<p>P est le taux de persistance ou de prédation sur le site (plus le temps d'intervalle des recherches est court, plus P est proche de 1 et limite le biais).</p> <p>p = tm * (1 - e^{-1/tm}) / I</p>	<p>Mortalité constante sur l'intervalle et la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre</p>

Annexe B

Détail des analyses de survie

Les tests d'ajustement montrent une hétérogénéité dans le jeu de données (test global $X^2 = 831.6712$, $df = 70$, $p < 0.001$) détectant un problème de transience (test 3.SR $X^2 = 422.992$, $df = 21$, $p < 0.001$) mais pas de trap-dependence (test 2.CT $X^2 = 23.3356$, $df = 22$, $p = 0.2726$). En supprimant la première occasion de contrôles pour éliminer ce problème de transience (qui sera corrigé avec des modèles avec plusieurs classes d'âge), le test d'ajustement global est grandement amélioré, bien qu'encore significatif (test global $X^2 = 82.9161$, $df = 42$, $p = 0.00017$). Le problème de transience est alors complètement pris en compte (test 3.SR $X^2 = 59.3438$, $df = 42$, $p < 0.001$) mais il subsiste un léger problème de « trap-dependence » ($X^2 = 15.1022$, $df = 8$, $p = 0.057188$). En regardant plus en détail les résultats du test 2.CT, il apparaît que seules 3 années (occasions 11, 16 et 17) sur les 22 sont affectées par ce problème de « trap-dependence », sans raison évidente. L'intégration d'un coefficient de surdispersion $c = 82.91/42 = 1.97$ permettra de tenir compte de ce problème dans la sélection de modèles de survie.

La sélection des modèles est détaillée dans le tableau B.1. Un premier modèle M1 est réalisé avec une probabilité de survie Phi différente pour chacune des classes d'âge (a22) et une probabilité de recapture p différente pour 3 classes d'âge (a3 : juvénile (1ère année), subadultes (2ème année) et adultes (> 3 ans)) sans effet du temps. Les résultats montrent que la survie est faible chez les juvéniles, puis augmente chez les subadultes et jeunes adultes en demeurant stable jusque la 6^{ème} année, pour ensuite diminuer chez les individus plus âgés (fig. B.1). Aucun adulte de plus de 14 ans n'a été observé et seuls 22 individus de plus de 10 ans ont été observés sur 3489 poussins bagués. Pour les modèles suivants nous avons donc regroupé les âges en 3 classes : Juvénile (juv), jeunes adultes (Jad : ages 2 à 6) ; et vieux adultes (Vad : ages > 6).

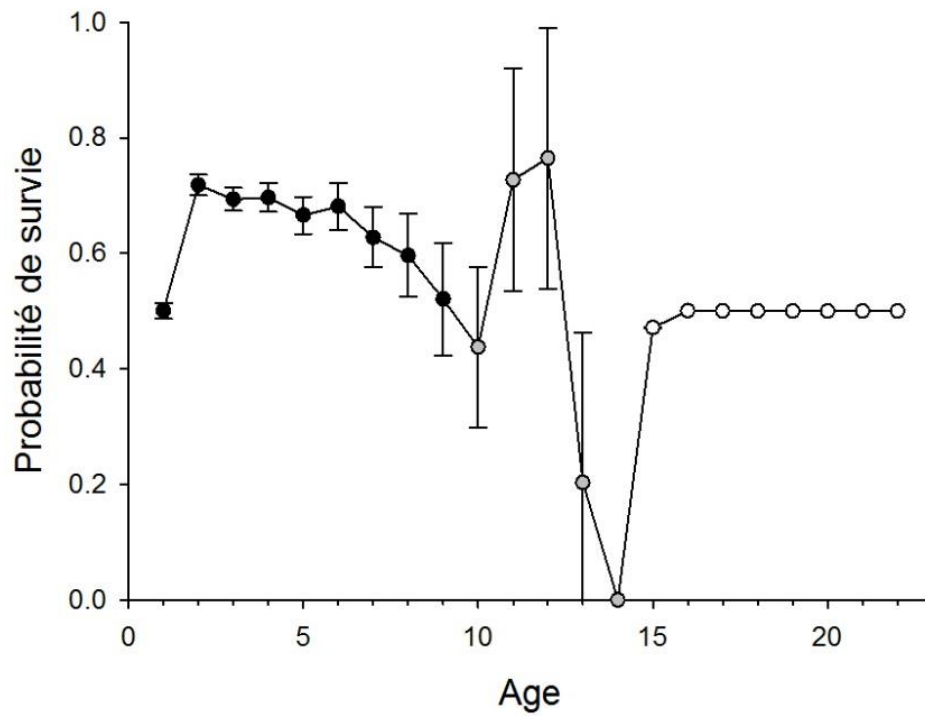
Nous avons ensuite testé un modèle (M2) complètement temps-dépendant à la fois sur la survie (pour les trois classes d'âge juv, Jad, Vad) et sur les recaptures (a3). Nous avons ensuite sensiblement amélioré le modèle en simplifiant les taux de recapture pour ne poser un effet « temps » que sur les Subadultes (M3) et enfin un modèle où la probabilité de recapture est identique pour tous les individus et ne varie pas dans le temps (M4). Avec le modèle M4, les probabilités de recaptures pour les subadultes et adultes sont de 0.78 ± 0.02 et 0.97 ± 0.005 . Nous avons conservé ces probabilités de recaptures pour les modèles suivants.

Nous avons poursuivi la simplification du modèle en éliminant l'effet « temps » sur la survie des vieux adultes (M5), puis également sur les jeunes adultes (M6). En revanche, un modèle avec une probabilité de survie constante pour les trois classes d'âge (M7) a une valeur d'AIC plus élevée.

Tableau B.1 : sélection de modèles pour l'analyse de survie (avec coefficient de surdispersion de 1.97)

Modèle	np	Deviance	QAIC	QAICc
M8 Phi((Juv,Jad,Vad)+t) p(Subad,Adultes)	26	11 707.0384	5 994.6591	5 994.8373
M6 Phi(juv.t,Jad,Vad) p(Subad,Adultes)	26	11 736.1574	6 009.4403	6 009.6185
M5 Phi(juv.t,Jad.t,Vad) p(Subad,Adultes)	46	11 681.3507	6 021.6197	6 022.1700
M7 Phi(juv,Jad,Vad) p(Subad,Adultes)	5	11 866.3189	6 033.5121	6 033.5197
M4 Phi(juv.t,Jad.t,Vad.t) p(Subad,Adultes)	61	11 653.0530	6 037.2553	6 038.2199
M3 Phi(juv.t,Jad.t,Vad.t) p(Subad.t,Adultes)	81	11 580.7128	6 040.5344	6 042.2327
M2 Phi(juv.t,Jad.t,Vad.t) p(Subad.t,Adultes.t)	101	11 522.9798	6 051.2283	6 053.8692
M1 Phi(a22) p(Subad,Adultes)	24	11 850.4632	6 063.4636	6 063.6159

Fig. B.1 : probabilité de survie (\pm SE) en fonction de l'âge des individus (issu du modèle M1). A partir de 10 ans, les estimations ne reposent plus que sur une vingtaine d'individus (points gris) et sur aucun individu à partir de 15 ans (points blancs).



Avifaune de plaine et éoliennes, une cohabitation impossible ? Retour des suivis post implantation sur les aptitudes phénotypiques des espèces

Bertrand DELPRAT¹

¹ Calidris SARL, 46 rue de Launay, 44 620 La Montagne, France. bertrand.delprat@calidris.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

Les grandes plaines agricoles de l'ouest constituent des zones sous forte pression anthropique, qu'il s'agisse de l'agriculture, des infrastructures de transport ou du développement des énergies renouvelables (EnR). Concernant l'éolien, des parcs existent dans des zones à forte densité d'espèces patrimoniales depuis plusieurs années. Les suivis mis en œuvre avant et pendant leur entrée en exploitation offrent un retour d'expérience important sur la compréhension de la réponse comportementale des espèces présentes.

La réponse comportementale des espèces cibles, Outarde canepetière, Edicnème criard, Busards mise en perspective de leurs aptitudes phénotypiques et de la bibliographie permet une meilleure compréhension des effets des éoliennes sur le cycle biologique de ces espèces et la définition de stratégies de développement des EnR intégrant l'indispensable conservation de ces espèces à forts enjeux de conservation.

Quelles alternatives au suivi acoustique des chiroptères sur mât de mesure de grande hauteur ? Application dans le cadre de l'étude d'impact d'un projet de parc éolien en milieu forestier en Bourgogne

Guillaume MARCHAIS¹, Guillaume VUITTON¹

Avec la participation de WPD

¹ Ecosphère agence Centre-ouest. guillaume.vuitton@ecosphere.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

Dans le cadre d'une étude d'impact de projet éolien, la réalisation d'un suivi longue durée de l'activité chiroptérologique permet de connaître les flux de chauves-souris traversant la zone d'étude au cours des différentes périodes de l'année et la relation avec les conditions météorologiques. À ce jour, il est admis que l'idéal est de réaliser ce suivi au plus près de la zone de rotation des pales, qui constitue la zone à risque.

La pose d'un mât de mesure de grande hauteur n'est toutefois pas systématiquement possible et souvent de moins en moins nécessaire pour les opérateurs qui disposent d'autres méthodes pour analyser les vents (LIDAR). Les impacts de l'installation d'un mât de mesure, notamment en milieux forestier, ne sont pas toujours neutres. Dans ce contexte, des techniques alternatives sont à développer, notamment pour les chauves-souris. La pose d'un enregistreur d'ultrasons à une hauteur moindre (perche télescopique sur arbre de haut jet, château d'eau...) en est une si l'on associe un cornet spécifique de directionnalité pour le micro afin de ne capter que les sons émis au-dessus de la canopée. Ce dispositif a été installé dans le cadre d'un projet éolien en boisement, l'objectif étant de pouvoir corrélérer les données chiroptérologiques aux données météorologiques obtenues via le LIDAR, afin de proposer un bridage adapté des éoliennes.

Ce type de dispositif pourrait-il supplanter le suivi sur mât de grande hauteur à terme de par sa plus grande facilité de mise en œuvre ? Cela implique en tout état de cause que l'enregistreur soit posé à une hauteur suffisante. On sait par ailleurs que l'implantation des éoliennes modifie le comportement des chauves-souris fréquentant la zone. L'image du mât de mesure peut donc n'être ni plus juste ni plus fautive que les techniques alternatives, l'essentiel étant la corrélation aux données météorologiques. Le suivi chiroptérologique en nacelle après implantation du parc constitue *in fine* le meilleur moyen de définir un bridage efficace.

Abstract

Within the framework of an ecological environmental assessment, carrying out a long-term bat activity monitoring survey provides data showing how frequent the bat passes are above the survey area throughout the seasons and in relation to the meteorological data. It is most relevant to sample the volume the closest to the rotor swept area which is the high-risk collision area for bats.

Using a measuring mast is not always possible and more often less so as the operators have other technology at their disposal to assess the wind speed (LIDAR). The impacts of the installation of a measuring mast, especially in woodlands, can be significant. In this context, alternative means have to be designed for bat monitoring. Using an automatic bat detector and an extension cable for the micro put at a smaller height (attached to a perch on top of a big tree, or a water tower...) is only relevant if a specific horn enhances the directionality upwards, and thus records the bat calls way above the canopy. Such equipment has been used in an undergoing project in woodland. The aim is to define a tailored curtailment algorithm by correlating the above-canopy bat activity with the wind data collected by a LIDAR.

Can this kind of device supplant in the future a bat monitoring from a measuring mast because it is easier to implement? At least, it involves the micro is put at a high-enough height to detect the bat activity near the projected rotor swept area. Besides, it is well known that wind turbines do affect the behaviour of bats flying within the survey area. Hence, bat monitoring on a measuring mast is not really better or worse than the alternative techniques. It is the correlation with the right wind data which matters the most. Ultimately, the bat monitoring from a nacelle of a wind turbine is the most relevant method to define an efficient curtailment algorithm.

Motivation

Dans le cadre d'une étude d'impact de projet éolien, la réalisation d'un suivi longue durée (plusieurs mois) de l'activité chiroptérologique permet de connaître le cortège et les flux traversant la zone d'étude et la répartition de ces flux au cours de la période d'activité. Une corrélation avec les données météorologiques permet en outre de mettre en évidence les conditions d'activité des chauves-souris (vitesse de vents, température...). L'idéal est de réaliser ce suivi au plus près de la zone de rotation des pales, qui constitue la zone à risque pour les chiroptères (mais également pour les oiseaux).

Avec le développement de technologies comme le LIDAR pour le recueil des données météorologiques, la pose d'un mât de mesure de vent de grande hauteur (50-100 m) n'est plus systématique.

Dans ce contexte, pour le suivi chiroptérologique longue durée en hauteur, des techniques alternatives doivent être mises en œuvre. Elles consistent, par exemple, à poser l'enregistreur d'ultrasons à une hauteur moindre (arbre de haut jet, mât de plus faible hauteur...), avec un dispositif permettant de « filtrer » les sons émis par les chauves-souris, pour n'enregistrer

que ceux provenant du haut (donc en lien éventuel avec le bas de la zone de rotation des pales).

C'est ainsi que, dans le cas particulier d'un projet en boisement, l'installation d'un mât de grande hauteur apparaissant compliquée et impactante pour le milieu (opération de défrichage nécessaire pour créer une surface suffisamment grande pour les points d'ancrage au sol...), une alternative a donc dû être recherchée pour recueillir des données d'activité des chauves-souris en hauteur et ainsi permettre une évaluation étayée des impacts potentiels du projet et la mise en œuvre d'un bridage le plus adapté possible.

Méthodologie

Pour les conditions de vent et autres paramètres météo (température et pression), un système LIDAR installé au sol a été utilisé par le développeur, en remplacement d'un mât de mesure de grande hauteur. La télédétection par laser ou lidar, acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging » ou « laser detection and ranging », est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.



Figure 1 - Appareil LIDAR enregistrant les vitesses de vent jusqu'à 200 m d'altitude (G. Marchais - Écosphère)



Figure 2 - Génératrice du LIDAR (G. Marchais - Écosphère)

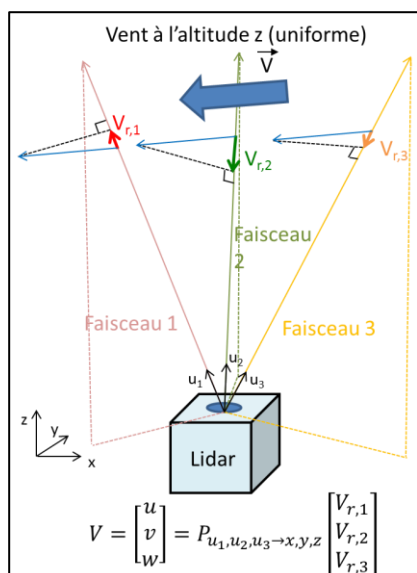


Figure 3 - Reconstitution du vecteur vent en 3 dimensions par un LIDAR vent mesurant la vitesse radiale par effet Doppler suivant différents axes. (Source : [Kilohn limahn](#))



Figure 4 - Sondes de pression atmosphérique et température posées au sol à proximité du LIDAR (G. Marchais - Écosphère)

Dans ce contexte, pour le suivi longue-durée des chiroptères, en l’absence de mât de mesure de grande hauteur, un micro ultrasonore (« SMM-U1 » de Wildlife Acoustics) a été installé sur une perche télescopique, au sommet d’un arbre de haut jet (25-30 m).

Afin d’augmenter la directionnalité du volume de détection, un second micro avec un cornet spécifique (« ultrasonic directional horn » de Wildlife Acoustics) a été ajouté sur une autre perche posée sur le même arbre. Le micro, alors orienté vers le ciel, enregistre ainsi essentiellement les ultrasons des individus survolant la canopée et non ceux volant en-dessous.



Photo 1 - Installation du micro en canopée à l’aide d’une perche télescopique de 6 m, le détecteur-enregistreur -SM3BAT- étant posé au pied de l’arbre dans un caisson sécurisé (G. Marchais - Écosphère)

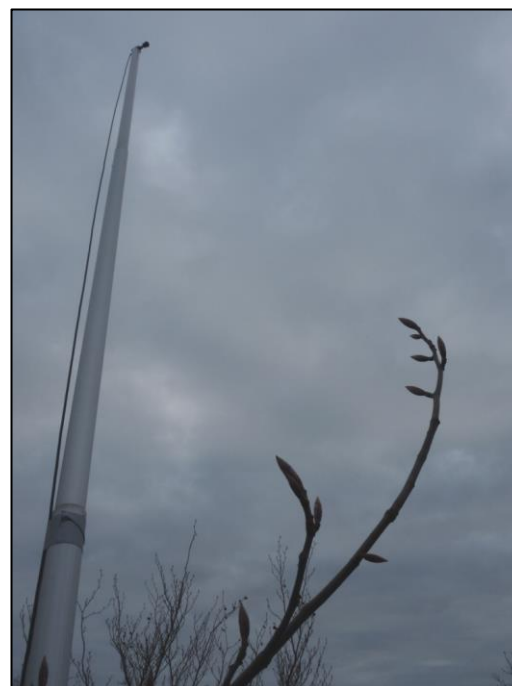


Photo 2 – Micro installé sur une perche de 6 m, elle-même attachée à la cime d’un arbre de haut jet, sur un point haut du site d’étude (G. Marchais - Écosphère)

Le détecteur est un SM3BAT¹ de Wildlife Acoustics qui enregistre automatiquement avec les paramètres suivants : démarrage 30 min avant le coucher du soleil ; arrêt 20 min après le lever du soleil ; Fréquence d'échantillonnage : 256 kHz ; Gain micro : +12 dB ; Filtre passe haut : 16 KHz ; Durée minimale : 1,5 ms ; « Trigger level » (niveau de déclenchement) : +12 dB ; « Trigger window » (fenêtre de déclenchement) : 3 s.

Résumé des résultats

Description et comparaison de l'activité chiroptérologique au niveau des deux micros avec cornet et sans cornet

Les deux micros ont enregistré l'activité des chauves-souris du 4 avril au 10 octobre 2017. Le

graphique ci-dessous présente la chronologie des contacts par semaine calendaire. Il apparaît clairement que l'activité toutes espèces confondues du micro nu est systématiquement plus grande car son omnidirectionnalité lui permet de détecter les individus volant aussi bien en-dessous qu'au-dessus de lui. Le second micro avec cornet présente globalement une courbe d'allure similaire mais avec des quantités de contacts bien moindre et surtout qui correspondent davantage à des individus volant à des hauteurs supérieures à 30 m jusqu'à possiblement plus de 100 m, donc exposés au risque de collision/barotraumatisme.

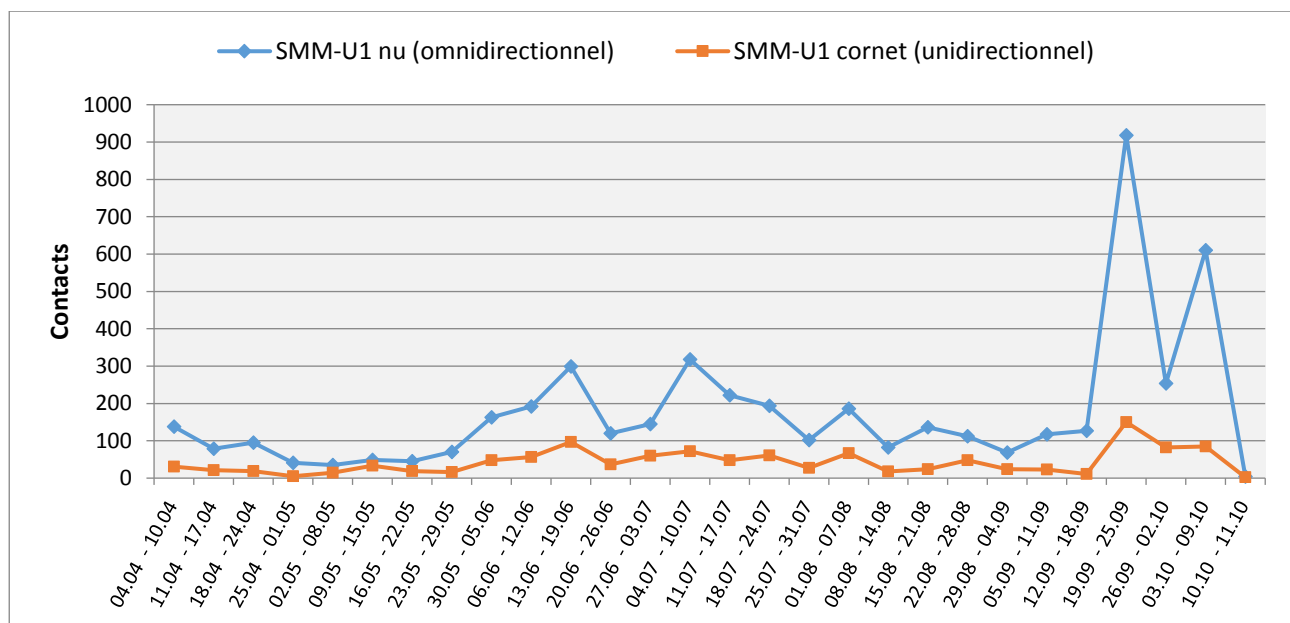


Figure 5 - Activités enregistrées par chaque micro sur le même arbre du 4 avril au 10 octobre 2017 (n = 6 119)

Par ailleurs, le graphique ci-dessous détaille l'activité enregistrée par le micro nu par groupe d'espèces. Celle-ci est largement dominée par la Pipistrelle commune (80 %) tout au long du suivi (d'avril à octobre). Les « Sérotules » constituent le second groupe d'espèces presque systématiquement,

également tout au long du suivi (12 %). Les Murins et le groupe Barbastelle/Oreillard sont en alternance le troisième ou le quatrième groupe (8 %). Enfin, seulement 3 contacts de Rhinolophes ont été enregistrés pour un total de 4 921 contacts.

¹ <https://www.wildlifeacoustics.com/products/song-meter-sm3bat>

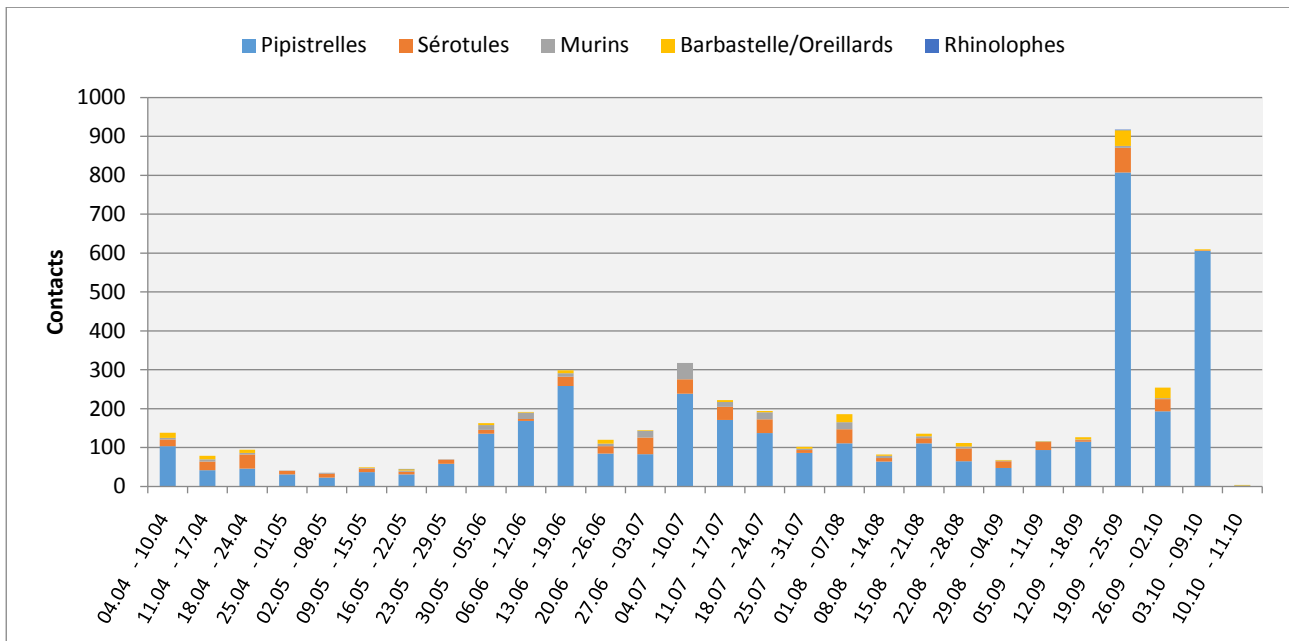


Figure 6 - Suivi canopée avec micro omnidirectionnel NU du 4 avril au 10 octobre 2017 (n = 4 921)

En comparaison, le graphique suivant détaille l'activité enregistrée par le micro avec cornet par groupe d'espèces. Là encore, celle-ci est largement dominée par la Pipistrelle commune, mais en proportion moindre (64 %). Comme pour le cas précédent, les « Sérotules » constituent le second groupe d'espèces sur l'ensemble

de la période de suivi, mais en proportion bien plus élevée en passant à 32 %, Les Murins et le groupe Barbastelle/Oreillards comptent pour seulement pour 3 %. Enfin, aucun contact de Rhinolophes n'a été enregistré pour un total de 1 198 contacts.

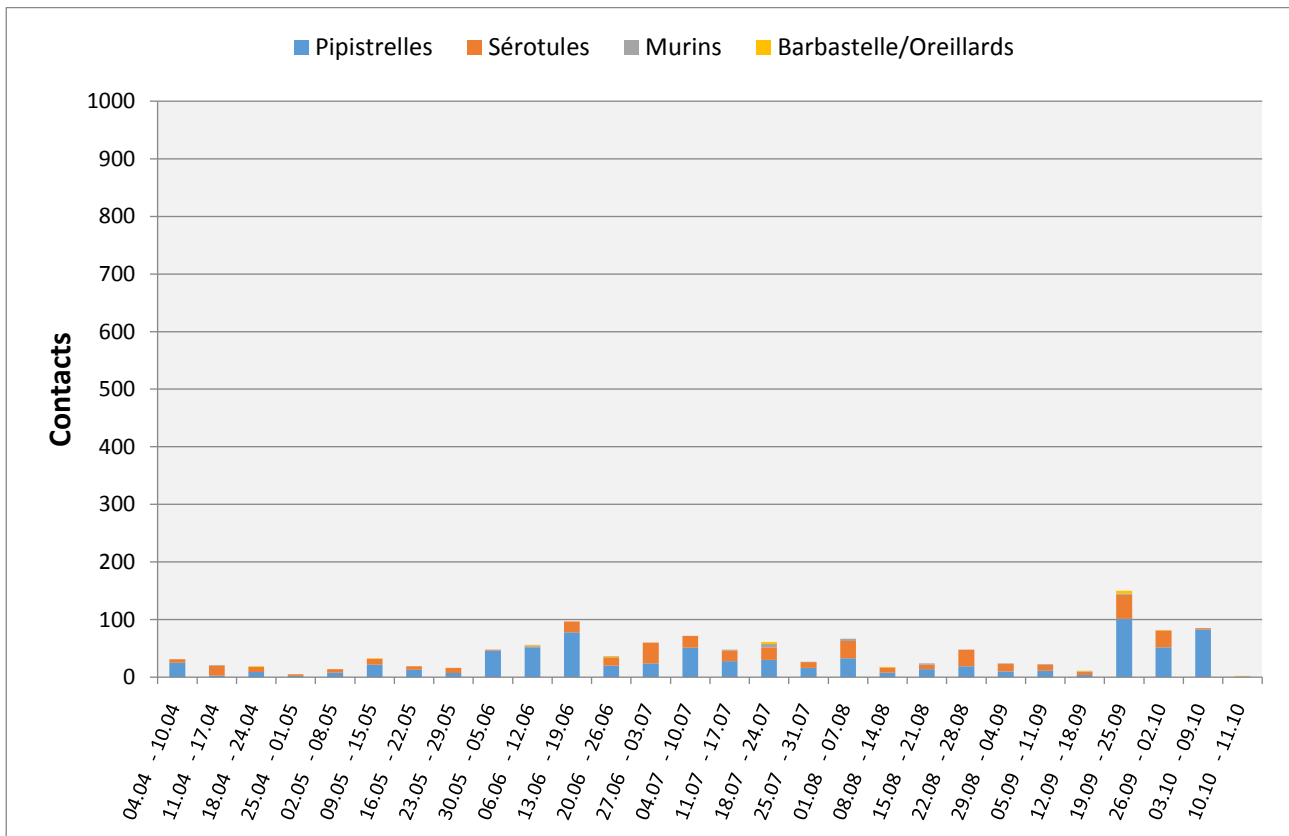


Figure 7 - Suivi canopée micro unidirectionnel avec CORNET du 4 avril au 10 octobre 2017 (n = 1 198)

Analyse des données météorologiques

Le jeu de contacts de chauves-souris peut alors être corrélé avec les données météorologiques (vitesses de vent et température) pour calculer les pourcentages d'activité en fonction de ces conditions, de la période de l'année (saison) et des heures de la nuit.

Interprétation, perspectives et discussion

L'hypothèse de départ était qu'à l'instar d'un micro posé sur un mât de grande hauteur, les activités chiroptérologiques enregistrées en canopée avec un micro équipé d'un cornet spécifique permettent, après corrélation aux données météorologiques, de proposer un algorithme de régulation adapté « *a priori* » au site.

Les résultats sont concluants. En effet, la comparaison des contacts enregistrés par un micro nu (omnidirectionnel) et par un autre rendu unidirectionnel et pointant vers le ciel depuis le même arbre d'avril à octobre 2017 montre que l'activité enregistrée par le second est bien moindre quantitativement (quatre fois moins) ; mais avec une proportion d'espèces de haut vol qui triple quasiment (12 % et 32 % de « Sérotules » sur l'ensemble de la période).

Ce type de dispositif peut ainsi remplacer le suivi sur mât de mesure de par sa plus grande facilité de mise en œuvre (impacts sur le milieu forestier moins importants, absence de procédure administrative, coût moindre...). Par contre, cela implique qu'il soit posé à une hauteur suffisante afin de s'affranchir des structures paysagères et de capter les espèces volant le plus près possible, voire à l'intérieur, de la zone de rotation des pales envisagée. Effectivement, le micro installé au-dessus de la canopée (25-30 m) capte moins haut l'activité des chauves-souris qu'un micro posé entre 50 et 100 m sur un mât de mesure. Cependant, l'utilisation d'un micro de haute qualité, orienté vers le ciel avec un cône de directionnalité (cornet), et d'un détecteur sensible permettent d'enregistrer des contacts de noctules émettant à plus de 100 m et de pipistrelles émettant jusqu'à 30 m (Barataud, 2015)², et donc volant jusqu'à environ 60 m de haut. En outre, il est plus aisé de multiplier ce type de dispositif sur un site étendu (plus de 1 000 ha) pour une meilleure compréhension de la répartition spatiale des flux.

Tout comme pour un bridage défini sur la base d'un suivi sur mât, l'algorithme obtenu via le suivi en canopée avec cornet devra être révisé à partir des suivis acoustiques réalisés après implantation du parc, depuis une ou plusieurs nacelles d'éoliennes dans le cadre des suivis environnementaux réglementaires. En effet, diverses études nord-américaines (Jameson & Willis, 2014) (Cryan *et al.*, 2014) et allemandes (Behr *et al.*, 2011) ont montré que l'implantation des éoliennes n'est pas neutre sur les cortèges et flux de chauves-souris (attraction ou aversion selon les espèces). Par conséquent, le suivi avant implantation du parc ne fournit pas une image totalement représentative de ce qui se passera après implantation. Ainsi, dans la mesure où la réglementation ICPE s'applique désormais aux parcs éoliens (depuis 2011-12), les suivis acoustiques depuis la nacelle sont voués à se multiplier. Dans ce contexte, le suivi sur mât de mesure de grande hauteur n'apparaît plus comme l'unique méthode valable à mettre en œuvre.

En Europe, un programme de recherche appliquée allemand nommé RENEBAT (2007-15)³ a permis de bancariser de nombreuses données issues de suivis depuis des nacelles avec des appareils calibrés comme le BATmode S de bioacoustic technology⁴ et le Batcorder de ecoObs⁵, et des recherches standardisées de cadavres au sol des mêmes éoliennes. A partir de ces résultats, on peut définir des algorithmes de bridage différenciés selon les modèles d'éoliennes, les périodes, les créneaux horaires... qui permettent de réduire au mieux la mortalité, tout en ne contraignant pas fortement la production d'électricité⁶.

Si le LIDAR tend à être davantage utilisé dans les années à venir, des variantes seront probablement à étudier pour les milieux ouverts : mât de moindre hauteur (20-30 mètres) qui soit facile à transporter et à installer, ou sur le toit d'un château d'eau suffisamment haut (20-30 de mètres) et proche du site d'étude. Bien entendu des contraintes d'accès, de sécurité et d'interférences avec d'éventuels autres appareils (antennes télécom...) restent à être levées.

Bibliographie

Barataud M., 2015. – Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze; MNHN, Paris, 344 p.

² Plusieurs observations personnelles croisant les contacts enregistrés avec des micros SMM-U1 (gain +12 dB) posés à 3 m et à 60 m sur un mât de mesure ont montré que ces distances sont plus grandes de l'ordre de 50 % pour des espèces ayant une intensité d'émission moyenne à forte comme le Grand murin et les Pipistrelles (en milieu ouvert : 30 m au lieu de 20 m ; 40 m au lieu de 25 m).

³ Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen

⁴ <http://www.bioacoustictechnology.de>

⁵ <http://www.ecoobs.com/cnt-batcorder.html>

⁶ <http://www.windbat.techfak.fau.de>

- Behr O., Brinkmann R. & Korner-Nievergelt F., 2011. – Akustische Erfassung des Fledermaus-aktivität an Windenergieanlagen. Dans : Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Göttingen : Umwelt und Raum Bd, p. 40-115.
- Cryan P. M., Gorresen P. M., Hein C. D., Schirmacher M. R., Diehl R. H., Huso M. M., Hayman D. T. S., Fricker P. D., Bonaccorso F. J., Johnson D. H., Heist K. & Dalton D. C., 2014. – Behavior of bats at wind turbines. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111 (42) : 15126-15131 doi : 10.1073/pnas.1406672111.
- Jameson J. W. & Willis C. K. R., 2014. – Activity of tree bats at anthropogenic tall structures: implications for mortality of bats at wind turbines. Animal Behaviour, 97 : 145-152, doi : 10.1016/j.anbehav.2014.09.003.

SafeWind Chiro - Evaluation de l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes par vidéo détection

Henri-Pierre ROCHE¹, Fabien VALLES¹, Emile GOUTORBE²

En partenariat avec ENGIE Green

¹ Biodiv-Wind SAS. hp.roche@biodiv-wind.com

² AgroParisTech

Télécharger le diaporama 

Résumé

Le comportement des chiroptères à proximité des éoliennes suscite de nombreuses interrogations et les facteurs expliquant l'attraction qu'exercent ces installations restent méconnus. En réaction aux mortalités conséquentes parfois observées, les autorités imposent des modalités d'asservissement se basant sur des modèles statistiques déterministes dont la robustesse a déjà été remise en question.

Dans le cadre du programme Initiative PME Biodiversité animé par l'ADEME et financé par les Investissements d'Avenir, Biodiv-Wind, en partenariat avec ENGIE Green, a couplé sa solution de détection automatisée SafeWind©, initialement destinée aux oiseaux diurnes, à des caméras infrarouges disposées sur le mât d'une éolienne de 2 MW située en Mayenne et concernée par ces arrêts préventifs.

Sur une période d'échantillonnage couvrant en continu le mois d'octobre 2016, les données récoltées mettent notamment en évidence que la durée totale d'arrêt préventif représentait 13,4 % de la durée de production alors que le temps total de détection de chiroptères concernait seulement 0,83 % de cette dernière durée. De plus, trois nuits concentraient à elles seules 68 % du temps total de présence des chiroptères et une seule de ces nuits en concentrait 40 %.

Ces pics exceptionnels d'activité apparaissent coïncider avec des épisodes courts mais intenses d'écoulements d'eau à l'extérieur de l'éolienne durant des nuits sans pluie. Nous émettons dès lors l'hypothèse que les phénomènes de condensation d'eau dans et sur les éoliennes peuvent jouer un rôle significatif sur l'activité des chiroptères. L'étude est toujours en cours et permettra une analyse des données sur un cycle annuel.

Abstract

Behaviors of bats in close vicinity of wind turbines raise questions and reasons explaining the activity of bats around turbines remain largely unclear. On an over hand, heavy mortality of bats on wind turbines has become a major concern for authorities and may lead operators to stop turbines in case of high collision risk according to predictive model. However, the reliability of such models is not easy to asses.

Within the framework of the Initiative PME Biodiversité program leads by ADEME and funded with the Investissements d'Avenir, Biodiv-Wind, in close partnership with ENGIE Green, has extended his SafeWind© system, primarily developed to address diurnal birds automated detection, to nocturnal detection using IR cameras. Thereafter, a 2 MW turbine located in Mayenne (western France) and facing preventive shutdowns for bats had been equipped with such set of cameras and detection system during autumn 2016.

The experimentation is still currently running, but analysed data collected during October 2016 already show that the predictive model overestimates largely bats activity. More precisely, preventive shutdowns cut 13.4 % of potential production period though bat activity duration only reach 0.83 % of the same potential production period. Moreover, only 3 nights concentrate 68 % of bat presence around the turbine and one night concentrates 40 % of the bat activity detected during the entire month.

These bat activity peaks seems to correspond with short but intense water flows coming from the blades and the hub of the turbine though it was not raining at such moments. Our hypothesis is that complex phenomenon of condensation within and onto the surface of the turbine structure may play an important role in explaining bats gatherings around wind turbines. The experimentation continues and will allow analysis along an entire biological cycle.

Motivation

Biodiv-Wind SAS a développé SafeWind, un dispositif de vidéo détection en temps réel des oiseaux diurnes approchant les éoliennes afin de réduire le risque de collision. En 2015, Biodiv-Wind en partenariat avec ENGIE Green, a été sélectionnée dans le cadre du programme Initiatives PME Biodiversité, porté par l'ADEME et financé par les Investissements d'Avenir, pour étendre le dispositif SafeWind aux chiroptères. L'ambition du programme était, dans un contexte de multiplication des obligations administratives d'asservissement des éoliennes à des fins de protection des chauves-souris, de mieux comprendre et évaluer l'activité de ces espèces en utilisant des technologies plus précises que la détection acoustique. In fine, le projet visait à évaluer l'efficacité des modèles prévisionnels d'activité sur lesquels s'appuie les obligations d'asservissement et, si possible de les optimiser afin de mieux protéger les chauves-souris tout en optimisant le productible électrique des éoliennes.

Après des tests de calibration des équipements et d'optimisation des logiciels et algorithmes de détection, une éolienne de 2 MW localisée dans le département de la Mayenne (53) et exploitée par ENGIE Green a été équipée en octobre 2016 d'un ensemble de caméras infrarouges couplé à un dispositif d'enregistrement et de détection. Cette éolienne fait l'objet d'obligation d'asservissements préventifs afin de réduire le risque de mortalité de chiroptères lorsque différentes conditions sont réunies : période de l'année, période de la nuit,

vitesse de vent et température. A l'automne 2016, en parallèle de cette expérimentation, ENGIE Green a missionné un bureau d'étude pour la réalisation d'un contrôle au sol de la mortalité.

A ce jour, l'expérimentation est toujours en cours mais le volume de données généré par le dispositif SafeWind Chiro© est d'ores et déjà très important et seule une partie des analyses a pu être réalisée. Néanmoins, les premiers résultats présentés ici viennent apporter un éclairage particulièrement nouveau sur les hypothèses pouvant expliquer l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes et, partant, sur les meilleures pratiques à mettre en œuvre afin de concilier la conservation des chiroptères et le développement éolien.

Méthodologie

Données récoltées par le dispositif

Le dispositif consiste en un ensemble de 4 caméras installées sur le mât de l'éolienne afin de couvrir sur 360° l'intégralité de l'aire de rotation des pales et ses alentours immédiats. Le dispositif a généré 3 types de données :

1. Des vidéos brutes, enregistrées en continu 24/24h

Elles sont nécessaires pour vérifier la performance du dispositif et la pertinence des données récoltées : recherche de faux positifs, recherche de faux négatifs, étalonnage du logiciel de détection.



Figure 1 : Capture d'écran d'une vidéo brute où sont visibles deux chiroptères.

2. Des vidéos analysées par SafeWind où ne sont visibles que les passages correspondant aux détections de chiroptères. Sur ces vidéos, les

chiroptères détectés sont entourés par des cercles.



Figure 2 : Capture d’écran d’une vidéo analysée par SafeWind. Deux chiroptères étaient détectés à cet instant.

3. Des tableaux synthétisant la date, l’heure, le temps de détection et le nombre de détections, par tranche de 10 minutes.

Standard	Standard	Standard	Standard
1 CAM1		NbDetect	Time
2 2016/10/06_20:20:00.000	Total_10:	6	4.666667
3 2016/10/06_20:30:00.000	Total_10:	0	0.000000
4 2016/10/06_20:40:00.000	Total_10:	0	0.000000
5 2016/10/06_20:50:00.000	Total_10:	0	0.000000
6 2016/10/06_21:00:00.000	Total_10:	0	0.000000
7 2016/10/06_21:10:00.000	Total_10:	0	0.000000
8 2016/10/06_21:20:00.000	Total_10:	0	0.000000
9 2016/10/06_21:30:00.000	Total_10:	0	0.000000

Figure 3 : Extrait brut des données fournies par SafeWind

Les résultats de détection ont ensuite été croisés avec les données environnementales ou de fonctionnement de l’éolienne fournies par ENGIE Green. Ces données sont les suivantes :

- vitesse de vent (km/h) à hauteur de turbine
- vitesse de rotation de l’éolienne (rpm)
- température extérieure (°C)

Couplage des données et analyse préliminaire

Afin de s’assurer que les cibles détectées sont bien des chiroptères et non pas, par exemple, des insectes ou des oiseaux, nous avons visionné les vidéos analysées et supprimé manuellement les détections correspondant aux faux-positifs. Nous avons également comptabilisé ces faux positifs, ce qui nous a permis d’évaluer le taux d’erreur et de l’améliorer en affinant les paramètres de sensibilité du logiciel (cf. « Résultats »).

Une fois les faux-positifs éliminés, les données générées par le logiciel et celles fournies par ENGIE Green ont été assemblées dans un même tableau Excel. Les données sont alors prêtes à être analysées.

Dates / Heures	Vitesse de vent	Vitesse rotation du rotor	Température	Durée CAM1	Durée CAM2	Durée CAM3	Durée CAM4	Durée d'intrusion (sec)
2016-10-06 19:00:00.000	8,75 m/s	11,00 rpm	15,17 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 19:10:00.000	7,93 m/s	10,38 rpm	14,76 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 19:20:00.000	7,91 m/s	13,58 rpm	14,19 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 19:30:00.000	7,71 m/s	12,89 rpm	13,65 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 19:40:00.000	8,50 m/s	11,86 rpm	13,17 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 19:50:00.000	7,38 m/s	13,10 rpm	12,91 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 20:00:00.000	7,40 m/s	12,90 rpm	12,72 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 20:10:00.000	7,96 m/s	13,45 rpm	12,49 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 20:20:00.000	8,89 m/s	14,27 rpm	12,28 °C	4,666667	0	0	0	4,666667
2016-10-06 20:30:00.000	8,58 m/s	13,99 rpm	12,06 °C	0	0	0	0	0
2016-10-06 20:40:00.000	8,87 m/s	14,05 rpm	11,84 °C	0	0	0	0	0

Figure 4 : Données SafeWind Chiro traitées puis couplées aux données fournies par ENGIE Green

Résumé des résultats

Evaluation de la performance de détection

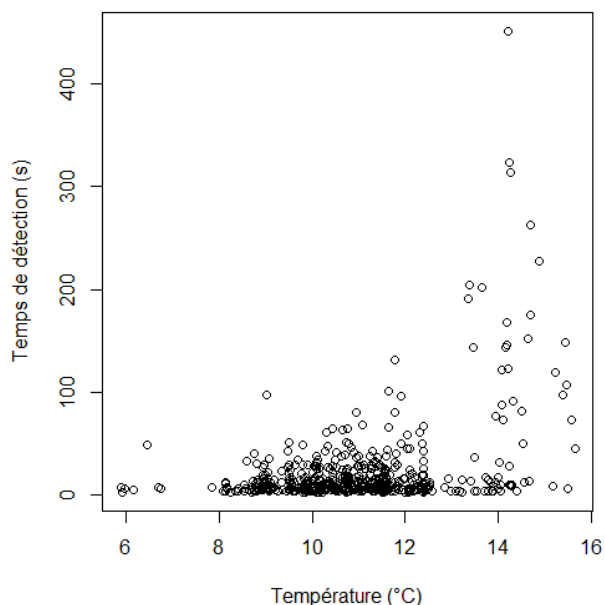
Lors du premier visionnage des vidéos analysées, un taux de faux-positifs de 6 % a été relevé. Des modifications de l'algorithme ont permis d'améliorer très significativement ce ratio, sans que l'on observe une baisse de sensibilité du logiciel.

Désormais, les taux de faux positifs sont stabilisés autour d'une valeur de 1 %, ce qui nous prouve que SafeWind peut maintenant repérer très spécifiquement la présence de chiroptères à l'image.

Analyse de l'activité des chiroptères

Sur la période échantillonnée en octobre 2016, les données récoltées par SafeWind Chiro ont pu être croisées avec les données environnementales.

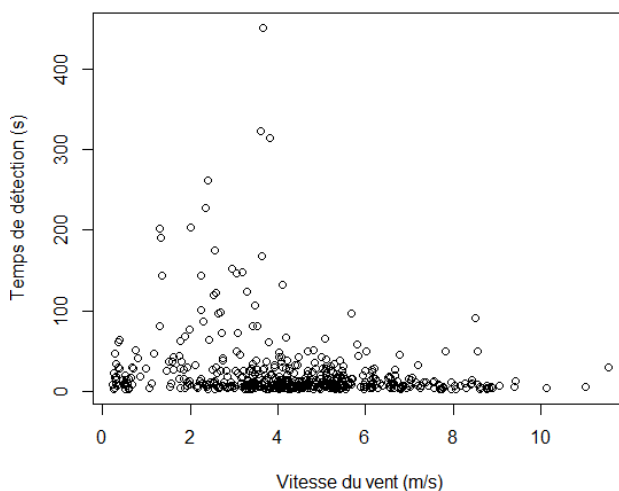
Temps de détection en fonction de la température



Les données récoltées montrent une corrélation négative entre le temps de détection des chiroptères et la vitesse du vent ($r^2 = -0,11$; p-value = $3,08e-10$). Ainsi, plus le vent est fort, moins les chauves-souris sont actives sur l'éolienne. A l'inverse, Les données récoltées montrent une corrélation légèrement positive entre le temps de détection et la température ($r^2 = 0,07$; p-value = $6,0e-05$). Ainsi, plus la température extérieure est élevée, plus les chauves-souris sont actives. Ces

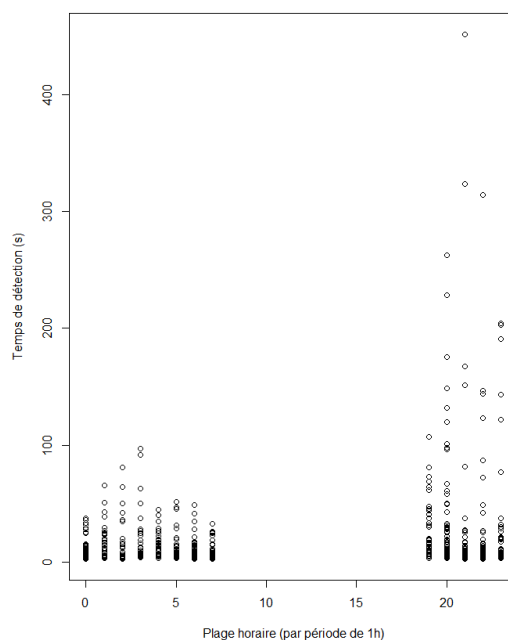
résultats sont cohérents avec la littérature disponible (Erickson *et al.*, 2002).

Temps de détection en fonction du vent



Concernant la vitesse de vent, on observe une nette diminution du temps de présence des chiroptères entre 4 et 5 m/s. Concernant les températures, 93 % du temps de présence des chiroptères correspond à des températures supérieures ou égales à 10 °C.

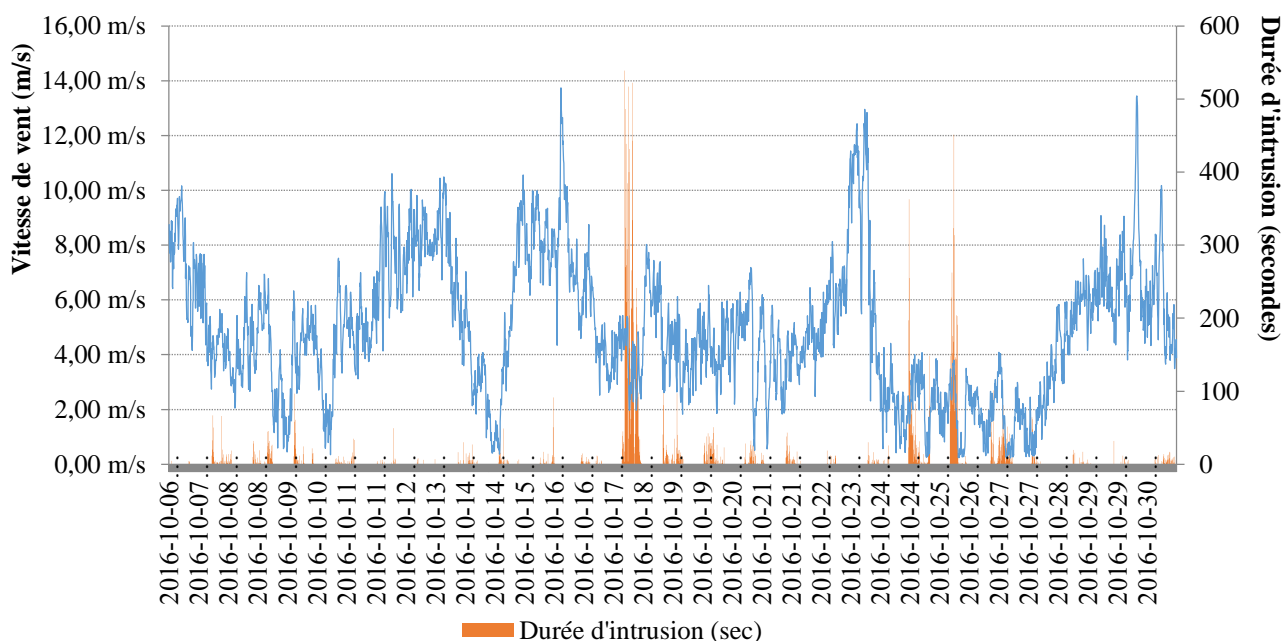
Temps de détection en fonction de la plage horaire



Concernant la durée d'activité nocturne (cf. graphe ci-contre), on observe une présence continue des chiroptères avec un pic marqué en début de nuit et une activité constante mais plus réduite de minuit au lever du soleil.

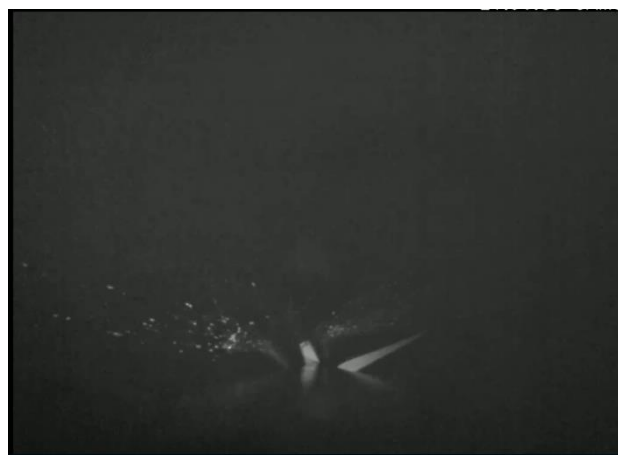
L'expérimentation a par ailleurs montré une très forte variabilité inter journalière de l'activité des chiroptères. Ainsi, trois nuits concentrent à elles seules 68 % de la durée de présence des animaux. Or, ces pics ne semblent pas corrélés aux variables Vitesse de vent et Température (cf. ci-dessous).

Répartition de la présence des chiroptères en fonction de la vitesse de vent en octobre 2016



En revanche, il est apparu après analyse des enregistrements qu'au moins deux de ces pics d'activité d'une intensité remarquable correspondent à des nuits où nous avons observé des écoulements d'eau importants sur l'éolienne, d'une durée de quelques dizaines de minutes. Ces écoulements semblaient provenir de l'extrémité des pales et/ou de la nacelle et arrosaient le mât de l'éolienne alors qu'il ne pleuvait pas

pendant les nuits considérées. Ces phénomènes surprenants ne semblent jamais avoir été décrits jusqu'à présent. Qui plus est, lors de ces nuits, les intrusions pouvaient concerner une dizaine d'individus simultanément. Un calcul de pondération « durée de présence x nombre d'individus » est actuellement en cours et viendra encore préciser l'exposition au risque de collision lors de ces épisodes.



Captures d'écran d'une vidéo SafeWind montrant des ruissellements provenant d'une pale et de la turbine d'une éolienne et arrosant le mât

Evaluation de la pertinence du système de bridage actuel

La régulation imposée sur l'éolienne concernée est activée lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- Période de l'année : de la mi-août à la fin octobre
- Période de la journée : dans les 3 h 30 suivant le coucher du soleil ou dans les 3 h 30 précédant le lever du soleil
- Température : supérieure à 10 °C
- Vitesse de vent : inférieure à 5 m/s

Au cours de la période échantillonnée, la durée totale d'arrêt préventif représentait 10,3 % du temps total de cette période (jours et nuits confondus) alors que la durée totale de détection de chiroptères concernait seulement 1,2 % de cette même période. Cependant, l'éolienne n'est en rotation avec production électrique qu'à partir de 3,5 m/s. En deçà de cette dernière vitesse, l'absence de rotation ne crée pas de risque de collision. Dès lors, la période de production réelle, c'est-à-dire au-dessus de 3,5 m/s de vent, a représenté 77 % de la période totale tandis que la régulation a impacté 13,4 % de la période de production. Quant à la durée présence des chiroptères au-dessus de 3,5 m/s de vent, elle n'a représenté que 0,83 % de la période de production.

Ces résultats montrent de manière générale une faible performance des modèles de régulation avec une surestimation de la probabilité de présence des chiroptères et un impact significatif sur la période de production sans pour autant réussir à couvrir 100 % de l'activité des chiroptères.

Des études similaires menées notamment par l'Office Fédéral Suisse de l'Energie en 2015 parvenaient à des conclusions similaires mais pas dans de telles proportions (Hanagasioglu *et al.*, 2015).

Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

L'expérimentation du dispositif SafeWind Chiro engagée par Biodiv-Wind en partenariat avec ENGIE Green et grâce au soutien de l'ADEME et du Commissariat général aux Investissements d'Avenir est une première dans le monde en ce qu'elle consiste à suivre par vidéo détection en continu et sur des périodes longues l'activité des chiroptères à proximité d'une éolienne. Cette expérimentation démontre de plus que la technologie vidéo apparaît plus efficace que les technologies de détection acoustique dès lors qu'elle permet notamment d'évaluer précisément d'une part le temps de présence des chiroptères dans les zones à

risque de collision et d'autre part le nombre d'individus concernés.

Le jeu de données acquis par le dispositif est très important et nécessite un effort de traitement conséquent. Ce traitement est en cours et seuls les résultats d'une période échantillon correspondant au mois d'octobre 2016 sont abordés ici.

Néanmoins, ce premier jeu de données apporte des renseignements nouveaux sur les facteurs déterminants l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes et dès lors sur les meilleures pratiques à mettre en œuvre pour réduire, si ce n'est annuler, le risque de collision.

Concernant l'efficacité de la régulation mise en œuvre sur l'éolienne, il apparaît que celle-là est factuellement disproportionnée vis-à-vis de l'activité réelle des chiroptères. En effet, la durée totale d'arrêt préventif représentait 13,4 % de période de production alors que la durée totale de détection de chiroptères représentait seulement 0,83 % de cette même période. Cependant, 23 % du temps de présence des chiroptères avait lieu alors que la turbine était en production, les animaux restant donc exposés à un risque de collision. Pour autant, aucune mortalité n'a été constatée ni par les recherches menées au sol par un bureau d'étude tiers ni par les observations vidéos. En définitive, les modalités de régulation par les modèles prévisionnistes d'activité manquent clairement de robustesse en ce qu'elles imposent des arrêts plus de dix fois supérieurs à la présence réelle des chiroptères sans pour autant parvenir à couvrir l'intégralité du risque.

Enfin, et c'est là probablement une découverte majeure de l'expérimentation qui n'a été rendue possible que grâce à la vidéo détection, nous avons pu observer des phénomènes jamais décrits jusqu'à présent et qui apparaissent conditionner de manière très significative l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes. Ces phénomènes sont des ruissellements intenses d'eau, pendant des nuits sans pluie mais *a priori* à forte hygrométrie, provenant de la turbine et de l'extrémité des pales et ils ont pu être associés à plus de la moitié du temps de présence des chiroptères pendant la période échantillonnée. L'origine de ces ruissellements reste encore peu claire mais une enquête qualitative auprès de plusieurs exploitants concernant des turbines provenant de différents constructeurs semble montrer que les phénomènes de condensation d'eau dans les turbines et les pales sont très importants par leur ampleur et leur régularité. Ils ont d'ailleurs justifié l'existence systématique de drains à l'extrémité distale des pales d'éoliennes, drains qui peuvent de plus se boucher et se déboucher de manière imprévisible. A ce phénomène de condensation interne vient probablement s'ajouter un phénomène de condensation externe directement sur les pales et sur le mât. Ces phénomènes sont complexes et leur compréhension dépasse le cadre de la présente étude.

Néanmoins, nos observations viennent ainsi soutenir plusieurs études américaines menées depuis 2013 mettant en avant un lien complexe entre la présence de condensation sur les mâts et des comportements filmés de chiroptères comparables à ceux observés lorsque ceux-ci s'abreuvent sur les plans d'eau (Bienz *et al.*, 2015).

Nous soutenons dès lors l'hypothèse que, parmi les facteurs permettant d'expliquer les phénomènes d'attraction et même d'agrégation des chiroptères sur les éoliennes, les ruissellements d'eau induits par la condensation à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes jouent un rôle probablement important soit parce qu'ils laissent à penser aux chauves-souris qu'elles peuvent s'y abreuver, soit parce qu'elles s'y abreuvent réellement. Cette hypothèse n'est pas sans fondement dans un contexte de raréfaction importante des zones humides dans les paysages français avec comme conséquence un stress hydrique probablement régulier pour les populations de chiroptères. Pour autant, cette hypothèse reste contradictoire avec l'hétérogénéité marquée des données de mortalité en fonction des espèces de chiroptères alors qu'*a priori* toutes les espèces de chauves-souris sont soumises aux mêmes besoins hydriques.

L'expérimentation se poursuit actuellement et permettra de vérifier la reproduction de la corrélation entre ruissellements et agrégation des chiroptères. Elle permettra de même de tester une amélioration de l'efficacité de la régulation préventive par une analyse plus fine des paramètres environnementaux associés à la présence des chiroptères. Elle permettra enfin de comparer les performances en terme de protection de chauves-souris et de préservation du productible électrique éolien entre une régulation par modèle prédictif et une régulation en temps réel pilotée par le dispositif SafeWind Chiro.

Parallèlement, le projet a permis d'acquérir des données sur des comportements nocturnes des passereaux à proximité des éoliennes. Il apparaît ainsi que les passereaux observés n'entraient pas en collision directe avec l'éolienne mais avaient des comportements de papillonnements autour de mât. Ces comportements étaient assez proches de ceux observés pour les chiroptères bien que moins fréquents et d'une durée moyenne plus courte.

Bibliographie

- Erickson JL and West SD (2002). The Influence of Regional Climate and Nightly Weather Conditions on Activity Patterns of Insectivorous Bats, *Acta Chiropterologica*, DOI : 10.3161/001.004.0103
- Hanagasioglu *et al.* (2015). Investigation of the effectiveness of bat and bird detection of the DTBat and DTBird systems at Calandawind turbine, SFOE

Bienz C, Bennett V, Hale A (2015). Surface texture discrimination in bats: implications for reducing mortality at wind turbines, 45th Annual North American Symposium for Bat Research, October 28 – November 1, in Monterey, California. [Chrissy Bienz, graduate student (environmental science), Tory Bennett, assistant professor School of Geology, Energy & the Environment, Amanda Hale, associate professor biology]

Remerciements

Nous tenons à remercier les acteurs qui nous ont fait confiance et nous ont soutenu dans ce travail : le Commissariat général aux Investissements d'Avenir, l'ADEME et Engie Green.

Maîtrise de la mortalité des chiroptères - Analyse comparée de la mise en place de mesures de régulation de trois parcs éoliens

Yannick BEUCHER¹, Christophe RICHOU², Frédéric ALBESPY¹

¹ Bureau d'études Exen. ybeucher.exen@gmail.com

² EDF Énergies Nouvelles. christophe.richou@edf-en.com

Télécharger le diaporama



Résumé

Exploitant un grand nombre de parcs éoliens, EDF Énergies Nouvelles a pu être confronté à certains cas de surmortalités de chauves-souris ou de patterns de mortalités difficilement compréhensibles au regard du site, de la configuration des milieux ou des enjeux chiroptérologiques identifiés lors de l'état initial. Pour comprendre les raisons de ces problématiques particulières et chercher des solutions, le bureau d'étude EXEN a mené des études fines basées sur une analyse croisée...

- de l'activité des chauves-souris enregistrée depuis les nacelles d'éoliennes (en continu et sans échantillonnage),
- des facteurs environnementaux (conditions climatiques notamment),
- et des mortalités constatées sous les éoliennes.

Ces résultats croisés permettent d'identifier une typologie des formes de mortalités et les conditions de risques de mortalités sur chacun des sites. C'est alors sur cette compréhension des types et conditions de risques que des mesures de régulation des éoliennes sont dimensionnées de façon proportionnée pour chaque site, puis testées après mise en œuvre.

La présentation s'est attachée à comparer cette démarche pour trois parcs éoliens aux contextes et problématiques très différents, (Lou Paou (48), Plaine de l'Orbieu (11) et Conilhac-Corbières (11)), mais dont les enjeux liés à la mortalité des chauves-souris étaient tous forts ou difficilement interprétables avant régulation. Les comparaisons traitent alors de la démarche de dimensionnement, des contraintes de mise en œuvre, de l'efficacité de la régulation et de ses effets sur la production d'électricité. Elles montrent que, dans les trois cas, les résultats sont très significatifs tant sur la réduction de la mortalité initiale brute que sur la réduction des mortalités estimées.

Summary

Operating a large number of wind farms, EDF Énergies Nouvelles was able to identify certain cases of abnormally high bats death rates or with difficulty understandable with regards to the site, to the habitats configuration or to the initial bats stakes. To understand the reasons of these particular problems and look for solutions, EXEN led fine studies based on a crossed analysis between:

- the activity of bats from the nacelle (continuously and without sampling),
- environmental factors (weather conditions in particular),
- and noticed fatalities under wind farm.

It allowed to obtain a typology of kinds of risks and conditions of risks of fatalities for every site. It is then on this understanding that measures of wind turbines cut in speed were then dimensioned for every site and tested after implementation.

Our presentation suggests comparing this approach for three wind farms with very different contexts (Lou Paou (48), Plaine de l'Orbieu (11) and Conilhac-Corbières (11)), but which bats fatalities stakes were all strong or explainable with difficulty before the cut in speed. Then, the comparison refers to the approach of sizing, to constraints of implementation, to the cut in speed efficiency and to its effects on the energy production. The results show the diversity of bats stakes between every site, the diversity of kind of fatality risks, and the diversity of influencing factors. But they succeed in the 3 cases on a significant reduction of the bats fatalities.

Motivation

La présentation vise à faire partager un retour d'expériences conséquent sur la démarche de maîtrise du risque de mortalité des chauves-souris générée par les éoliennes. Il nous semblait intéressant de proposer un focus sur 3 parcs éoliens aux situations et contextes différents pour lesquels les mortalités des chiroptères interrogeaient. En effet, soit les mortalités constatées lors des premiers suivis de mortalité étaient importantes et supérieures aux valeurs moyennes généralement relevées sous d'autres parcs éoliens de l'échelle régionale ou nationale, soit elles étaient de niveau moyen, mais très hétérogènes d'une année sur l'autre et donc difficilement compréhensibles au vu du site et des analyses de l'étude d'impact.

Il s'agissait d'apporter une réponse sur les capacités de décliner le dimensionnement de mesures de régulation des éoliennes au profit des chauves-souris au cas par cas et pour des situations à risques.



La présentation a cherché aussi à comparer de façon pragmatique aussi bien l'analyse des résultats (activité des chauves-souris, facteurs d'influences, mortalités constatées), que la réflexion qui a permis de choisir un pattern de régulation proportionné, ou encore les contraintes techniques de mise en œuvre ou de validation de l'efficacité des mesures.

Figure 1 : Mortalités brutes de chauves-souris relevées avant régulation sous les 3 parcs éoliens sélectionnés

	Plaine d'Orbieu (11)	Conilhac (11)	Lou Paou (48)
Nb d'éoliennes	4	5	7
Mortalité brute de chauves-souris (avant régulation)	Très importante en 2015 (23)	Très importante en 2015 (36)	Très variable (6 en 2008, 20 en 2009, 0 en 2010)

Méthodologie

Dans les 3 cas, la recherche de maîtrise des risques de mortalité des chiroptères repose sur une analyse des différents types des risques et des conditions de risques de mortalités via une vision croisée :

- des données d'activité des chauves-souris à hauteur de rotor (en continu, sans échantillonnage),
- des facteurs environnementaux (conditions climatiques notamment, mais aussi lié au contexte biotopographique),
- et des mortalités constatées sous les éoliennes.

Concrètement, la typologie des risques et des conditions de risques s'interprète pour chaque parc éolien sur la base d'une vision synthétique simple proposée par EXEN via le schéma de la Figure 2 suivante.

Ce schéma distingue ainsi 4 types de risques de mortalités selon les groupes d'espèces et leurs différents comportements de vols. Il propose aussi une déclinaison des risques selon la situation du parc éolien vis-à-vis de son contexte environnant (forêt, lisières, milieux ouverts), selon les caractéristiques des éoliennes (distances aux lisières) et d'éventuels autres facteurs d'influences (effets d'aérodynamisme, attractivités...).

C'est donc finalement l'interprétation des types et des conditions de risques de chacun des parcs éoliens, au regard des données de suivi interprétées via le prisme de ce schéma explicatif, qui permet d'identifier le pattern des risques et donc celui de la mesure de régulation proportionnée (ou prédictive) la plus appropriée.

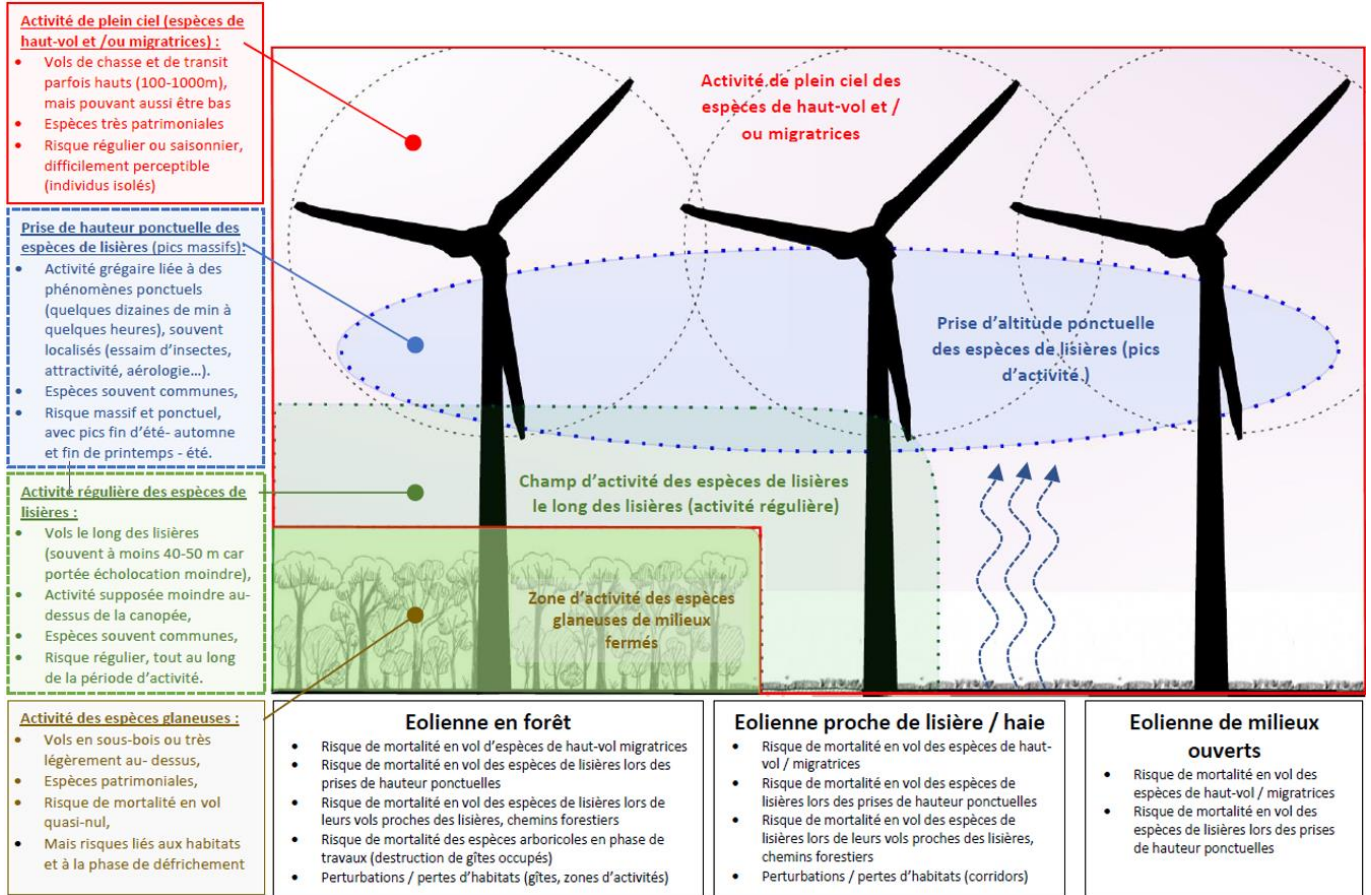
Les mesures de régulation sont ainsi été définies après concertation entre le bureau d'étude et l'exploitant, sur cette base d'analyse, puis testées *in situ*.

Les tests d'efficacité de la mesure sont alors à nouveau basés sur une analyse croisée entre les résultats

- d'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle (en continu et sans échantillonnage sur l'ensemble de la période d'activité),
- de mortalités brutes et estimées de chauves-souris relevées sous les éoliennes sur la base de protocoles de suivi conséquents (plus de 40 visites sur l'ensemble de la période d'activité, et tests pour calculs de coefficients correcteurs),
- de données climatiques et environnementales,

Ils prennent aussi en compte la chronologie des régulations mises en œuvre sur le parc éolien pour la campagne testée (fournie par l'exploitant en fin de suivi).

Figure 2 : Schéma des principaux types de risques éoliens sur les chauves-souris pour des éoliennes non régulées



Résumé des résultats

La comparaison des trois parcs éoliens traduit la diversité des situations...

Des contextes biogéographiques très différents

Parc de Conilhac (11)

- Relief isolé (plateau) au sein d'une plaine viticole,
- Garrigue ouverte à semi-ouverte (pins),
- Contexte comparable entre les éoliennes,
- 4 éoliennes E70, garde au sol 50 m.

Parc de Plaine d'Orbieu (11) :

- Plaine viticole
- Contexte ouvert (vignes, vergers, landes),
- Cours d'eau proche (Orbieu et ruisseaux)
- 5 éoliennes basses E70, garde de 35 m.

Parc de Lou Paou (48) :

- Relief de moyenne montagne (> 1 200 m)
- Paysage fermé, plantation de résineux,
- Ouverture variable autour des éoliennes,
- 7 éoliennes E70, garde au sol 50 m.

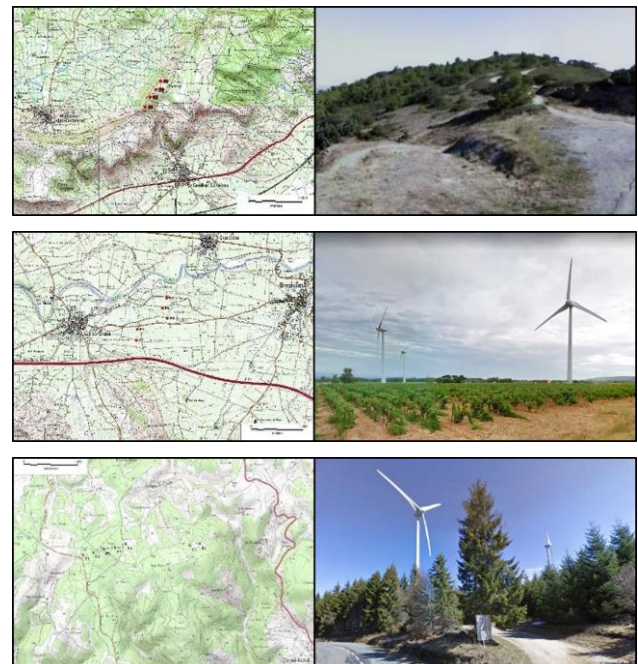


Figure 3 : Cartes et clichés des sites d'étude :
1. Conilhac, 2. Plaine d'Orbieu, 3. Lou Paou
(source EXEN)

Des types d'activité chiroptérologique et donc de risques divergents, vers des mesures de régulations différenciées

Parc de Conilhac (11)

- Des pics d'activité modérés à modérés à modérés à forts dès fin mai, mais surtout en période estivale (juin juillet),
- pour des fortes températures et conditions orageuses,
- principalement pour des pipistrelles, mais aussi d'autres espèces (N. Leisler, V. Savi).
- Une activité de milieu de nuit de façon générale (zone de chasse), mais des pics d'activité plutôt en début de nuit.
- Une activité qui chute pour les orientations de vents dominants.
- 80 % de l'activité cumulée organisée sous des vents de 5,5 m/s, aussi bien pour le groupe des espèces de lisières (pipistrelles) que celui des espèces de haut-vol (sérotales).

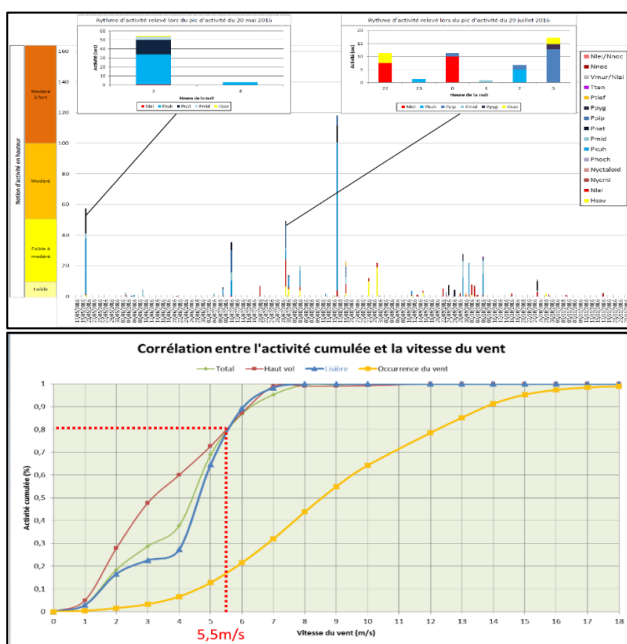


Figure 4 : Chronologies d'activité et corrélation avec la vitesse du vent pour le parc de Conilhac

Sur la base de ces éléments, le choix de la mesure de régulation a été retenu pour maîtriser prioritairement les risques liés aux pics d'activité des espèces de lisières, mais aussi aux espèces migratrices et de haut vol (N. Leisler, P. Nathusius).

Le pattern de régulation ainsi retenu et testé fut le suivant :

- Vitesse de vent : < 5,5 m/s
- Températures : > 10°C
- Période : 1er juin au 31 octobre
- Plages horaires : à partir du coucher de soleil puis pendant 5 h
- Eoliennes : éoliennes E2, E3, E4

Parc de Plaine d'Orbieu (11)

- Des pics d'activité modérés à modérés à modérés entre juin et octobre,
- surtout pour des espèces de lisières avant août (pipistrelle + Vespère de Savii),
- une diversité d'espèces plus marquée par la suite (août-octobre), avec des espèces de haut-vol et migratrices (mi-août à mi-octobre),
- Une forte cohérence interannuelle.
- Une activité de 1^{ère} partie de nuit, même pour les pics,
- Une influence de l'orientation du vent globalement par vents d'est, mais des pics par vents faibles du nord,
- 80 % de l'activité cumulée organisée sous des vents de 4 à 4,8 m/s, pour l'ensemble des espèces, et de façon cohérente pour 2 années de suivis successives,

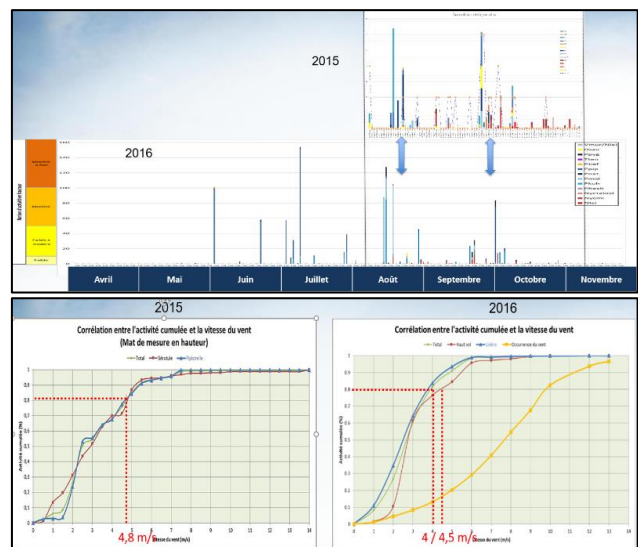


Figure 5 : Chronologies d'activité interannuelles et évolution de la corrélation avec la vitesse du vent pour le parc de Plaine d'Orbieu

Sur la base de ces éléments, le choix de la mesure de régulation a été retenu pour maîtriser prioritairement les risques liés aux pics d'activité des espèces de lisières (pipistrelles) et du Vespère de Savii, mais aussi aux espèces migratrices et de haut vol (N. Leisler, P. Nathusius).

Le pattern de régulation ainsi retenu et testé fut le suivant :

- Vitesse de vent : < 5 m/s
- Températures : > 10°C
- Période : 20 juin au 31 octobre
- Plages horaires : 1 h après le coucher de soleil puis pendant 5 h
- Eoliennes : P3, P4, P5

Parc de Lou Paou (48) :

- Forte différence interannuelle des espèces, des saisonnalités, du pattern d'activité et donc des risques.
- Site très fortement exposé aux phénomènes de pics ponctuels, exploité de façon opportuniste par des populations probablement éloignées,
- Hypothèse : essaimages d'insectes lors de conditions favorables (fin de printemps/été, et fin d'été/début automne), drainés par vents faibles le long des combes vers la hauteur.
- Forte évolution interannuelle des conditions de risques (influence du vent, vitesse, orientation, des espèces exposées...)

Sur la base de ces éléments, le choix de la mesure de régulation a été retenu pour maîtriser prioritairement les risques liés aux pics d'activité interspécifiques et leur évolution interannuelle importante.

Le pattern de régulation ainsi retenu et testé fut le suivant :

- Vitesse de vent : < 6 m/s
- Températures : > 10°C
- Période : 1^{er} juillet au 31 octobre
- Plages horaires : 2 heures après le coucher du soleil, et 2 heures avant le lever de soleil
- Eoliennes : toutes

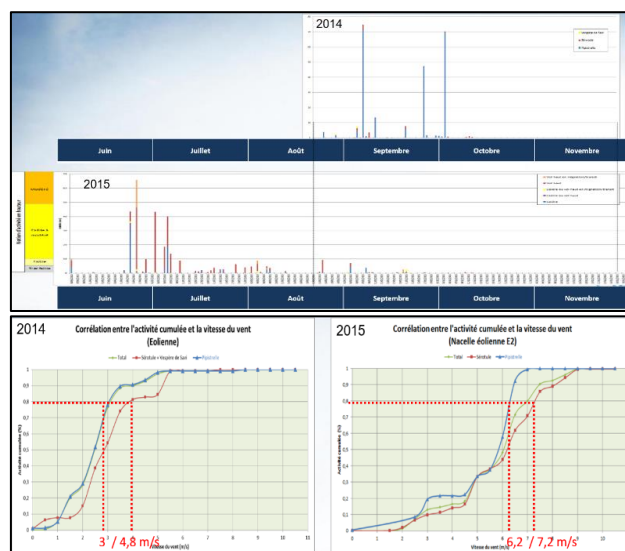


Figure 6 : Chronologies d'activité interannuelles et évolution de la corrélation avec la vitesse du vent pour le parc de Lou Paou

Des problématiques divergentes entre les parcs, mais une efficacité évidente

Suite au choix de pattern de régulation, et sa mise en œuvre sur les différents parcs, les tests réalisés aboutissent aux résultats synthétisés dans le tableau suivant. Ils témoignent, dans tous les cas, d'une réduction très significative des niveaux de mortalités comparés à la situation des parcs éoliens non régulés, et aboutissent à un taux de mortalité résiduel de l'ordre de 1 à 3 chauves-souris par éolienne et par an.

Site	Description	Mortalité brute (E2 E3 E4) sur la période de référence (= période régulée)	Tx de mortalité brute/éolienne	Réduction mortalité (%) brute	Mortalité estimée (Jones /Huso) =>	Tx de mortalité estimé/éolienne	Réduction mortalité estimée (%)	
Conilhac	Crête d'un petit plateau Garrigue semi-ouverte	Mortalité brute (E2 E3 E4) sur la période de référence (= période régulée)	Tx de mortalité brute/éolienne	Réduction mortalité (%) brute	Mortalité estimée (Jones /Huso) =>	Tx de mortalité estimé/éolienne	Réduction mortalité estimée (%)	
	2015 (année de référence)	16	5,33		57,6	19,2		
	2016	4	1,33	75,0	9,3	3,1	83,9	
Plaine d'Orbieu	Plaine viticole, landes, vergers Proximité de cours d'eau	Mortalité brute (P3 P4 P5) sur la période de référence (= période régulée)	Tx de mortalité brute/éolienne	Réduction mortalité (%) brute	Mortalité estimée (Jones /Huso)	Tx de mortalité estimé/éolienne	Réduction mortalité estimée (%)	
	2015 (année de référence)	28	9,33		180	60,0		
	2016	2	0,67	92,9	5,4	1,8	97,0	
Lou Paou	Moyenne montagne Forêt de résineux Evolution interannuelle du risque (pics)	Mortalité brute sur la période de référence (= période régulée)	Tx de mortalité brute/éolienne/période de suivi	Réduction mortalité (%) brute	Mortalité estimée (Jones /Huso)	Tx de mortalité estimé/éolienne/période de suivi	Réduction mortalité estimée (%)	
	Moyenne 2008-2010 (référence)	8,67	1,24		47	6,7		
	2014	1	0,14	88,5	7,3	1,0	84,5	
	2015	3	0,43	65,4	26	3,7	44,7	
	2016	2	0,29	76,9	7,22	1,0	84,6	

Figure 6 : Tableau de synthèse des résultats témoignant de l'efficacité des mesures de régulations mises en œuvre

Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

L'analyse comparative témoigne d'une efficacité évidente des mesures de régulation mises en œuvre pour maîtriser la mortalité des chauves-souris, malgré la diversité des parcs éoliens, de leur contexte respectif, des types de risques et des conditions qui y sont liées. Relativement simple à mettre en œuvre, elle est donc reproductible à grande échelle pour maîtriser significativement les mortalités de chiroptères dans la politique engagée de transition énergétique actuelle.

Cette démarche requiert toutefois au préalable de pouvoir croiser :

- Les données d'un suivi d'activité en continu et sans échantillonnage (temporel ou analytique) à hauteur de rotor, pour analyse fine des **pics d'activité** à distinguer de **l'activité régulière**, de l'évolution du cortège d'espèces et des phénologies sur la campagne de suivi de référence, en corrélation avec les conditions climatiques (et en recherchant l'influence des conditions climatiques, en moyenne, par périodes, par groupes d'espèces, et en distinguant celles liées aux pics d'activité de celle de l'activité régulière).
- Avec les données d'un suivi de mortalité mené avec une pression de suivi notable. L'expérience montre que les pics massifs de mortalités de pipistrelles peuvent généralement être mis en évidence. Mais que les risques de non détection concernent plutôt les espèces de haut vol pour lesquelles les risques sont souvent faibles mais réguliers, espèce qui sont aussi souvent les plus patrimoniales et soumises aux risques d'effets cumulés à large échelle.

Cette démarche permet de mieux comprendre une origine des risques de mortalités. Elle montre, notamment à Lou Paou, que l'origine des phénomènes de pics d'activités massifs et ponctuels en altitude est souvent située à l'écart des parcs éoliens eux-mêmes, avec des phénomènes d'aérodynamique qui drainent probablement des essaimages d'insectes en hauteur dans l'axe des combes et vallons selon l'orientation du vent (et souvent par fortes températures et vents faibles).

L'expérience montre certaines des limites et notamment l'utilisation de **plages horaires** nocturnes pour définir le pattern de régulation le plus approprié.

Contrairement à certains préjugés, les premières heures de la nuit ne sont pas réellement les heures les plus à risque en hauteur sur des sites éoliens souvent éloignés des zones de gîtes. Les heures des phénomènes de pics d'activité ne correspondent généralement pas avec les moyennes annuelles d'activités, et sont souvent très variables d'une nuit à l'autre. Sans compter que dans l'impossibilité de préciser l'heure des mortalités, si la régulation n'est active que sur certaines plages horaires, il est impossible de vérifier si les mortalités résiduelles constatées sont liées à un défaut de dimensionnement du pattern de régulation ou bien si elles interviennent en dehors des plages de régulation. Il est alors conseillé d'organiser les patterns de régulation sur l'ensemble des heures nocturnes ou en tout cas sur une grande partie de la nuit en fonction de l'analyse fine et comparée entre des heures d'activités moyennes et celles des pics d'activité.

L'évolution interannuelle du risque peut également apparaître comme une certaine limite de maîtrise des risques sur le long terme. L'expérience de Lou Paou témoigne en effet d'une évolution interannuelle du risque liée à celle des conditions climatiques à l'origine des phénomènes d'aérodynamique. Ces derniers constituent probablement la majeure partie du risque sur ce site. Il s'agit alors de retenir un pattern de régulation en prenant du recul sur le caractère plus ou moins représentatif des conditions climatiques de la campagne de suivi de référence, selon le site et les principaux types de risques qui y sont liés. Il semble notamment que ce soit surtout les dates des premiers pics d'activité de fin de printemps-début été qui varient d'une année à l'autre (1ères nuits chaudes de l'année). Il s'agit alors de garder certaines précautions à cette période.

Les principales **limites de mise en œuvre de la régulation** relevées sont liées aux délais de mise en œuvre en début de période d'activité. Cela suppose donc de faire traiter au plus tôt les données des suivis de l'année passée pour retenir le pattern de régulation de l'année en cours, anticiper l'organisation des suivis de tests d'efficacité et anticiper également l'information du turbinier pour qu'il puisse automatiser l'algorithme de bridage au sein des machines.

Enfin, la question du **seuil de mortalité résiduelle « acceptable »** après régulation est souvent la plus difficile à traiter pour engager ou non une évolution du pattern de régulation. C'est une question d'autant plus difficile à traiter que les populations des espèces impactées sont encore très mal connues, de même que l'ensemble des effets cumulés qu'elles peuvent subir. La valorisation à venir des données de suivis à l'échelle nationale devrait nous permettre à terme de progresser sur cette question.

Bibliographie

- Albespy. F, Beucher Y. Lecoq. V. (2013) - Parc éolien d'Arfons (81). Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle. Bilan de campagne des 1ère, 2ème et 3ème années d'exploitation (2010-2011-2012). 109 p.
- Albespy. F, Beucher Y. (2017) - Parc éolien de Lou Paou (48). Suivi environnemental post-implantation 2016 ciblé sur les chauves-souris. Suivi de la mortalité des chauves-souris. 50 p.
- Langlois. A, Albespy. F, Beucher Y. (2017) - Parc éolien de Conilhac-Corbières (11). Suivi environnemental post-implantation 2016 ciblé sur les chauves-souris. 32 p.
- Langlois. A, Albespy. F, Beucher Y. (2017) - Parc éolien de la Plaine de l'Orbieu (11). Suivi environnemental post-implantation 2016 ciblé sur les chauves-souris. Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle. 36 p.
- Beucher Y., Kelm V. 2011. – Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12) : Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. 116 p.
- Dürr T. 2016 Synthèse de bilan de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Allemagne et d'Europe, bilan de septembre 2016.
- EUROBATS 2014 – Report of the Intersessional Working Group on Wind Turbines and Bat Populations. 26 p.
- Kelm D-H., Lenski J., Kelm V., Toelch U. and Dziock F. 2014, Seasonal bat activity in relation to distance to hedgerows in an agricultural landscape in central Europe and implications for wind energy development. *Acta Chiropterologica*, 16(1): 65–73.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'équipe de gestion d'actifs d'EDF EN qui a permis à EXEN de mener ces études dans des conditions optimales sur certains de ses parcs, et qui lui a fait confiance pour tester les mesures de régulation vers une réelle volonté de maîtriser les mortalités des chiroptères. Le défi de préserver la biodiversité dans un contexte de transition énergétique ne peut être envisagé que par ce type de démarche concertée, technique et responsable.

Remercions également les organisateurs du séminaire éolien et biodiversité qui permettent de valoriser ce type d'expériences, en les rendant accessibles au plus grand nombre.

Les parcs éoliens en mer : état des lieux et perspectives

Vincent GUENARD¹

¹ ADEME, service Réseaux Energies Renouvelables. vincent.guenard@ademe.fr

Télécharger le diaporama



Résumé

L'éolien en mer connaît un développement très rapide en Europe. Cet article dresse un état des lieux de la filière puis anticipe son développement en France à la fois avec les technologies classiques de fondations posées ou les technologies flottantes plus émergentes encore au stade de recherche et développement mais amenées à se développer fortement au large des côtes françaises de leurs eaux profondes (> 50 m).

Abstract

Offshore wind power experiences a rapid growth in Europe. This paper gives the state of current development and anticipates its future development in France with both classical grounded foundations and emerging floating foundations well suited for the deep-water French coasts (> 50 m).

Contexte général

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) couvertes par le protocole de Kyoto ont atteint près de 49 milliards de tonnes équivalent CO₂ en 2010 selon les dernières données du GIEC. Elles ont augmenté de 80 % entre 1970 et 2010, principalement en raison du doublement de la consommation d'énergie dans le monde dont la grande majorité est liée à la combustion d'énergies fossiles.

L'Union Européenne a pris conscience de l'impact de la production énergétique sur les émissions de GES dès 2008 en adoptant le plan climat-énergie qui consiste à diminuer de 20 % les émissions de GES, à réduire de 20 % la consommation d'énergie et à atteindre 20 % d'énergies renouvelables (EnR) dans le bouquet énergétique d'ici à 2020. Ces objectifs sont écrits dans la Directive n° 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009.

Dans le cadre de cette Directive, la France s'est engagée à porter la part des énergies renouvelables de sa consommation énergétique finale d'à peine 10 % en 2005 à 23 % en 2020, objectif qui se déclinait en 27 % d'EnR électriques. La France s'est par ailleurs fixée des objectifs ambitieux de développement des EnR à 2030 dans le cadre de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte qui prévoit une part de 32 % d'EnR dans la consommation d'énergie finale en 2030, dont 40 % pour la part d'EnR dans la production.

L'éolien en mer connaît un fort développement en Europe et en Chine avec un taux de croissance annuel sur la période 2010-2015 de plus de 30 %. Ce taux est

de 20 % sur l'année 2016 avec 2,2 GW supplémentaires installés dont un quart vient de la Chine (Figure 1). Dans ce contexte, le Royaume-Uni reste le leader mondial avec plus de 5 GW installés (soit 36 % du parc total mondial), suivi par l'Allemagne (4,1 GW, 28 % du parc total) et la Chine (1,6 GW, 11 % du parc total).

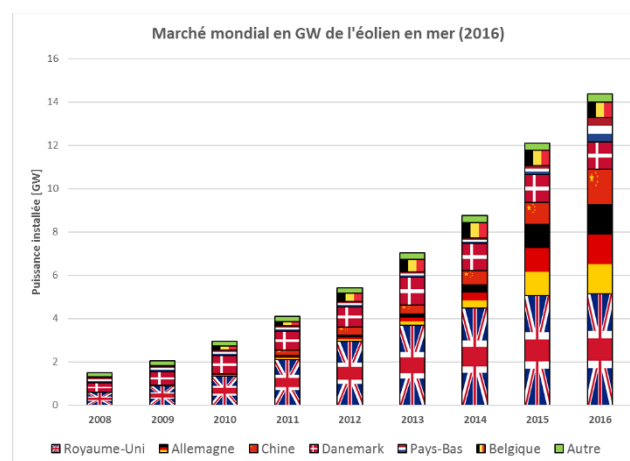


Figure 1 : Etat du marché mondial de l'éolien en mer en 2016.

L'éolien en mer posé et flottant

L'éolien en mer posé se définit comme des éoliennes posées sur le fonds marin par différents types de fondations monopieu, gravitaire, tripode, jacket (Figure 2). L'éolien posé a débuté en 1991 avec la première ferme exploitée au Danemark et démantelée en 2016. Les fondations posées sont destinées à des profondeurs inférieures à 40-50 m.

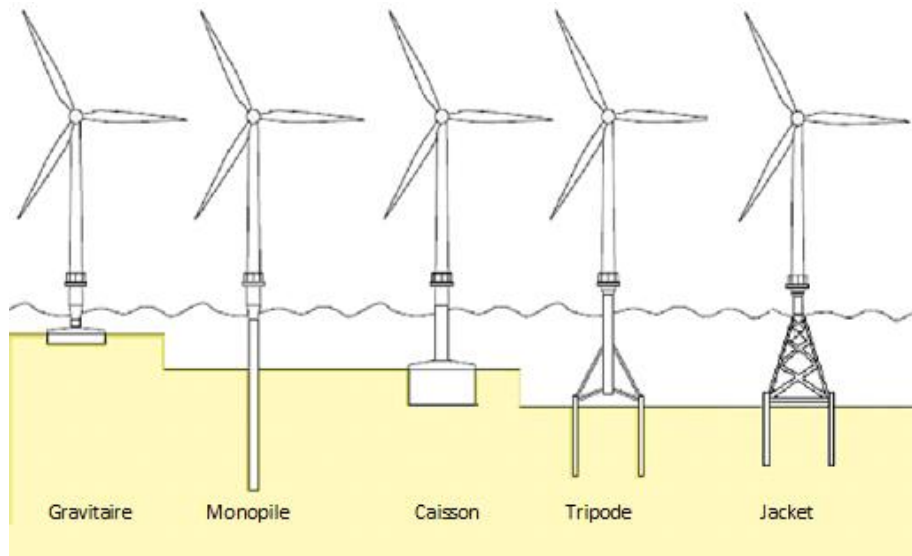


Figure 2 : Les différents types de fondations posées (non exhaustifs).

Au-delà d'une profondeur de 50 m, les fondations flottantes sont plus adaptées.

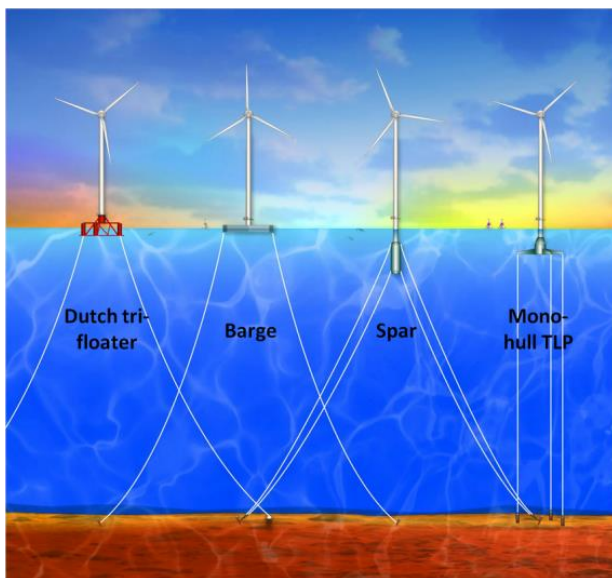


Figure 3: Différents types de fondations flottantes (non-exhaustifs).

L'éolien en mer en France

La France possède le deuxième espace maritime au monde, avec 11 millions de km² et plusieurs milliers de kilomètres de côtes réparties sur quatre façades maritimes - Mer du Nord, Manche, Atlantique et Méditerranée – et Outre-Mer. Cette géographie favorable lui permet de bénéficier d'un potentiel de développement des énergies marines renouvelables parmi les plus importants d'Europe. Par ailleurs, l'expertise française en matière énergétique et maritime est reconnue dans le monde entier et la France dispose

de zones portuaires particulièrement adaptées à la construction d'infrastructures dédiées à cette activité.

Pour répondre aux objectifs fixés par la Directive européenne et pour valoriser les ressources énergétiques en énergies marines et les savoir-faire industriels et scientifiques français, la France s'est fixée l'objectif ambitieux de porter la capacité installée de l'éolien en mer à 6 000 MW en 2020. Cet objectif a donné lieu au lancement de deux appels d'offres (Figure 4) : le 1^{er} appel d'offre a abouti à désigner 4 projets lauréats en 2012: Saint-Nazaire (EDF-EN, 480 MW), Saint-Brieuc (Iberdrola, 496 MW), Courseulles-sur-Mer (EDF-EN, 450 MW) et Fécamp (EDF-EN, 498 MW). Le 2^{ème} appel d'offre a abouti à 2 projets lauréats en 2014: Les îles d'Yeu et de Noirmoutier (Engie/EDPR, 496 MW) et Dieppe-Le Tréport (Engie/EDPR, 496 MW).

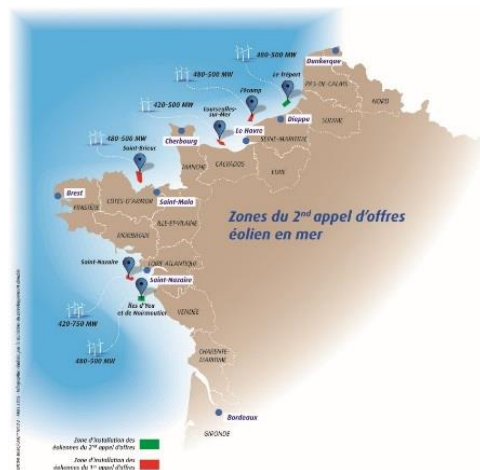


Figure 47 : Les projets lauréats des 2 appels d'offres français lancés en 2011 et 2013.

Tableau 1: Résultats de l'étude 100% EnR sur les potentiels des filières éoliennes en mer.

	Eolien posé	Eolien flottant
Capacité installée [GW]	20.1	46.2
Productible [TWh/an]	80.3	195.5

Le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer a souhaité poursuivre le développement de l'éolien en mer, en lançant en 2016 une 3^{ème} procédure de mise en concurrence concernant deux zones au large de Dunkerque et de l'île d'Oléron. Ces appels d'offres vont contribuer à l'atteinte des objectifs fixés par la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) de porter la capacité installée de l'éolien en mer à 3 000 MW en 2023.

L'ADEME a fait une estimation des gisements permettant de mettre en évidence que l'éolien flottant est beaucoup plus prometteur que l'éolien en mer posé (Tableau 1). Le gisement exploitable est de 46 GW pour l'éolien flottant et de 20 GW pour l'éolien posé. En effet, l'éolien en mer flottant se distingue du posé par

L'engouement vers l'éolien flottant a justifié le lancement d'un appel à projet de fermes pilotes éoliennes aboutissant à la désignation de 4 projets lauréats : Groix et Belle-Ile (Eolfi/CGN, 24 MW), EolMed (Gruissan, Quadran, 24 MW), PGL (Port-Saint-Louis-du-Rhône, 25 MW) et EFGL (Leucate, Engie/EDPR, 24 MW).

Analyse coût-bénéfices de l'éolien en mer

Impacts énergétiques

Les bénéfices énergétiques de l'éolien en mer sont très importants puisque ce mode de production est

l'accès à une ressource plus abondante (car plus éloignée des côtes du fait de l'exploitation des zones de profondeurs comprises entre 50 et 200 m). L'éloignement des côtes à des distances supérieures à 15 km fait baisser la pression des contraintes sur les autres activités (notamment la pêche professionnelle) ce qui rend les projets potentiellement plus acceptables. L'intérêt du flottant réside aussi dans l'installation des éoliennes puisque la plupart des solutions de flotteur permettent un montage de la turbine à quai et une installation une seule phase limitant les travaux et opérations en mer. L'éolien flottant est aussi moins dépendant des conditions de sol, conditions qui sont assez hétérogènes au large des côtes françaises et qui nécessitent des études spécifiques pouvant remettre en cause certaines options technologique.

déployé à grande échelle dans des zones à fortes ressources éoliennes. Le Tableau 2 illustre le part de la production électrique espérée des 6 projets lauréats des 2 appels d'offres avec la consommation régionale d'électricité. Cette part se situe entre 6 et 9 % de la consommation ce qui permet de confirmer que l'éolien en mer peut contribuer significativement à l'indépendance énergétique nationale (ses projets étant tous raccordés au réseau national de transport d'électricité). Au niveau national, l'ensemble de ces 6 parcs peut subvenir à hauteur 2,5 % de la consommation nationale d'électricité.

Tableau 2: part de la production d'électricité des futurs projets dans la consommation régionale.

Parc éolien	Région	Puissance [MW]	Productible [TWh/an]	Cons. élec. régionale (2006-2015) [TWh/an]	Part de la cons. élec. régionale [%]
Fécamp	Normandie	498	1,8	26,3	6,8
Courseulles	Normandie	450	1,5	26,3	5,7
Saint Nazaire	Pays de la Loire	480	1,7	24,1	7,0
Saint Briec	Bretagne	496	1,9	20,3	9,4
Les 2 Iles	Pays de la Loire	496	1,9	24,1	7,9
Dieppe – Le Tréport	Normandie	496	2,0	26,3	7,6
TOTAL	France	2 916	10,8	439,4	2,5

Impacts environnementaux

Les études d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) de l'éolien en mer français conduites par l'ADEME en 2016 montre que la moyenne des émissions des 6 parcs

lauréats a été estimée à 14,8 g eqCO₂/kWh ce qui place cette filière parmi les plus prometteuses pour réduire les émissions de GES des moyens de production d'électricité et lutter contre le changement climatique (Figure 5).

La phase de construction d'un parc éolien en mer peut avoir des impacts potentiellement négatifs sur l'environnement, notamment sur les mammifères (cétacés, phoques) et les poissons. Grâce aux mesures d'atténuation mises en place suite aux études d'impacts,

ceux-ci sont restés très limités lors de la construction des parcs au Danemark ou au Royaume Uni. La composante littorale des travaux est également conçue pour minimiser les impacts.

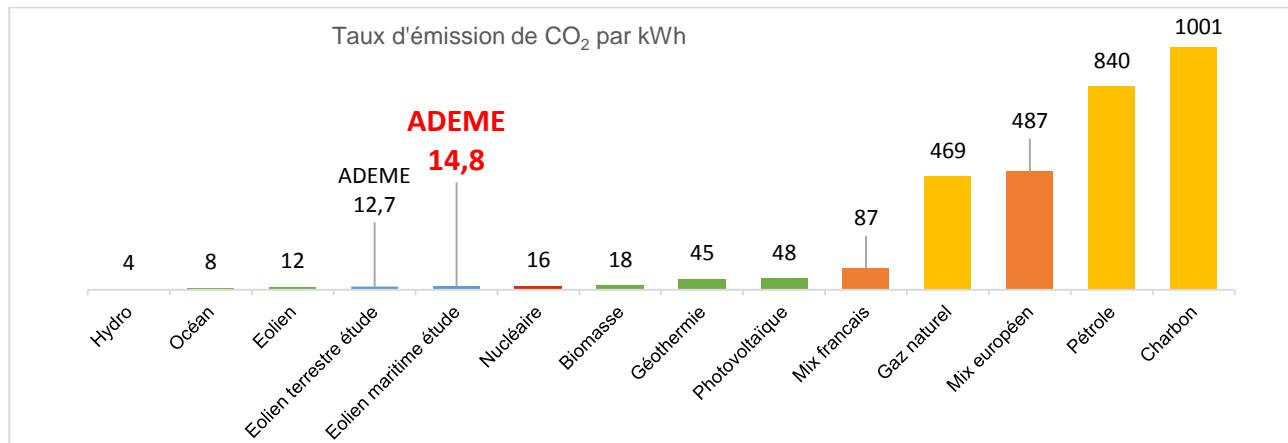


Figure 5 : Emissions de CO₂ des principaux moyens de production d'électricité (ADEME - 2016).

En fonctionnement, les éoliennes peuvent avoir un impact sur les mammifères marins et les poissons à cause des vibrations générées, des émissions électromagnétiques dans les câbles d'export d'électricité ainsi qu'un impact sur l'avifaune du fait des risques de collisions et du phénomène d'évitement des parcs. Les études de suivi des parcs en mer existants, effectuées sur plusieurs années, ont conclu que ces effets ont été négligeables jusqu'à présent.

L'existence d'un effet de type « récif artificiel » associé aux fondations des éoliennes a été très nettement observée au sein des parcs déjà construits, et ce après un an seulement. Selon ces observations, l'implantation de parcs éoliens en mer semble favoriser l'augmentation locale de biomasse et de biodiversité marine, ce qui pourrait avoir un effet positif sur les communautés de poissons.

Pour tous les projets lauréats des appels d'offres ayant une étude d'impact environnemental validée par l'Etat, des mesures de type ERC (Eviter Réduire Compenser) et un dispositif de suivi environnemental ont été mis en place. Les budgets associés ont été provisionnés par les porteurs de projet de façon à garantir leur exécution.

Impacts sur l'emploi

Comme tout nouveau secteur d'activité arrivant sur des territoires disposant de leur propre équilibre économique et social, l'éolien en mer est susceptible de perturber les activités économiques existantes ce qui est de nature à soulever des conflits. Ceux-ci se révèlent lors des différentes instances de concertation mises en place tout au long du développement des projets (planification maritime et identification des zones propices, débat public, enquête publique de l'octroi des

autorisations administratives pour le parc éolien et son raccordement).

Les principales sources d'opposition viennent des populations résidentes préoccupées par la modification des paysages ayant des conséquences sur l'activité touristique des territoires concernés. Même si des études menées en Mer du Nord ont montré le pouvoir attracteur des parcs éoliens pour des activités de tourisme industriel, leur impact sur des parcs éoliens en France doit être évalué au cas par cas pour prendre en compte les spécificités locales des projets.

Le plus grand impact identifié en France concerne la pêche professionnelle car le parc éolien prive les pêcheurs d'une partie de leur espace de travail même si l'effet de récif artificiel mentionné plus haut peut nuancer cet aspect dans un contexte de changement climatique et de raréfaction de la ressource halieutique. De plus, les parcs éoliens sont susceptibles de priver la pêche professionnelle de leurs ressources humaines et logistiques car les parcs éoliens ont eux aussi besoin de personnel qualifié et expérimenté notamment dans leur phase d'exploitation. Pour accompagner l'arrivée de cette nouvelle activité, une taxe éolienne a été mise en place d'un montant d'environ 15 000 €/MW dont 35 % reviendra au Comité National des Pêches, 50 % aux communes situées à moins de 12 milles marins du parc, 15 % aux projets de développement durable.

L'essor de cette nouvelle filière apparaît comme une formidable opportunité de développement industriel, tant pour le marché français que pour l'exportation, ce qui permet d'envisager une traduction rapide en termes de croissance et d'emplois. On estime à 8 000 le nombre d'emplois directs en France pour la réalisation des 6 parcs lauréats des 2 appels d'offres (Tableau 3)

Tableau 3 : Emplois directs et indirects espérés de la réalisation des 6 parcs éoliens français.

Parc éolien	Nombre d'emplois directs (indirects)
Fécamp	1 000 (4 000)
Courseulles	1 000 (4 000)
Saint Nazaire	1 000 (4 000)
Saint Brieuc	2 000
Dieppe – Le Tréport	1 500 (4 500)
Les 2 Iles	1 500 (4 500)

Impacts économiques

En France, les investissements générés, qui s'éleveront à environ 2 à 2,5 milliards d'euros par parc, permettront également de dynamiser l'implantation industrielle sur le territoire, à l'exemple des usines de General Electric (ex-Alstom) à Saint-Nazaire et à Cherbourg, qui construisent des composants d'éoliennes offshore, ou des usines d'Adwen (ex-Areva) au Havre. Des investissements portuaires pour l'accueil, l'assemblage et la maintenance des éoliennes sont également à prévoir, comme à Brest, Dunkerque ou Port-la-Nouvelle.

Coûts de production actuels et prospectifs

L'ADEME a publié en 2017 une analyse des coûts de production des différentes filières EnR dont l'éolien en mer (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'analyse est basée sur des projets éoliens posés mis en service en Europe au cours de la période 2014-2015, des projets en cours de construction et des projets financés qui seront réalisés à partir de 2019. Les coûts de production sont sensibles aux coûts d'investissement (CAPEX), aux coûts d'exploitation (OPEX), à la performance des parcs éoliens (facteur de charge) et au taux d'actualisation (coût moyen pondéré du capital). En faisant jouer ces 2 derniers paramètres, la fourchette des coûts de production se situe entre 130 et 190 €/MWh en Europe. Ces chiffres sont en ligne avec des travaux conduits au Royaume-Uni qui montrent par ailleurs une diminution de 30 % des coûts entre 2010 et 2015 (OFWB 2017).

Il faut noter que le retour d'expériences de l'éolien en mer a permis de faire nettement baisser le taux d'actualisation qui traduit le rendement qu'il serait possible d'obtenir en investissant ailleurs le même capital. Ce taux intègre une prime de risque lié au projet, qui traduit sa probabilité d'échec. Ainsi, deux projets ont été lauréats des appels d'offres au Danemark et au Pays-Bas qui ont proposé des coûts d'électricité beaucoup plus faibles que ceux présentés par l'ADEME. De plus, les lauréats (Ørsted et EnBW) du dernier appel d'offre allemand de mars 2017 annoncent ne pas avoir besoin d'un tarif d'achat : l'électricité produite par les 3 parcs sera vendue directement sur le

marché de gros de l'électricité soit à des prix inférieurs à 44 €/MWh (hors raccordement). Un 4^{ème} projet a été attribué à Dong au tarif de 60 €/MWh (hors raccordement). Le dérisquage des projets, la mise en place d'un industriel qui sera pleinement mature lors de la construction des 4 projets, la montée en puissance des machines de 10 à 15 MW attendues pour 2025 permettant de réduire le nombre de machines installées et donc le nombre d'opérations marines, de bonnes conditions de vent (vitesse moyenne supérieure à 10 m/s), une durée des autorisations étendue à 30 ans, suffisent à expliquer cette réduction potentielle des coûts (Figure 6).

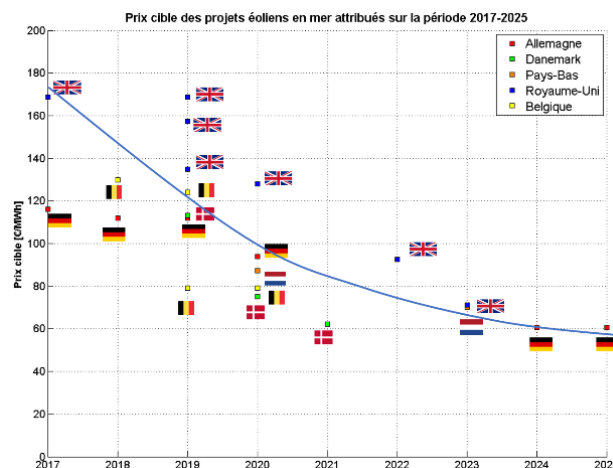


Figure 6 : Prix cible des projets éoliens en mer en Europe sur la période 2017-2025.

Une étude de BVG Associates et d'Innosea pour le compte de l'ADEME a identifié les perspectives de réduction des coûts de l'éolien en mer en France d'une situation de référence en 2015 jusqu'à l'horizon 2030 sur tous les éléments constituant la chaîne de valeur de l'éolien (Figure 7). Cette étude montre que les réductions de coûts sur les turbines (augmentation des performances, augmentation de la taille et la puissance des machines, industrialisation) sont le moteur de la réduction des coûts. La maturité de la filière fait baisser les coûts de financement à partir des années 2015. Ainsi, l'étude montre une réduction des coûts d'un facteur 2 de 2015 (~ 200 €/MWh) à 2030 (~ 100 €/MWh) et ce pour les filières posées et flottantes en notant une réduction plus précoce pour l'éolien en mer posé, plus mature, que pour l'éolien flottant.



Figure 7 : Perspectives de réduction de l'éolien en mer en France consécutives à l'innovation technologique (ADEME, 2017)

Prospective de développement de l'éolien en mer en 2030

L'Association Européenne de l'Energie Eolienne Wind-Europe a réalisé un travail prospectif à l'horizon 2015 qui montre que les perspectives de marché sont très importantes au Royaume-Uni (23 GW), en Allemagne (17,5 GW) et en France (9 GW).

A des horizons plus lointains que 2025, il est probable que l'éolien en mer posé doive faire face à des conflits d'usage majeurs (notamment en France) du fait de zones propices limitées qui donnent l'opportunité de développer l'éolien flottant (Tableau 1).

Aux horizons 2030 et 2050, les travaux prospectifs réalisés par l'ADEME en 2012 ont abouti à des valeurs un peu plus élevées avec 12 GW en 2030 et 30 GW en 2050 répartis comme indiqué dans le Tableau 4.

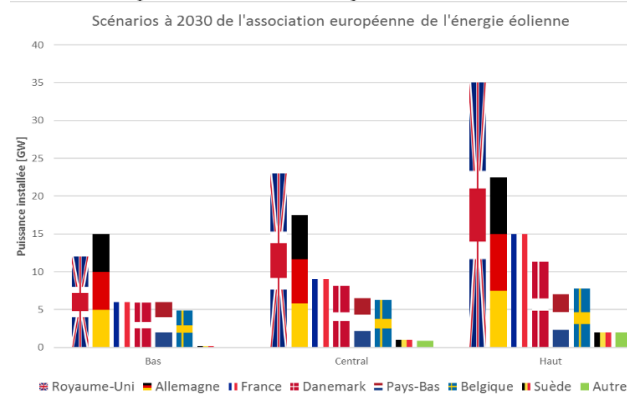


Figure 8 : Perspectives de marché à l'horizon 2030 (Wind-Europe 2015).

Tableau 4: Vision du développement de l'éolien en mer en 2030 et 2050 (ADEME 2012).

Capacité installée [GW]	2030	2050
Eolien posé	8	10
Eolien flottant	4	20
TOTAL	12	30

Conclusions

L'éolien en mer est en fort développement en Europe. Même si les coûts de production sont encore élevés, ils sont en nette diminution grâce notamment au retour d'expérience positif de cette industrie en mer du Nord qui a permis de nouer des partenariats de confiance avec leurs investisseurs privés et bancaires. Ce secteur est en constante évolution avec la montée en puissance des machines (de 3 MW en 2010 à 6 MW en 2015 et bientôt 8 MW en 2018 puis de 10 à 20 MW avant 2030) qui a aussi contribué à la réduction des coûts. Cette réduction doit encore s'accroître par des travaux de recherche et développements sur les briques technologiques (turbines, fondations posées et flottantes, méthodes d'installation, méthodes d'industrialisation, ...) et d'acquisition de connaissances nouvelles sur les aspects non technologiques (impacts environnementaux, impacts sociétaux, ...) pour que cette filière prenne son essor partout dans le monde où les conditions sont propices. Ce moyen de production d'électricité contribue à l'indépendance énergétique, à la diminution des émissions de GES et à une lutte efficace

contre le changement climatique. L'éolien en mer donne aussi l'opportunité de créer de l'activité dans des territoires qui ont beaucoup souffert de la désindustrialisation. Le développement de cette activité réconcilie Environnement, Economie et Emplois, pilier du Développement Durable.

Références

ADEME, Avril 2016. Impacts environnementaux de l'éolien français 2015.
 ADEME, Janvier 2017. Coûts des énergies renouvelables en France.
 ADEME, Septembre 2017. Etude sur la filière éolienne française : bilan, prospective et stratégie.
 ADEME, Septembre 2017. Caractérisation des innovations technologiques du secteur de l'éolien et maturités des filières.
 EWEA – Wind Europe, Août 2015. Wind Energy Scenarios 2030.
 OWPB, Janvier 2017. Cost Reduction Monitoring Framework 2016, Offshore Wind Programme Board.

Analyse des enjeux de la faune marine pour la planification et l'évaluation des projets de parcs éoliens en mer

Sylvain MICHEL¹, Vincent Toison¹

¹ Agence Française pour la Biodiversité. sylvain.michel@afbiodiversite.fr, vincent.toison@afbiodiversite.fr

Télécharger le diaporama 

Résumé

La branche marine de l'Agence française pour la biodiversité, anciennement Agence des aires marines protégées, a notamment pour mission d'appuyer les autorités publiques lors de la planification, puis l'autorisation des projets d'aménagements en mer. L'Agence contribue ainsi à la préparation des appels d'offres de l'Etat pour des projets éoliens fixes ou flottants, à l'expertise des dossiers d'autorisation et au suivi des projets.

Dans le cadre de l'application de la Directive-cadre européenne « Stratégie pour les milieux marins » (DCSMM), l'AAMP puis le Département des Milieux Marins de l'AFB, ont décliné une méthode de hiérarchisation des enjeux écologiques. Cette méthode consiste à déterminer un niveau d'enjeu (parfois appelé « indice de patrimonialité ») pour chaque espèce ou habitat marin étudié, à partir de trois familles de critères écologiques : la sensibilité intrinsèque de l'enjeu aux pressions, la représentativité de l'élément considéré par rapport à une échelle plus large (en terme d'effectif, de surface, de biomasse...) et la fonctionnalité de l'enjeu considéré. En combinant ces indices avec les données de distribution géographique issues des campagnes d'observation menée par l'Agence, il a été possible d'en tirer une spatialisation des enjeux pour les habitats marins et la faune marine, par espèce ou groupe d'espèces (oiseaux, mammifères marins et autres espèces de mégafaune).

Cette méthode fournit un cadre homogène et rigoureux pour planifier, puis évaluer l'impact des projets éoliens en mer et des autres activités maritimes. Elle est d'ores et déjà utilisée comme outil d'aide à la décision dans la conception des Documents stratégiques de façade, qui devront être finalisés en 2019. Elle pourrait à terme contribuer à l'estimation des impacts cumulés sur la biodiversité marine de l'ensemble des projets éoliens en mer et des usages socio-professionnels du milieu marin. Pour pouvoir passer de la qualification des enjeux écologiques à la quantification des impacts, un travail considérable reste à mener à la fois en termes de développement méthodologique et d'acquisition de connaissances sur la distribution, la sensibilité et la résilience des différentes composantes des écosystèmes des mers françaises.

Motivation

La branche marine de l'Agence française pour la biodiversité, anciennement Agence des aires marines protégées, a notamment pour mission d'appuyer les autorités publiques lors de la planification, puis l'autorisation des projets d'aménagements en mer. L'Agence contribue ainsi à la préparation des appels d'offres de l'Etat pour des projets éoliens fixes ou flottants, à l'expertise des dossiers d'autorisation et au suivi des projets.

Pour décider des priorités de gestion du patrimoine naturel marin dans une approche concertée, il est nécessaire de s'accorder sur les éléments du patrimoine naturel pour lesquels le pays (ou un territoire maritime) a une plus forte responsabilité : les enjeux écologiques¹. En milieu marin, ces enjeux peuvent revêtir de nombreuses formes : espèces, populations, habitats,

zones fonctionnelles, services écosystémiques, etc. Une méthode a été développée pour identifier et prioriser ces enjeux, sur une base homogène, aussi universelle que possible, opérationnelle (*i.e.* applicable à partir des connaissances existantes) et fondée sur des concepts scientifiques éprouvés.

Dans le domaine de l'éolien en mer, la détermination des enjeux écologiques est nécessaire à différents niveaux : lors de la planification spatiale, pour localiser des zones de moindres contraintes environnementales ; pendant le développement d'un projet, pour hiérarchiser les impacts sur l'écosystème marin et concevoir le projet de moindre impact ; durant la réalisation du projet, pour dimensionner les mesures de réduction, de compensation et de suivi de façon proportionnée à l'importance de chaque enjeu.

¹ Les enjeux écologiques sont des éléments de l'écosystème ou de son fonctionnement dont on doit rétablir ou maintenir le bon état. Les enjeux écologiques prioritaires sont ceux pour lesquels l'atteinte ou le maintien du bon état est prioritaire au regard de la représentativité de l'espace considéré pour cet enjeu, de sa sensibilité et de son importance fonctionnelle.

Méthodologie

Dans le cadre de l'application de la Directive-cadre européenne « Stratégie pour les milieux marins » (DCSMM), l'AAMP puis le Département des Milieux Marins de l'AFB, ont décliné une méthode de hiérarchisation des enjeux écologiques. Cette méthode consiste à déterminer un niveau d'enjeu (parfois appelé « indice de patrimonialité ») pour chaque espèce ou habitat marin étudié, à partir de trois familles de critères écologiques : la sensibilité intrinsèque de l'enjeu aux pressions, la représentativité de l'élément considéré par rapport à une échelle plus large (en terme d'effectif, de surface, de biomasse...) et la fonctionnalité de l'enjeu considéré.

Les travaux antérieurs réalisés pour la définition du bon état écologique (BEE) (Guérin *et al.* 2012) ont mis en exergue les limites des listes réglementaires d'habitats et d'espèces et ont proposé des critères d'établissement de listes répondant à une approche écosystémique requise pour la mise en œuvre de la DCSMM. Sur la base de ces critères, les pilotes scientifiques de la DCSMM ont défini des composantes de la biodiversité représentant des unités pertinentes d'évaluation de l'état des eaux marines. Ces travaux ont été menés en lien avec les travaux communautaires et ceux réalisés en application des conventions OSPAR et de Barcelone. Sur la base de ces travaux, des enjeux écologiques ont été identifiés et priorisés pour orienter la décision publique. Les critères de priorisation soumis à discussion sont cohérents avec ceux utilisés pour la définition du BEE en 2012.

La DCSMM a pour objectif l'atteinte ou le maintien du BEE des eaux marines dans leur ensemble, il ne s'agit pas ici de limiter cette ambition, mais de prioriser l'action publique sur la base d'éléments écologiques.

Méthodes et critères de priorisation

Différentes méthodes de priorisation ont été analysées à partir d'une étude bibliographique. Le tableau 1 propose une synthèse des différents critères utilisés. Ils sont regroupés suivant les familles de critères suivantes :

1. Représentativité à large échelle et ou à l'échelle locale

La représentativité renseigne la proportion de l'enjeu (espèce, habitat ou zone fonctionnelle) présente sur le secteur considéré par rapport à une échelle plus large. Ce critère est utilisé par toutes les méthodes analysées. Ce critère peut être exprimé en part de l'aire de répartition, de l'effectif d'une espèce, de la surface totale occupée par un habitat, ou de la biomasse totale.

2. Sensibilité ou vulnérabilité à large échelle

La sensibilité renseigne sur la propension intrinsèque de l'enjeu considéré à être détruit ou dégradé par une pression et sur sa capacité de récupération.

Dans de nombreux cas, la sensibilité intrinsèque de l'enjeu n'est pas connue. Le choix peut alors se porter sur la vulnérabilité de l'enjeu à large échelle c'est-à-dire le risque de voir l'enjeu disparaître ou être dégradé. Ce choix repose sur l'hypothèse (pouvant être discutée) que le niveau de vulnérabilité actuel renseigne indirectement sur la sensibilité de l'enjeu aux pressions auxquelles il est (ou a été) exposé.

3. Importance fonctionnelle de l'enjeu écologique

L'importance fonctionnelle renseigne sur le caractère déterminant (ou non) de l'enjeu pour le fonctionnement global du secteur considéré ou des espèces présentes sur le secteur.

4. Critères additionnels liés à la spécificité locale

La spécificité regroupe un ensemble de critères permettant de singulariser l'enjeu sur des considérations phénotypiques, biogéographiques, génétiques ou phylogénétiques.

Ce critère n'est pas utilisé systématiquement.

N.B. : Les enjeux écologiques de nature « fonctionnalité de l'écosystème » sont moins fréquemment abordés dans ces publications. Les critères devront par conséquent être adaptés pour ces finalités.

Recommandations générales

Suite au tour d'horizon de différentes méthodes, nous formulons les recommandations ci-dessous. Elles rejoignent celles formulées par Schmeller *et al.* dans leur revue méthodologique (2008) :

- Le résultat final, présenté par nécessité de synthèse sous forme de liste, devra être le reflet le plus fidèle possible de la vision écosystémique de la sous-région marine (SRM).
- Utiliser au moins un critère relatif à la représentativité pour l'enjeu écologique considéré sur la SRM (ou un secteur) par rapport à une échelle plus large. (N.B. : Pour les enjeux portant sur des zones fonctionnelles, ce critère pourra être adapté.)
- Utiliser un critère relatif à la sensibilité intrinsèque de l'enjeu écologique. Dans le cas où les informations sur la sensibilité ne seraient pas disponibles, le critère de vulnérabilité pourra être retenu et utilisé à l'échelle biogéographique.
- Les critères de fonctionnalité sont plus délicats à renseigner, ils sont importants à prendre en

compte. Aussi, en l'absence de données permettant de les renseigner de façon standardisée, ils pourront être renseignés à dire d'expert.

- L'utilisation de critère additionnel portant sur la spécificité est laissée à l'appréciation des pilotes scientifiques.

La méthode soit être « applicable à tous les taxons, ou au moins à la plupart d'entre eux, adaptable à différentes échelles spatiales et fondée sur un petit nombre de critères pour lesquels on peut obtenir facilement des données fiables et qui ne nécessitent pas de méthode de pondération complexe » (Schmeller *et al.* 2008 in Savouré-Soubelet A. 2015).

Tableau 1 : Critères utilisés dans différentes méthodes de priorisation des enjeux écologiques.

	Représentativité du secteur considéré pour l'enjeu	Sensibilité ou vulnérabilité à l'échelle biogéographique	Importance fonctionnelle	Critères additionnels : spécificité locale
Enjeu de patrimoine naturel Collectif, à paraître	Site	Valeur patrimoniale (statut de conservation > rareté > vulnérabilité)	Rôle fonctionnel	/
Espèces Savouré-Soubelet A., 2015	Nationale (aire de répartition)	Vulnérabilité (UICN) <i>+ Tendance historique des populations</i>	/	Originalité taxonomique
Espèces et habitats Rufay X. et al, 2008	Régionale + locale (aire de répartition / effectifs)	Sensibilité (aire de répartition > amplitude écologique > niveau d'effectifs / surface > dynamique)	/	/
Espèces et habitats MNHN, SPN, 2012	Site (superficie relative)	Echelle européenne (habitats et espèces prioritaires DHFF) Echelle nationale (en danger de disparition > aire de répartition réduite)	Importance fonctionnelle	Variabilité des habitats Localisation dans l'aire de répartition
ZNIEFF	Site (importance)	Sensibilité Rareté (effectifs / surface)	Importance écologique	Valeur patrimoniale (symbolique, économique, pédagogique, paysager, ...)
Elasmobranches Stéphan et al, 2016	Eco-régionale + façade (aire de répartition)	Etat de conservation (CIEM > UICN > avis d'expert) Vulnérabilité biologique (taille maximale > mode de reproduction)	/	/
Espèces et habitats OSPAR, 2003	Région OSPAR ou partie (effectifs / surface)	Rareté (effectifs / surface) Sensibilité (fragilité > résilience) Déclin	Espèce clef de voute Importance écologique	/
Zone d'importance Critères EBSA	Unicité Importance (espèces et habitats menacés ou en déclin)	Rareté Vulnérabilité (fragilité, sensibilité ou faible résilience)	Importance spéciale (cycle de vie des espèces) Productivité biologique, diversité biologique, naturalité	/
Zones humides d'importance internationale Ramsar	Unicité Représentativité (espèces)	Rareté Etat de conservation (espèces)	Zone d'alimentation, de frayère, d'alevinage et/ou de migration (poissons)	/
Zone fonctionnelle halieutique Delage N. et al, 2016	Concentration (densité d'individus) Contribution au stade de vie suivant (% biomasse)	Statut d'exploitation, état écologique des espèces (envisagés)	Biomasse relative dans la communauté, intérêt pour le fonctionnement des réseaux trophiques (envisagés)	/

Limites de connaissance et incertitude du diagnostic

Le niveau de connaissance est très hétérogène suivant les compartiments. Le niveau de finesse de définition des enjeux écologiques doit donc être adapté au niveau de connaissance disponible. De même l'exercice peut être basé pour tout ou partie sur l'avis des experts. En outre, si pour certains compartiments les connaissances actuelles ne permettent pas de prioriser les enjeux, il est souhaitable de les identifier sans les prioriser entre eux.

Etapas de mise en œuvre de la démarche

L'identification des secteurs à enjeux a été organisée afin de faire ressortir, dans une approche inter-descripteur et écosystémique, des enjeux croisés et leur localisation. Ces secteurs à enjeux ont été déterminés en croisant des éléments de connaissance des différents descripteurs.

Il en résulte la délimitation de 51 secteurs homogènes en termes d'enjeux écologiques : 11 dans la SRM Manche Est-mer du Nord, 9 dans la SRM Mers Celtiques, 20 dans la façade Manche Ouest-Atlantique, 11 dans la SRM Méditerranée (Figure 1).

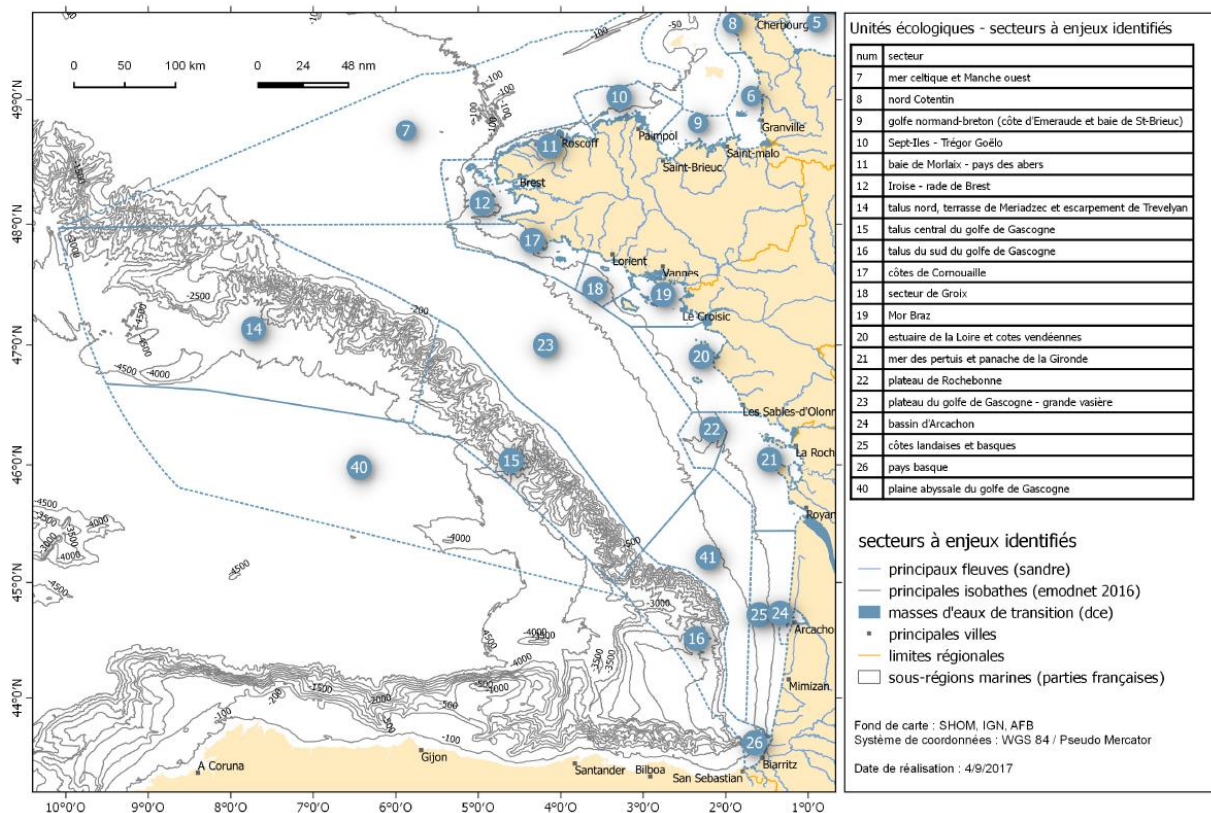


Figure 1 : Secteurs à enjeux dans les sous-régions marines Manche ouest-Atlantique et Mers celtiques.

Par souci de lisibilité, les enjeux écologiques ainsi identifiés ont été regroupés en 21 grands types d'enjeux spécifiques à chaque secteur et 11 grands types d'enjeux transversaux (voir Tableau 2). Ces grands types d'enjeux ont eux-mêmes été regroupés en 4 familles.

Les enjeux ont été identifiés et priorisés au travers des trois types de critères définis plus haut : fonctionnalité, représentativité et sensibilité. Ces critères ont dû être adaptés en fonction des données disponibles pour chaque famille d'enjeux.

Tableau 2 : Grands types d'enjeux identifiés.

	Grands types d'enjeux
Conditions hydrographiques, habitats pélagiques et réseaux trophiques (3 catégories)	Structures hydrologiques particulières
	Zone d'interface terre-mer et panache fluviaux
	Les producteurs I, II et les espèces fourrages
Habitats benthiques et structures géomorphologiques (6 catégories)	Habitats biogéniques
	Habitats rocheux
	Habitats sédimentaires
	Structures géomorphologiques particulières
	...
Zones fonctionnelles de dimension "restreinte" pour les espèces marines (12 catégories)	zones fonctionnelles halieutiques
	Secteurs de concentration et de migration des amphihalins
	Populations localement importantes d'élaémobranchie
	Colonies d'oiseaux marins et zones d'alimentation
	Domaine vital des groupes sédentaires de grands dauphins
Enjeux transversaux pour les espèces très mobiles (11 catégories)	Grands cétacés plongeurs
	Tortues marines
	Espèces prioritaires d'élaémobranchie (Stéphan E. et al)
	Espèces prioritaires d'oiseaux marins (GISON et AFB)
	Espèces fourrages
...	

Résumé des résultats

En combinant ces indices avec les données de distribution géographique issues des campagnes d'observation menées par l'Agence, il a été possible d'en tirer une spatialisation des enjeux pour les habitats marins et la faune marine, par espèce ou groupe d'espèces (oiseaux, mammifères marins et autres espèces de mégafaune). Nous présentons ici quelques résultats obtenus pour les élasmobranches (grands poissons cartilagineux : raies et requins), pour certains habitats marins et pour les oiseaux marins de la façade Manche-Atlantique.

Exemple des espèces d'élasmobranches à l'échelle des sous-régions marines

La méthode a été définie en 2016 dans le cadre d'un partenariat entre l'Agence des aires marines (AAMP), protégées, le Museum national d'histoire naturelle (MNHN), l'Ifremer et l'APECS (Association pour la protection, l'étude et la connaissance des sélaciens). Elle consiste à combiner les notes attribuées à différents

indices, composés d'un ou plusieurs critères, pour calculer un score final qui permet de classer les espèces les unes par rapport aux autres.

Trois indices ont ainsi été définis, en cohérence avec la méthodologie générale décrite précédemment :

1. **Indice état de conservation** : il reflète l'état de la ou des populations. Son évaluation provient en priorité des données CIEM ou CICTA, puis de l'UICN, puis d'un collège d'experts.
2. **Indice vulnérabilité biologique** : il est directement lié à la biologie de l'espèce et renseigne sur les capacités intrinsèques de rétablissement des populations (taux d'accroissement potentiel).
3. **Indice responsabilité de façade** : il est basé sur la distribution géographique de l'espèce considérée.

Une fois chacun de ces 3 indices renseignés, le score final (niveau d'enjeu de l'espèce) est ensuite calculé suivant cette formule :

$$\text{Score final} = (\text{Conservation} * 2 + \text{Vulnérabilité}) * \text{Responsabilité}$$

Ainsi, avec des indices valant respectivement 6, 8 et 11 sur une échelle de 12, la Raie Blanche (*Rostroraja alba*) arrive en tête du classement des espèces à enjeu. Le Requin pèlerin, espèce emblématique mieux connu

du grand public, arrive au 7^{ème} rang, avec un score global deux fois moins élevé (Tableau 3).

Tableau 3 : indices intermédiaires et scores globaux pour les 15 espèces d'élasmobranches à plus fort enjeu dans les eaux de France métropolitaine.

Rang	Nom scientifique (zone CIEM)	Nom commun	CIEM catégorie stock	CIEM note	UICN note	Indice état de conservation	Indice vulnérabilité biologique	Indice responsabilité façade	Score global
1	<i>Rostroraja alba</i>	Raie blanche	6	6	6	6	8	11	220
2	<i>Squatina squatina</i>	Ange de mer commun	6	6	6	6	9	9	189
3	<i>Dipturus batis cf. intermedia (VII)</i>	"grand Pocheteau gris "	6	6	6	6	8	9	180
3	<i>Dipturus batis cf. intermedia (VIII)</i>	"grand Pocheteau gris "	6	6	6	6	8	9	180
4	<i>Dipturus batis cf. flossada (VII)</i>	"petit Pocheteau gris "	6	6	6	6	7	9	171
4	<i>Dipturus batis cf. flossada (VIII)</i>	"petit Pocheteau gris "	6	6	6	6	7	9	171
5	<i>Dipturus nidarosiensis (VII)</i>	Pocheteau de Norvège	6	6	3	6	7	7	133
5	<i>Dipturus oxyrinchus (VII)</i>	Pocheteau noir	6	6	2	6	7	7	133
6	<i>Echinorhinus brucus</i>	Squale bouclé			3	3	10	7	112
7	<i>Cetorhinus maximus</i>	Requin-pèlerin	6	5	4	5	12	5	110
8	<i>Myliobatis aquila</i>	Aigle de mer commun			3	3	11	6	102
8	<i>Torpedo nobiliana</i>	Torpille noire			3	3	11	6	102
9	<i>Alopias vulpinus</i>	Requin-renard commun	6	4	3	4	12	5	100
9	<i>Lamna nasus</i>	Requin-taupe commun	6	4	5	4	12	5	100
9	<i>Prionace glauca</i>	Requin peau bleue	4	4	2	4	12	5	100

Exemple des enjeux ornithologiques à l'échelle de chaque sous-région marine

Pour les oiseaux marins, la méthode découle d'ateliers tenus par le Groupement d'intérêt scientifique pour les oiseaux marins (GISOM), dans le cadre du programme PACOMM en 2014. Les principes retenus ont fait l'objet d'intenses débats :

- Prendre comme référence la population européenne de chaque espèce
- Ne pas inclure les engagements internationaux et les protections réglementaires
- Hiérarchiser les différentes espèces pour chaque saison
- Prendre en compte l'aire de répartition comme un élément de contexte, pas forcément critère de hiérarchisation

En conséquence, seuls deux critères ont été finalement conservés :

1. Représentativité des effectifs :

- Part de la population biogéographique présente en France
- Part de la population française présente sur la SRM (sous-région marine)

2. Sensibilité ou vulnérabilité :

- Sensibilité de l'espèce
- Vulnérabilité : statut liste rouge et tendance

Des échelles semi-quantitatives ont été définies pour chacun de ces 2 critères.

Pour l'indice de représentativité, on considère la moyenne de l'effectif national et de l'effectif de la SRM (basés essentiellement sur les recensements des campagnes aériennes SAMM en 2011-2012) :

National / biogéographique		SRM/national	
45-100 %	10 pts	90-100 %	10 pts
40-45 %	9 pts	80-90 %	9 pts
....
....
5-10 %	2 pts	10-20 %	2 pts
0-5 %	1 pt	0-10 %	1 pt

Pour l'indice de vulnérabilité, on ne retient que la note la plus déclassante :

Liste rouge	Etat de conservation (UE)	Tendance court (12 ans) ou long terme (24 ans)	
CR		-80 % > T	10 pts
EN		-50 % > T > -80 %	7,5 pts
VU	U2	-30 % > T > -50 %	5 pts
NT	U1	-10 % > T > -30 %	2,5 pts
LC, ND, NA	FV	Stable / Fluctuant augmentation	1 pt

Une fois ces 2 indices renseignés, le score final (niveau d'enjeu de l'espèce) est calculé suivant cette formule :

$$\text{Enjeu} = \frac{\text{Représentativité} + \text{Vulnérabilité}}{2}$$

Ainsi, par exemple sur la façade Atlantique (y compris la Bretagne Nord), on retrouve les 3 espèces d'alcidés (Macareux moine, Pingouin torda et

Guillemot de Troil) en tant qu'espèces à plus fort enjeu écologique, avec des scores compris entre 7,8 et 6,5 sur une échelle de 10.

Tableau 4 : Scores obtenus pour les 12 espèces d'avifaune à plus fort enjeu écologique, pour les 3 façades de Métropole, en période de nidification.

Manche-Mer du Nord		Golfe de Gascogne + Mer Celtique		Méditerranée	
Sterne de Dougall	7,0	Macareux moine	7,8	Balbusard pêcheur (marin) ?	7,0
Fulmar boréal	5,8	Pingouin torda	7,8	Goéland railleur	6,8
Mouette tridactyle	5,0	Guillemot de Troil	6,5	Goéland d'Audouin	6,5
Goéland cendré	5,0	Sterne de Dougall	6,3	Cormoran huppé (MED)	6,3
Grand Gravelot	4,3	Puffin des Anglais	5,3	Puffin cendré	5,3
Sterne caugek	3,8	Guifette noire	5,3	Puffin de MED (yelkouan)	5,3
Huïtrier pie	3,5	Combattant varié	5,3	Mouette mélanocéphale	4,5
Spatule blanche	3,5	Fulmar boréal	5,0	Sterne hansel	4,3
Mouette mélanocéphale	3,3	Sterne caugek	5,0	Sterne caugek	4,0
Mouette rieuse	3,3	Spatule blanche	5,0	Spatule blanche	4,0
Goéland argenté	3,3	Barge à queue noire	4,8	Océanite tempête (MED)	4,0
Sterne pierregarin	3,3	Huïtrier pie	4,3	Goéland leucophée	3,8

Exemple des habitats benthiques et structures géomorphologiques

Enjeux considérés

Les habitats pris en compte dans l'analyse sont ceux décrits pour la définition du BEE (incluant, les habitats Natura 2000 décrits dans le cahier des habitats et les habitats concernés par les conventions de mers régionales), les habitats décrits dans les listes ZNIEFF disponibles (Nord pas de Calais, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Bretagne, PACA, Languedoc Roussillon et Corse) et les habitats mentionnés lors des ateliers avec les experts, soit 300 habitats en tout.

Pour permettre l'analyse et faciliter la compréhension du milieu marin, il a été choisi de regrouper ces habitats sous la forme de 50 enjeux pour la façade Manche-Atlantique et 42 enjeux pour la façade Méditerranée. Ces enjeux ont été regroupés en 4 grands types : les habitats sédimentaires, les habitats rocheux, les habitats biogéniques et les habitats profonds (cf. Tableau 5).

En outre les ateliers ont permis d'identifier des structures géomorphologiques particulières telles que les dunes hydrauliques, les structures rocheuses isolées (ex. : roches Douvres ou le plateau de Rochebonne) et les plateaux sédimentaires bathyaux. Les dunes

hydrauliques, dont l'importance fonctionnelle a été soulignée lors d'ateliers, ont été individualisées ; les autres structures ont été regroupées au sein d'un grand type d'enjeu générique « Structures géomorphologiques particulières ».

Renseignement des critères

Critères de sensibilité

La sensibilité a été renseignée via le travail du MNHN (sensibilité à l'abrasion profonde et au dépôt important de matériel), qui l'évalue suivant 5 classes.

En Atlantique-Manche plusieurs sources complémentaires ont été ajoutées : MARLIN (sensibilité à certaines pressions), OSPAR (3 niveaux de sensibilité), dires d'experts sur Natura 2000 au large, ZNIEFF Normandie (2 niveaux de sensibilité). Par principe de précaution, nous avons retenu le niveau de sensibilité le plus fort.

Critère de représentativité

Le critère de représentativité a été renseigné par secteur, en appliquant 4 classes basées sur la proportion de surfaces d'habitat ou d'occurrence des espèces connues (cf. Tableau 5).

Ce critère de représentativité n'a pas pu être renseigné pour tous les habitats. C'est le cas par

exemple des ceintures de fucales en Atlantique ou des ceintures de cystoseires en Méditerranée. Ils constituent tout de même des enjeux écologiques.

Critère de fonctionnalité

Étant donné l'hétérogénéité des informations, ce critère n'a pas été qualifié (majeur/fort/moyen/faible), néanmoins les informations fournies par les pilotes scientifiques (ou figurant dans l'état initial) ont été renseignées. En outre, dans la mesure du possible, le lien entre les différentes composantes de l'écosystème a été renseigné.

N.B. : Pour les structures géomorphologiques particulières et les dunes hydrauliques, les 3 critères n'ont pas pu être renseignés de façon standardisée.

Niveau de priorité

Le niveau de priorité a été défini à partir des 2 critères qui ont pu être renseignés de façon standardisée : la représentativité de chaque secteur pour un habitat et la sensibilité intrinsèque de cet habitat.

La définition du niveau de priorité est obtenue en croisant les critères de représentativité et de sensibilité suivant le tableau de croisement ci-dessous.

Tableau 5 : Détermination du niveau d'enjeu

		Sensibilité			
		Très forte / forte	Moyenne	Faible	nd
Représentativité	Majeure (> 33 %)	Majeure	Majeure	Majeure	Majeure
	Forte (15-33 %)	Forte	Forte	Forte	Forte
	Moyenne (5-15 %)	Forte	Moyenne	Moyenne	Moyenne
	Faible (< 5 %)	Moyenne	Faible	Faible	Faible
	N.d.	N.d.	N.d.	N.d.	N.d.

Tableau 6 : exemple de niveaux d'enjeux (moyens à majeurs) dans le secteur n°21, Mer des Pertuis charentais et panache de la Gironde (cf. Figure 1)

Conditions hydrographiques, habitats pélagiques et réseaux trophiques		Habitats benthiques et structures géomorphologiques		
Structures hydrologiques particulières	Zone d'interface terre-mer et panaches fluviaux	Habitats biogéniques	Habitats rocheux	Habitats sédimentaires
N.d. : langue d'eau chaude automnale	Fort* : pertuis d'Antioche, pertuis de Maumusson, pertuis breton, panache de la gironde, fortes abondances et diversité planctoniques associées,	Majeur : hermelles Fort : herbier de zostère naine, huitres plates, prés salés atlantiques Moyen : bancs de maërl	Fort : récifs infralittoraux, récifs médiolittoraux	Majeur : vase subtidale, vasière intertidale Fort : sables fins subtidaux, sables moyens subtidaux, sédiments hétérogènes envasés subtidaux Moyen : sédiments intertidaux

* L'enjeu est considéré comme fort mais les enjeux n'ont pas été hiérarchisés entre eux au sein des catégories.

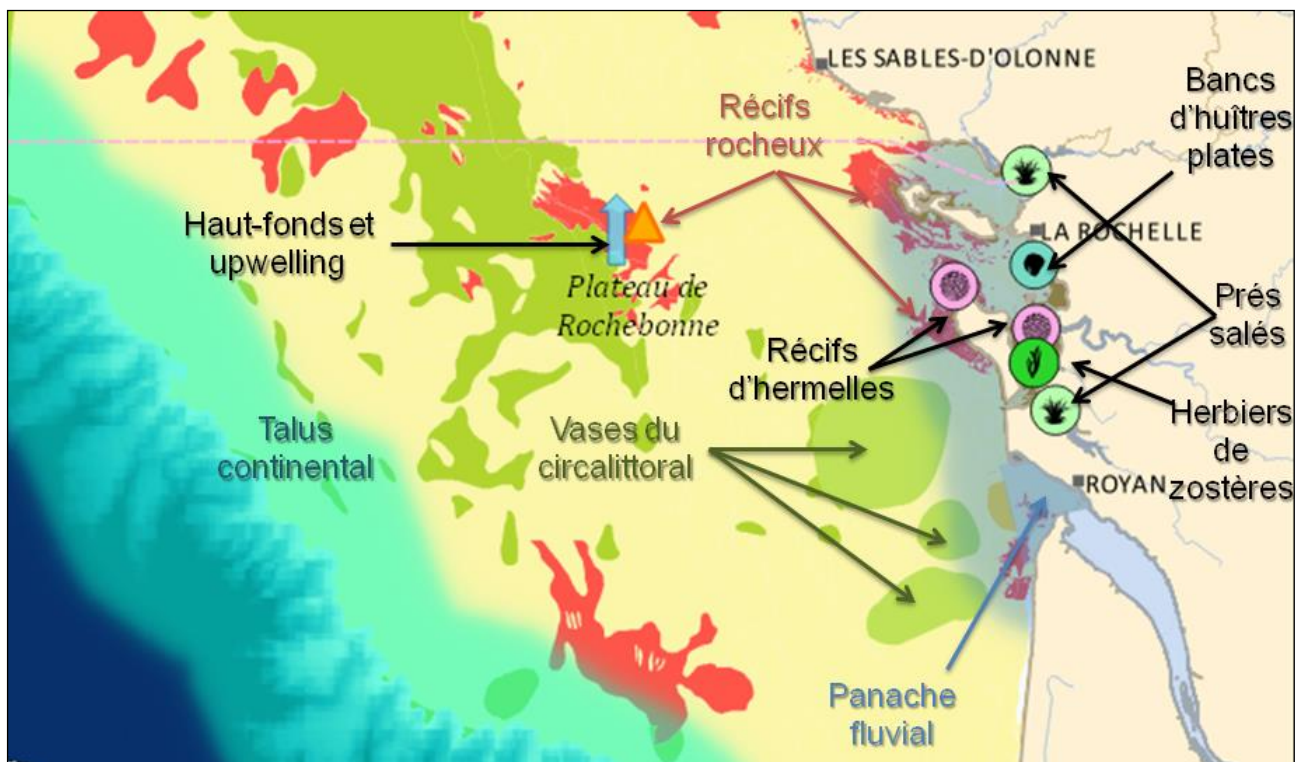


Figure 2 : Extrait de la cartographie schématique des enjeux spatialisables, concernant les conditions hydrographiques et habitats (enjeux forts ou majeurs uniquement) autour du secteur n°21 (cf. Figure 1).

Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

Plus-value de la démarche

Le travail réalisé avec l'aide des pilotes scientifiques de la DCSMM, des experts locaux et des services de l'État a permis de faire progresser de façon significative la définition des enjeux de chaque façade maritime. Ainsi, 21 grands types d'enjeux ont pu être identifiés et hiérarchisés au sein des 51 secteurs géographiques, ainsi que 11 grands types d'enjeux transversaux à l'échelle des sous-régions marines.

Ce travail a permis de formaliser et de prioriser les enjeux pour des descripteurs qui avaient peu été abordés lors du 1^{er} cycle de la DCSMM (2012-2018). Cela concerne en particulier les conditions hydrographiques, les habitats pélagiques et les réseaux trophiques, mais également certains compartiments du descripteur D1 « Diversité biologique » moins bien connus, comme les élastombranches ou les habitats profonds.

En outre, l'identification de secteurs écologiquement cohérents permet de préciser les enjeux du milieu marin. Cette approche permet de mettre en évidence les raisons pour lesquelles un espace est considéré à enjeux d'un point de vue environnemental et facilitera ainsi les étapes à venir (croisement avec les

pressions, définition des objectifs environnementaux, définition des programmes de mesures...).

Enfin, la mobilisation des experts des différentes thématiques a fait émerger de nombreux échanges « interdisciplinaires » lors des ateliers, qui ont été l'occasion de forger une vision partagée et fonctionnelles des enjeux. Ceci est particulièrement vrai pour les enjeux relatifs aux conditions hydrographiques, habitats pélagiques et réseaux trophiques.

Perspectives pour les prochaines étapes et limites de l'analyse

Le travail d'identification et de priorisation des enjeux a reposé sur une approche par critère de façon à objectiver le plus possible les résultats. Cette approche très analytique doit s'accompagner d'une lecture fonctionnelle à l'échelle de chaque secteur. Par exemple sur le secteur 1, la présence de population d'oiseaux et de mammifères en forte densité (descripteur D1) est dépendante de l'abondance des espèces « fourrages » (descripteur D4) elle-même étroitement liée aux conditions hydrographiques et aux systèmes de dunes hydrauliques (descripteur D7).

La définition des objectifs environnementaux (OE) pourra porter sur des grands types d'enjeux ou sur des enjeux plus précis au sein de chaque regroupement. De même, les objectifs environnementaux seront définis pour un secteur, un ensemble de secteurs ou l'ensemble d'une SRM, voire à l'échelle de plusieurs SRM lorsqu'ils s'avèrent transversaux.

Les résultats sont synthétisés par l'élaboration d'une représentation cartographique des enjeux pour chaque SRM et par la rédaction de fiches explicatives des enjeux identifiés sur chaque secteur. Ces éléments viennent appuyer les travaux d'élaboration des OE du 2nd cycle de la DCSMM et la rédaction des Documents stratégiques de façade (DSF).

Applications à l'éolien en mer

Cette méthode fournit un cadre homogène et rigoureux pour planifier, puis évaluer l'impact des projets éoliens en mer et des autres activités maritimes. Elle est d'ores et déjà utilisée comme outil d'aide à la décision dans la conception des Documents stratégiques de façade, qui devront être finalisés en 2019. Elle pourrait à terme contribuer à l'estimation des impacts cumulés sur la biodiversité marine de l'ensemble des projets éoliens en mer et des usages socio-professionnels du milieu marin. Pour pouvoir passer de la qualification des enjeux écologiques à la quantification des impacts, un travail considérable reste à mener à la fois en termes de développement méthodologique et d'acquisition de connaissances sur la distribution, la sensibilité et la résilience des écosystèmes des mers françaises.

Perspectives

L'étape suivante consistera à combiner l'évaluation des enjeux écologiques à des estimations de sensibilité des espèces aux effets potentiels de l'éolien en mer : risque de collision, perte d'habitat, déplacement de population, etc. A partir des données de publications britanniques (Furness *et al.*, 2013 ; Bradburry *et al.*, 2014), des indices de vulnérabilité peuvent être construits pour la plupart des espèces d'oiseaux marins fréquentant les eaux des façades Manche-Mer du Nord et Atlantique. L'exploitation des classements et des cartographies qui en résultent a d'ores et déjà permis d'examiner les impacts futurs des projets éoliens issus des premiers appels d'offres gouvernementaux, de façon cohérente et à une échelle élargie. Cette méthode pourrait à terme contribuer à l'estimation des impacts cumulés sur la faune et les habitats marins de l'ensemble des projets éoliens en mer.

Bibliographie

Collectif, Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels. Coll. Cahiers techniques n°88, AFB, 2017.

Commission OSPAR, 2003. Criteria for the Identification of Species and Habitats in need of Protection and their Method of Application (The Texel-Faial Criteria).

Convention RAMSAR. Les critères des Sites Ramsar - Les neuf critères d'identification des zones humides d'importance internationale

Convention sur la diversité biologique. Critères scientifiques pour l'identification d'aires marines d'importance écologique ou biologique devant d'être protégées dans la haute mer et les habitats des grands fonds marins. Décision IX/20 de la conférence des parties à la convention sur la diversité biologique. Annexe I.

Delage N., Le Pape O. (2016). Inventaire des zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française - Première partie : définitions, critères d'importance et méthode pour déterminer des zones d'importance à protéger en priorité. Agrocampus Ouest. 36 p.

Guérin L., Feunteun E., Gremare A., Beauvais S. (coord.), Gailhard-Rocher I., Grall J., Laurand S., Lavesque N., Lejart M., Paillet J., Personnic S., Quemmerais-Amice F., Sterckeman A., Robinet T., You H., 2013. Définition du programme de surveillance et plan d'acquisition de connaissances pour la DCSMM : propositions scientifiques et techniques (chantier 2). Thématique 1 : Biodiversité. MNHN-Service des stations marines, RESOMAR, AAMP. 201 p.

Guérin L., Feunteun E., Lejart M., You H., Gonson C., Laurand S., Lavesque N. 2012. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin. Définition du « Bon État Écologique ». Méthodes d'évaluation de l'état écologique, caractérisation du « bon état » pour la DCSMM et recommandations pour les travaux futurs. 72 p.

La Rivière M., Michez M., Aish A., Bellan-Santini D., Bellan G., Chevaldonné P., Dauvin J.-C., Derrien-Courtrel S., Grall J., Guérin L., Janson A.-L., Labrune C., Sartoretto S., Thibaut T., Thiébaud E. et Verlaque M., 2016. Evaluation de la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée aux pressions physiques. Rapport SPN 2015-70. MNHN. Paris, 101 p.

MEDDE, 2012. Plan d'action pour le milieu marin- Document d'accompagnement de l'arrêté relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines. DICOM-DGALN/COU/12038-Décembre 2012. 197 p.

Michez N., Fourt M., Aish A., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Fabri M.-C., Goujard A., Harmelin J.-G., Labrune C., Pergent G., Sartoretto S., Vacelet J., Verlaque M., 2014. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée Version 2. Rapport SPN 2014 - 33, MNHN, Paris, 26 p.

Michez N., Bajjouk T., Aish A., Andersen A. C., Ar Gall E., Baffreau A., Blanchet H., Chauvet P., Dauvin J.-C., De Casamajor M.-N., Derrien-Courtrel S., Dubois S., Fabri M.-C., Houbin C., Legall L., Menot L., Rolet C., Sauriau P.-G., Thiébaud E., Tourolle J., Van den Beld I., 2015. Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de

- l'Atlantique Version 2. Rapport SPN 2015-45 MNHN, Paris, 61 p.
- MNHN, SPN, 2010. Fiches descriptives des espèces marines de France métropolitaine (invertébrés et poissons) dont la protection est envisagée. 95 p.
- MNHN, SPN, 2010. Natura 2000 en mer et pêche : Synthèse et analyse des enjeux de conservation en lien avec les activités de pêche professionnelle. Janvier 2010. Rapport MNHN-SPN / MAAP-DPMA. 121 p.
- MNHN, SPN, 2012. Méthode d'évaluation des risques de dégradation des habitats naturels et des espèces d'intérêt communautaire par les activités de pêches maritimes. Rapport MNHN-SPN / MAAPRAT-DPMA. 69 p.
- Rufay X. et Kleszczewski M. 2008. Elaboration d'une méthode de hiérarchisation des enjeux écologiques Natura 2000 en Languedoc-Roussillon
- SIMIAN G., Auxière J-P., Doré A., Horellou A., Noël P., Siblet J-P., Trouvilliez J., Vaudin A-C., 2009. Guide méthodologique pour l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique en milieu marin. SPN-DMPA-MNHN. 108 p.
- Savouré-Soubelet A. 2015. Liste hiérarchisée d'espèces pour la conservation en France. Espèces prioritaires pour l'action publique. V1.1. MNHN – SPN. 22 p.
- Schmeller D.S., et al 2008. National responsibilities in European species conservation: a methodological review. *Conservation Biology* 22 (3) : 593–601.
- Stéphan E., Rohr A., Tachoures S., Iglésias S.P., Gadenne H. 2016. Proposition d'une méthode de hiérarchisation des enjeux de conservation pour les élasmobranches. Rapport final, Brest. 19 p.

Remerciements

Neil Alloncle, Christophe Aulert, Morgane Remaud, Sophie Caplanne et Anne Nicolas (AFB) pour leurs relectures.

A synthesis of effects and impacts of offshore wind farms upon wildlife: from seabed communities to fish, marine mammals and birds

Dr Martin PERROW¹

¹ Econ Ecological consultancy Ltd. m.perrow@econ-ecology.com

Télécharger le diaporama 

Résumé

Synthèse des effets et des impacts des parcs éoliens en mer sur la faune sauvage : du benthos aux poissons, mammifères marins et oiseaux.

Le troisième volume de *Wildlife & Wind Farms: conflicts and solutions*¹ compile tous les effets connus et potentiels des parcs éoliens offshore sur les différents niveaux trophiques de la faune marine, des communautés benthiques aux oiseaux en passant par les poissons et mammifères marins. Je présente ici une synthèse des effets et des impacts mis en évidence par les 18 spécialistes qui ont participé à la rédaction de cet ouvrage. La plupart des informations proviennent de retours d'expériences concernant des parcs éoliens offshore du nord-ouest de l'Europe.

En phase d'exploitation, les impacts sur la vie sous-marine découlent essentiellement de modifications des courants maritimes côtiers causées notamment par les effets de sillage. Ceux-ci peuvent provoquer des variations du niveau d'eau sur des surfaces importantes et modifier la productivité biologique.

Durant la phase de construction, le bruit occasionné par le battage des pieux peut provoquer le déplacement de poissons et de mammifères marins, voire de certains oiseaux. L'impact peut être temporaire mais également permanent. La perte d'habitat a ainsi pu être observée pour un oiseau nicheur durablement privé de sa ressource alimentaire.

Après la construction, les fondations des turbines ainsi que les enrochements destinés à les protéger contre l'affouillement, sont rapidement colonisés, souvent par des anémones, des amphipodes et des moules. Cet effet de récif est généralement considéré comme positif car il conduit à l'agrégation de poissons, notamment de grands prédateurs comme la morue, attirant ainsi des mammifères marins et des oiseaux tels que les cormorans. Cependant, le risque que les parcs éoliens puissent servir de support au développement d'espèces envahissantes ne peut pas être exclu.

Le dérangement provoqué par les éoliennes en phase d'exploitation affecte différemment les oiseaux suivant les espèces. Les plongeurs et les canards marins sont les plus sensibles, mais les impacts sur la condition physique des individus restent méconnus. Peu de cas de collisions ont pu être constatés, notamment parce qu'il reste techniquement difficile d'enregistrer de tels événements. Quelques études montrent que les individus ont une réponse variable face au risque de collision, et que cette réaction peut également varier selon le statut de reproduction. Les collisions massives d'oiseaux migrateurs et de chauves-souris suscitent des inquiétudes considérables, même si les preuves restent pour le moment limitées.

Les effets cumulés de plusieurs parcs éoliens en mer ont à peine commencé à être abordés. En attendant que d'autres recherches combleront les lacunes de connaissance, le principe de précaution devrait s'appliquer. Cela passe notamment par une sélection prudente des sites et des emplacements des turbines de manière à éviter les conflits. C'est sans doute un élément clef pour atteindre l'objectif final d'un scénario gagnant-gagnant pour la faune et l'énergie éolienne.

*Note : ce résumé ainsi que le diaporama qui accompagne ces actes sont une traduction en français de documents initialement rédigés en anglais. Cette traduction a été réalisée par la LPO pour la commodité des lecteurs francophones. Pour retrouver les propos exacts de Martin Perrow, veuillez consulter le troisième tome de *Wildlife & Wind Farms: conflicts and solutions*.*

¹ Wildlife and Wind Farms - Conflicts and Solutions, Volume 3: Offshore: Potential Effects (978-1-78427-127-5)

Throwing Precaution to the Wind: Uncertainty and the Precautionary Principle in Wind Farm Assessment

Aly McCLUSKIE¹

¹ Royal Society for the Protection of Birds (RSPB). Aly.McCluskie@rspb.org

Télécharger le diaporama 

Abstract

There has recently been a massive expansion in the development of offshore renewable wind energy in the United Kingdom, representing an unprecedented industrialisation of the marine environment. Some expansion is crucial if we are to mitigate the effects of climate change but there is also a legal, and indeed moral, imperative to protect the marine environment and its biodiversity. Despite this imperative, the risks to wildlife and in particular seabirds have not been fully quantified, with considerable uncertainty existing as to the scale and nature of any impacts. The first step to quantifying risk is to identify the sources of uncertainty, and yet any identification, categorisation or quantification of uncertainty has rarely been carried out.

The Precautionary principle ensures that where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty is not used as a reason against preventative decision, thus ensuring that the existence of the risk/ uncertainty is sufficient to ensure environmental protection. However due to the large uncertainties involved, it has been argued that there is an over-precautionary approach being taken to the assessment of offshore wind farm developments.

However we argue that the aim should be to reduce the uncertainty not precaution. Using examples from the UK of offshore wind farm developments, and the assessment process, both scientifically and procedurally, this talk will describe the legal and assessment requirements and how the precautionary principle can be misapplied despite the scale of uncertainty. We will also highlight the examples where positive efforts have been made to reduce the uncertainty.

New technology for 3D bird detection radar

Olivier LACROUTS¹, Antoine DUMOULIN¹

¹ Diadès Marine. olivier.lacrouts@diadesmarine.com (+33 5 45 21 81 59)

Pour toute information complémentaire, vous pouvez contacter : george.beaumont@diadesmarine.com

Télécharger le diaporama



Résumé

DIADES MARINE était présent à la troisième édition du séminaire « Eolien et Biodiversité » organisé par la LPO avec le soutien de l'ADEME, du MTEs, de la région Nouvelle-Aquitaine, du SER et de la FEE., les 21 et 22 Novembre 2017 au Campus Atlantica à Artigues-près-Bordeaux afin de présenter son radar avifaune : le 3DFlighTTrack.

En ligne avec le thème en question, DIADES MARINE a dévoilé aux professionnels les résultats préliminaires de mesure du premier radar avifaune 3D temps réel du marché qui permet de détecter, de positionner et de pister tout objet volant, dont les oiseaux, en temps-réel et en trois dimensions.

Outil de mesure et d'archivage de données, il est également capable de fournir de manière prédictive la trajectoire future de toute « cible » pistée, encore en 3D.

DIADES MARINE est convaincu que la détection avancée grâce à l'outil radar est la solution la plus efficace pour mieux comprendre les habitudes et les comportements des oiseaux sédentaires et migrateurs et que de ce fait le radar peut devenir un véritable outil de mesure et d'analyse en ce qui concerne les éventuels impacts des parcs éoliens offshore – et terrestre – sur la migration des oiseaux et sur leurs habitats à proximité des sites.

Abstract

DIADES MARINE took part in the 3rd edition of the Windpower and Biodiversity seminar organised by the LPO with the support of ADEME, MTEs, SER, and FEE last November at the Atlantica Campus near Artigues-près-Bordeaux, SW France, to introduce its avifauna radar: the 3DFlighTTrack.

In line with the theme of the seminar, DIADES MARINE unveiled to the industry's players the preliminary results of the first real-time 3D bird radar that is capable of detecting, positioning and tracking any flying object such as birds in real-time and in three dimensions.

The 3DFlighTTrack can be used as a genuine measuring system and data-archiving tool that is also capable of predicting the future route of all tracked "targets", again in 3D.

DIADES MARINE is convinced that advanced detection thanks to radar systems is the most efficient solution available to gain a better understanding of sedentary and migratory birds' behaviour around wind farms. DIADES believes that radar should become a trusted data gathering and analysing tool in regards to the eventual impacts of offshore – and terrestrial- wind farms on bird migration corridors and on their habitats located in the vicinity of current and planned wind farm locations.

Motivation

L'impact des parcs éoliens terrestres et offshores sur l'avifaune, est un sujet important pour l'environnement, pour les associations de protection des oiseaux ainsi que pour les exploitants et promoteurs de parcs car il détermine souvent la viabilité du projet éolien. La difficulté d'établir des relevés fiables et permanents (h24 – 7j/7 – 365j) et l'aspect chronophage et coûteux d'une étude sur l'avifaune nuisent à la cohérence du discours entre les différentes parties et ne permettent pas de converger sur l'impact véritable et sur

les solutions à mettre en œuvre pour minimiser cet impact.

Différents radars avifaunes existent sur le marché. Cependant ces systèmes radars sont en général une combinaison de plusieurs radars du commerce et ne permettent pas de pouvoir détecter, suivre et renseigner sur l'altitude de vol des oiseaux en temps réel et sur 360° en azimut.

De plus, ils enregistrent souvent les fichiers de données brutes ce qui implique d'effectuer un post-traitement extrêmement chronophage et critiquable

dans son exactitude, et fournit les données en temps différé (ce qui ne permet pas d'ajuster les moyens de mesure au contexte si besoin).

Que ce soit pour la surveillance de site (aéroport, parc éolien) ou pour des opérations de suivi ornithologique, la détection et le suivi d'oiseaux impliquent de connaître l'altitude et les caractéristiques de vol en temps-réel de ces derniers.

Sous l'impulsion de l'ADEME (Appel à projet BIODIVERSITE), l'entreprise DIADES MARINE, a conçu le radar 3DFlightTrack répondant aux besoins spécifiques de la détection et du suivi de l'avifaune et d'objet volants.

Ce radar utilise le principe de l'écartométrie angulaire, ce qui lui permet de calculer l'altitude de vol en un seul tour d'antenne. La mise à jour de chaque

piste s'effectue en 2,5 secondes, sur 360° en azimut et sur une élévation d'environ 20°.

Seules les données importantes de trajectoire (altitude, position GPS, etc.) et exploitables sont enregistrées dans un format synthétique et sur base de données. Cela permet de réduire considérablement la quantité de données à stocker, d'augmenter la vitesse de traitement et donc de faciliter énormément l'extraction de données statistiques cohérentes et fiables avant de les analyser.

Méthodologie

Le radar a été installé sur le site de Dirac (16410) pendant un mois (mi-octobre à mi-novembre 2017).

La figure ci-dessous montre l'emplacement du site de mesure ainsi que les données topographiques du terrain.

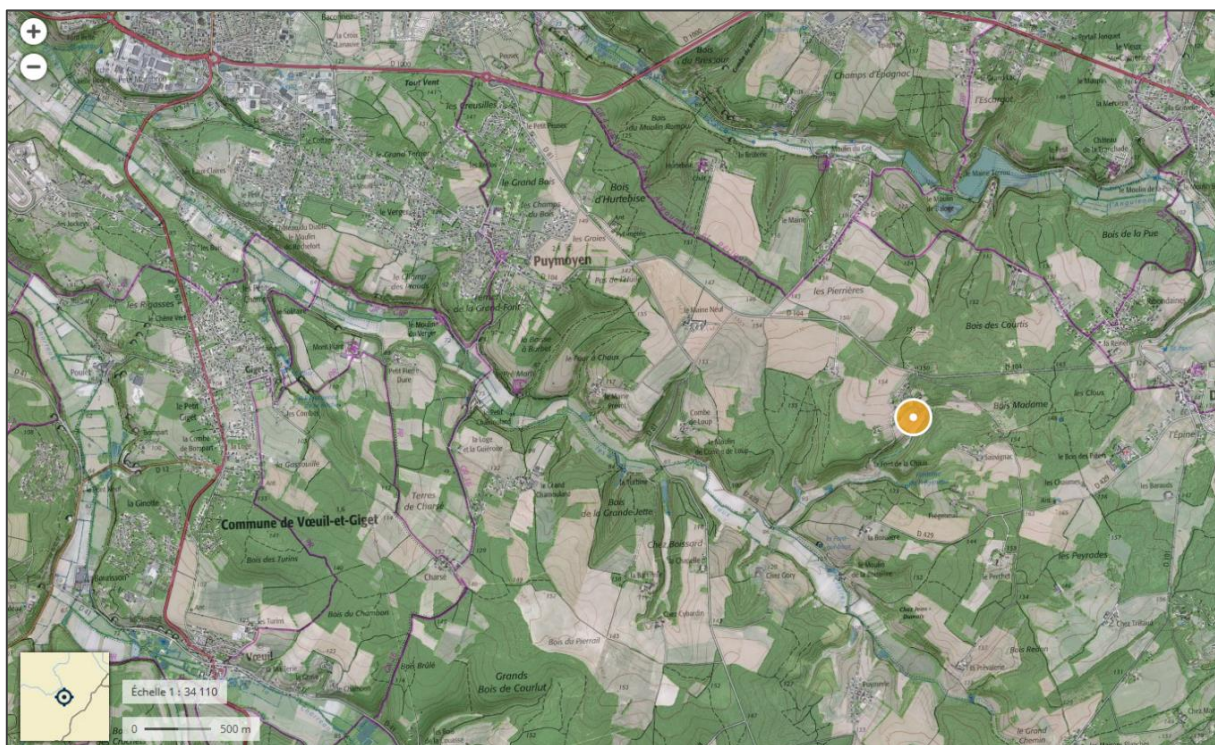


Figure 1: site d'implantation du radar 3DFlightTrack

L'avantage principal de cet emplacement est le fait qu'il se trouve positionné sur l'un des deux couloirs migratoires principaux de grues cendrées en France et qu'il est dans un environnement riche en oiseaux sédentaires.

Afin d'obtenir des mesures de caractéristiques de vol pertinentes, le radar a été calibré à l'aide d'un drone DJI Phantom 3. Ce drone possède une surface équivalente rayonnée (SER) connue d'environ 0,1 m² ce qui est équivalent à la SER d'un couple de grues cendrées. Ce drone a été choisi également pour son interface de pilotage, permettant de contrôler précisément sa position dans l'espace et notamment son altitude.

Les figures 1 et 2 montrent la proximité de la forêt environnante du système radar. Notre objectif est d'évaluer l'aptitude et les limites du radar dans un environnement topographique très contraint.

Nous noterons que cette configuration nuit à la portée minimale et maximale de détection du radar et l'empêche de voir des oiseaux évoluant à des altitudes inférieures à 100 m (contextuel - selon altitude la forêt) par rapport au plan de pose du radar, sur les angles masqués par les forêts. Ainsi, dans le cas d'émissions d'impulsions longues, favorables à la détection de pistes à longue distance, une zone aveugle est créée à cause de la proximité des arbres et cette dernière est comprise entre 300 et 1 000 mètres en fonction de l'orientation du radar et de la topographie du terrain.



Figure 2: vue du radar sur le site de Dirac (16410)

Dans le but de calibrer le radar et d'obtenir une bonne compréhension des limites de détection du radar, le drone a effectué plusieurs vols sur différents sites choisis dans un rayon maximum de 2,5 km autour du radar. Ceci permet de calibrer le radar avec une précision en altitude comprise entre 1 et 2 %. Cependant, en environnements favorables, la portée maximale du radar est de 10 km environ.

Une des fonctionnalités avancées de ce radar est la capacité à supprimer les objets fixes (forêts, structures) par traitement d'image (suppression de la scène radar). Cela permet de ne garder que les cibles mobiles sur l'image radar affichée ce qui facilite grandement la détection et le suivi des cibles par l'utilisateur en environnement défavorable, tel que ce dernier.

Durant toute la campagne de mesure, les données de trajectoire de vol ont été enregistrées dans un fichier CSV (taille max : env. 50 Mo), permettant, après un simple post-traitement, de positionner temporellement et géographiquement chaque piste.

Les caractéristiques archivées de chaque piste sont les suivantes :

- Position de la cible en 3D :
 - Latitude, Longitude, altitude,
 - Azimut, élévation et distance de la cible par rapport au radar.
- Vitesse.
- Surface de la piste,
- Datation temporelle, durée d'observation et nombre de points de mesure de chaque piste
- Intensité de la piste

Toutes les données archivées peuvent être accessibles en temps-réel via lien IP (wifi, Ethernet, connexion distante).

Résumés des résultats

Afin d'illustrer la cohérence des données recueillies par le radar 3DFlighTTrack, nous avons décidé d'analyser deux journées entières d'observation.

Selon le site internet de la LPO Champagne-Ardenne, la migration des grues cendrées a été très importante le 13 novembre et plus faible le 18 novembre 2017.

Les figures ci-dessous montrent les mesures effectuées par le radar 3DFlighTTrack pendant ces journées.

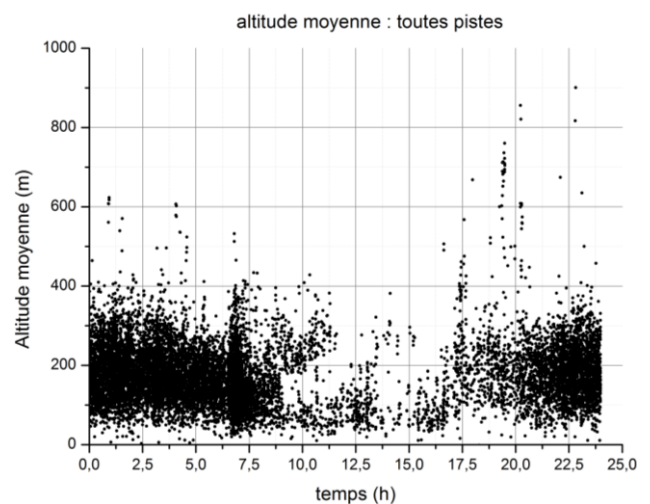


Figure 3: altitude moyenne de toutes les pistes détectées par le radar – durant la journée du 13-11-2017

La figure 3 présente l'altitude moyenne de toutes les pistes détectées par le radar pour la journée du 13 novembre 2017.

On peut observer qu'un nombre très important d'oiseaux a été détecté durant cette journée. Ce graphique montre plusieurs comportements au niveau de l'avifaune.

On remarque notamment que plus de 90 % des pistes ont été détectées entre le crépuscule et l'aube, autrement dit pendant la nuit. On peut également apercevoir deux pics caractéristiques situés respectivement juste avant le lever et le coucher de soleil.

La figure 4 montre quant à elle, l'altitude moyenne des pistes détectées par le radar durant la journée du 18 novembre 2017.

On remarque sur ce graphique beaucoup moins de pistes détectées par le radar, ce qui est cohérent avec les données fournies par la LPO Champagne-Ardenne, bien que toutes les pistes ne correspondent pas à des vols de grues cendrées. Cependant l'aspect comportemental de l'avifaune est cohérent avec un pic d'activité situé vers l'aube.

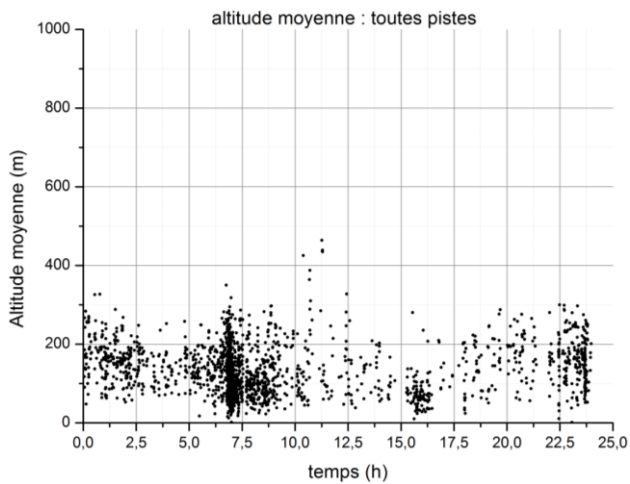


Figure 4: altitude moyenne des pistes détectées par le radar – durant la journée du 18-11-2017

Sur les figures 3 et 4, on peut remarquer que la majorité des cibles évolue à une altitude comprise entre 100 m et 250 m par rapport au plan de pose du radar. Si l'on corrèle le nombre de cibles détectées avec leur altitude moyenne, il est très probable qu'une grande partie des cibles correspond à de l'avifaune locale, des espèces sédentaires.

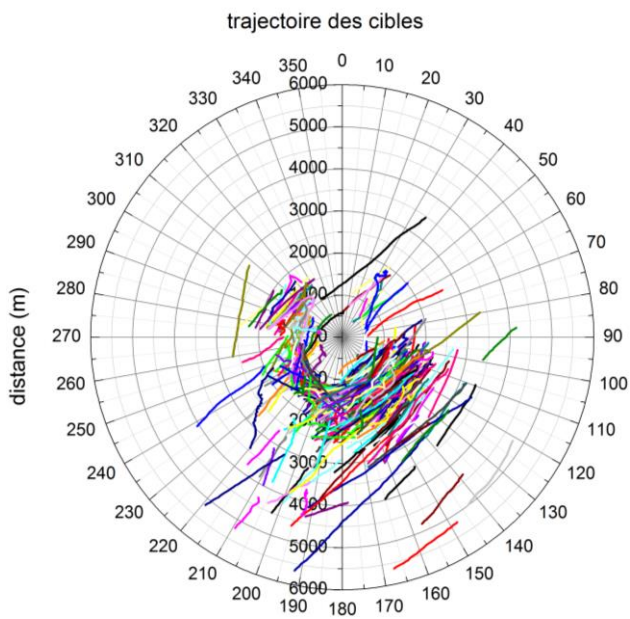


Figure 5: trajectoire des pistes ayant une durée de vol > 45s durant la journée du 13-11-2017

La figure 5 représente les trajectoires des pistes détectées par le radar pendant plus de 45 secondes durant la journée du 13 novembre 2017.

On peut apercevoir que la plupart des oiseaux empruntait une trajectoire dans le sens nord-est – sud-ouest, correspondant au sens du couloir migratoire des grues cendrées de la région. On peut également voir que certains vols ont pu être détectés jusqu'à une distance avoisinant les 6 000 mètres (rayon d'étude initial du radar).

Des pistes ont également été détectées en provenance du sud et sur une plage de distance comprise entre 1 000 m et 2 000 m. Ces caractéristiques

de vol sont typiques de vols de transit de l'avifaune locale, car ces trajectoires se situent au-dessus des zones boisées.

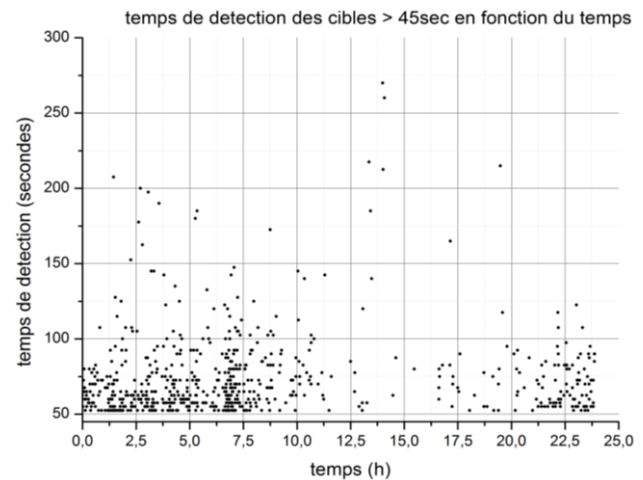


Figure 6: pistes ayant une durée de détection > 45 secondes durant la journée du 13-11-2017

La figure 6 représente la répartition des pistes ayant été détectées pendant plus de 45 secondes durant la journée du 13 novembre 2017. On retrouve bien la tendance comportementale de l'avifaune locale avec un pic d'activité à l'aurore. Cependant ce graphique nous montre que plusieurs vols d'oiseaux ont été détectés pendant une durée largement supérieure à 150 secondes.

Afin de pouvoir isoler les vols migratoires de grues cendrées, ou les vols migratoires composés d'un nombre important d'oiseaux, il existe une technique radar qui consiste à appliquer un filtre de surface d'écho sur les données.

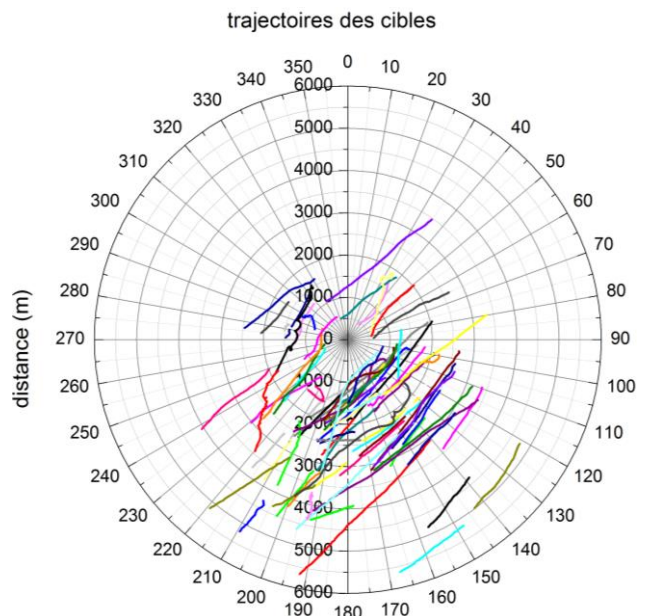


Figure 7: trajectoire des pistes ayant une durée de vol > 45 s et une surface d'écho supérieure à 20 000 m² pour la journée du 13-11-2017

La figure 7 indique la trajectoire des cibles ayant une surface d'écho supérieure à 20 000 m² (polygone englobant l'étalement du vol, augmenté de l'étalement radar). Cette figure nous montre la pertinence du filtre afin de garder uniquement les pistes qui nous

intéressent, soit les vols d'oiseaux migratoires de taille importante.

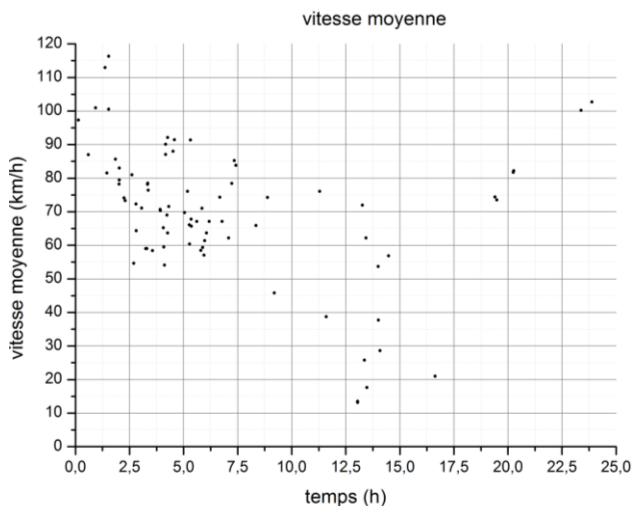


Figure 8: Vitesse moyenne des pistes ayant une durée de vol > 45 s et ayant une surface d'écho radar supérieur à 20000m² durant la journée du 13-11-2017

La figure 8 représente la répartition de la vitesse moyenne des vols durant la journée du 13 novembre 2017. La plupart des vols évoluaient à une vitesse allant de 60 km/h à 90 km/h. Cependant plusieurs vols ont enregistré des vitesses atteignant les 120 km/h. Si l'on corrèle les données de vitesse avec les données d'altitude de la figure 9, ces vitesses de vol élevées ont été atteintes par les vols migratoires évoluant à une altitude élevée, profitant donc des courants aériens.

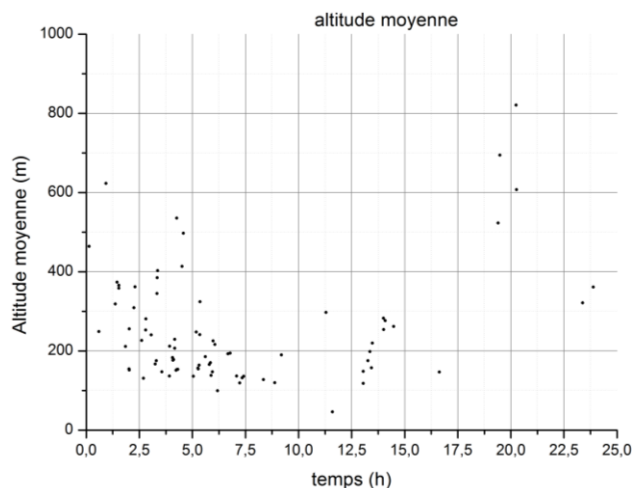


Figure 9: altitude moyenne des vols ayant une durée > 45 s et une surface d'écho > 20 000 m² durant la journée du 13-11-2017

La figure 9 indique la répartition de l'altitude moyenne des cibles avec les filtres appliqués précédemment. On remarque que la plupart des vols ont évolué durant la journée du 13-11-2017 à une altitude de 200 m environ et que certains vols d'oiseaux ont atteint une altitude avoisinant les 800 m. On remarque également qu'une grande partie des vols s'est déroulée entre minuit et 7 h du matin. Enfin, nous observons la disparition du pic d'activité pré-aube indiqué qui était visible sur les figures n'ayant pas de filtre de surface d'échos. Ce phénomène nous permet

de confirmer que le pic d'activité correspond bel et bien à de l'avifaune locale.

Conclusion, perspectives et applications possibles

L'intérêt d'un radar à détection tridimensionnelle en temps-réel dans une campagne de mesure de vols migratoire a été clairement démontré par cette première campagne d'essai de ce nouveau radar 3D.

Le radar 3DFlighTTrack a permis non seulement de détecter des vols migratoires mais également de surveiller et d'enregistrer l'activité de l'avifaune locale grâce aux données recueillies.

Les vols migratoires ont été dissociés de ceux de l'avifaune locale grâce à l'application de filtres simples sur les données de trajectoire et de surface. Le nombre et la diversité des données enregistrées par ce radar permettent non seulement de caractériser avec précision la trajectoire en trois dimensions de chaque piste, mais aussi de pouvoir interpréter avec un certain degré de certitude, le comportement et le type de vol migratoire détecté par le radar.

Le radar 3DFlighTTrack bénéficie aussi d'un excellent comportement (vraisemblablement même meilleur) en milieu maritime (essais menés en zone côtière – zone protégée en Vendée et en Charente-Maritime).

Grâce à sa détection « immédiate et fort taux de détection », ce radar peut tout à fait être asservi à une exploitation éolienne et/ou à un système d'effarouchement afin de limiter l'impact des champs éoliens sur l'avifaune tout en préservant le rendement de production cherché par les exploitants de parcs.

Une caméra PTZ (Pan, Tilt, Zoom) peut également être asservie par ce radar en temps réel afin d'augmenter la probabilité d'identification des espèces des oiseaux de manière automatique.

Les équipes de recherche de DIADES MARINE vont consacrer le premier semestre 2018 à qualifier le radar (détermination de la précision absolue / détermination des domaines d'emploi, contraintes et limites), à augmenter sa portée de détection vers 10 km, et à augmenter sa discrimination en milieux encombrés (forêts, vallons, villes, aéroports, etc.).

Les équipes techniques de DIADES MARINE vont finaliser l'industrialisation du produit durant le premier semestre 2018 pour une commercialisation / livraison dès juin 2018.

Remerciements

La société DIADES MARINE tient à remercier toutes les parties ayant participé à ce projet, notamment la LPO et L'ADEME.

Environmental Impacts and Responsibilities - How to foster cohabitation between Offshore Wind Farms and the Marine Environment

Dr Eva PHILIPP¹

¹ Vattenfall. eva.philipp@vattenfall.de

Télécharger le diaporama 

Abstract

Wind power is the fastest growing energy source in Europe and plays a key role in the achievement of the European Union's climate goals. Vattenfall operates over 1000 turbines in Onshore and Offshore locations of Sweden, Denmark, Germany, the Netherlands and the UK. Together, these turbines generated almost 6 TWh of renewable electricity in 2016. Being involved in over 12 Offshore windfarms from 60 to > 300 MW, Vattenfall has gained a wide range of experience throughout the full life cycle of a windfarm from development, construction, generation to decommissioning. This includes the assessment and monitoring of environmental aspects and impacts. In the presentation we will present our gained experience and knowledge of monitoring schemes and challenges during development, construction and generation of offshore windfarms in our different countries. Further we will give an overview about our R&D work we conduct at operating windfarms which aims to improve the evidence base on environmental impacts of windfarms on different species and populations, and the mitigation of such impacts to support decision making processes for offshore windfarm environmental regulations and ensure offshore wind energy construction in an environmental responsible but also cost effective manner.

From effects to impacts: Analysing displacement of Red-throated Divers in relation to their wintering home ranges

Georg NEHLS¹, Claudia BURGER¹, Birgit Kleinschmidt², Petra QUILLFELDT², Stefan HEINÄNEN³, Julius MORKUNAS², Ramunas ZYDELIS^{3,4}

¹ BioConsult SH

² Justus-Liebig Universität Gießen. b.kleinschmidt@bioconsult-sh.de

³ DHI

⁴ Ornithela

Télécharger le diaporama 

Abstract

Several seabird species show marked avoidance behaviour to offshore wind farms (OWFs) and in the light of this new and strongly expanding industry, it is of highest interest to examine how the resulting habitat loss might affect their populations and how possible adverse effects can be avoided in marine spatial planning.

Red-throated Divers (*Gavia stellata*) wintering in European marine waters are amongst the most sensitive species to anthropogenic disturbances and known to show strong avoidance of OWFs. As the species is highly mobile, individuals are likely to encounter OWFs frequently during migration and wintering and are thus affected in several staging areas. For the conservation of this red-listed species it is crucial to understand how displacement effects relate to individual movements and winter home ranges.

Diver displacement from offshore wind farms in a main staging area in the German Bight, partly declared as SPA, was studied by large-scale digital aerial video surveys and satellite tracking of individuals caught at site. Specifically, the study aimed to relate displacement effects to diver home range sizes and how OWFs affect movement patterns (e.g. relocation distances) in detail. From tracking data home ranges are calculated using kernel density estimates for areas with and without OWFs and it is analysed whether an overlap with OWFs leads to changes in usage patterns.

Initial results from aerial surveys and individual movements indicate a large-scale displacement response of Red-throated Divers following a gradient of reduced densities extending 10 km. Although 95 % kernel home ranges frequently overlap with OWF-areas, also tracking data detailed investigations of individual tracks reveal clear avoidance of OWFs and suggest a change in movement patterns depending on the distance to the closest wind farm. Tracking data revealed large home ranges of several thousand square kilometre of Red-throated Divers in the German North Sea and though displacement effects of wind farms are rather large, they affect only part of individual home ranges.

Displacement effects from offshore wind farms are related to population development in the area and discussed in the context of species conservation and future OWF planning decisions. It is concluded that approaches to monitor wind farm effects should consider both large-scale movement patterns of mobile seabirds as well as large-scale effects from offshore wind farms. Understanding how displacement of windfarms may lead to impacts on populations of seabirds requires sound knowledge of individual behaviour.

Motivation – purpose

Several seabird species show marked avoidance behaviour to offshore wind farms (OWFs) (Leopold *et al.* 2011, Mendel *et al.* 2008, Petersen *et al.* 2006) and in the light of this new and strongly expanding industry, it is of highest interest to examine how the resulting habitat loss might affect their populations and how possible adverse effects can be avoided in marine spatial planning.

The red-throated diver (*Gavia stellata*) is a protected migratory waterbird species occurring along the coasts of all countries in Northern Europe during the non-breeding period (Dierschke *et al.* 2012). Knowledge about diver ecology is highly fragmented. However, the species is considered being one of the most sensitive waterbird species to human disturbances including presence of offshore wind farms (Schwemmer *et al.* 2011, Dierschke *et al.* 2012) and wintering divers in the North and Baltic Sea are known

to show strong avoidance of OWFs (Petersen *et al.* 2006, Dewar 2011, Petersen *et al.* 2014, Welcker & Nehls 2016). As the species is highly mobile, individuals are likely to encounter OWFs frequently during migration and wintering and are thus affected in several staging areas. For the conservation of this red-listed species it is crucial to understand how displacement effects relate to individual movements and winter home ranges.

Diver displacement from offshore wind farms in a main staging area in the German Bight, partly declared as SPA, was studied by large-scale digital aerial video surveys and satellite tracking of individuals caught at site. Specifically, the study aimed to relate displacement effects to diver home range sizes and how OWFs affect movement patterns (e.g. relocation distances) in detail.

Methodology

Using ARGOS satellite transmitters (platform terminal transmitters PTTs), we tracked red-throated Divers throughout their annual cycle. Birds were captured during winter and spring 2015, 2016 and 2017 in the German North Sea and implanted with Argos transmitters which allowed tracking them for up to two years.

In addition, digital aerial video surveys using HiDefs Ltd technology were conducted for documenting species distribution and abundance in the Eastern German Bight. From tracking data individual home ranges are calculated using 95 % and 50 % kernel density estimates. Daily movements were analysed in order to investigate whether proximity of OWFs leads to changes in usage patterns.

To quantify displacement effects, telemetry data and survey data were analysed separately using species distribution modelling. We used generalized additive mixed models (GAMMs) for identifying factors describing distribution patterns of divers. The offshore environment is dynamic and constantly changing and we accounted for this by including hydrographic variables and water depth in the models. To be able to assess the displacement effect, the distance to the nearest windfarm was included as a parameter in the models.

Outputs summary

Telemetry and survey data yielded very similar modelling results. Divers aggregated in the frontal zone created by Elbe river outflow and tidal currents, and showed preference towards shallower depths. Red-throated Divers showed clear avoidance of offshore wind farms as both the probability of presence and predicted densities increased with increasing distance from wind farm perimeters. Modelling results from aerial surveys and individual movements indicate a

large-scale displacement response of Red-throated Divers following a gradient of reduced densities extending 10 km.

Initial results indicate that home ranges of red-throated divers in the German North Sea are generally large and show high individual variability. In some cases, individual home ranges contain several 'hot spots', indicating a patchy habitat use in space and time.

The large home ranges of red-throated divers include several thousand square kilometres in the German North Sea. Even though 95 % kernel home ranges frequently overlap with OWF-areas, detailed investigations of individual tracks reveal clear avoidance of OWFs and show larger daily movements when birds are close to the wind farms.

Interpretation, findings, prospects and possible developments

We found that red-throated divers are highly mobile within their wintering area and show strong displacement from offshore wind farms in the Eastern German Bight. Changes in movement patterns in the vicinity of OWFs might suggest that additional fitness costs might occur due to increased disturbance. Aerial surveys indicated changes in the distribution of divers within the main staging area, which are related to the presence of wind farms. However, it is still unknown whether this redistribution has consequences on population level. More research on individual behaviour and on the additional energetic costs due to human disturbances is needed in order to investigate the impacts of offshore wind farms on populations of seabirds.

References

- Dewar, R. 2011. Galloper wind farm ornithological technical report. SGP6514 Galloper HRA Report. (available [here](#)).
- Dierschke, V., K.-M. Exo, B. Mendel & Garthe 2012: Threats for Red-throated Divers *Gavia stellata* and Black-throated Divers *G. arctica* in breeding, migration and wintering areas: a review with special reference to the German marine areas. *Vogelwelt* 133: 163-194.
- Garthe S, Schwemmer H, Markones N, Müller S & Schwemmer P 2015: Distribution, seasonal dynamics and population trend of divers *Gavia spec.* in the German Bight (North Sea). *Vogelwarte* 53: 121-138.
- Leopold, M.F., Dijkman, E.M., Teal, L. & the OWEZ-Team. (2011). Local birds in and around the offshore wind farm Egmond aan Zee (OWEZ) (T-

- 0 & T-1, 2002-2010). Report nr. C187/11. NoordzeeWind Rapport OWEZ_R_221_T1_20111220_local_birds. IMARES Wageningen UR, Texel, Netherlands.
- Mendel, B., Sonntag, N., Wahl, J., Schwemmer, P., Dries, H., Guse, N., Müller, S. & Garthe, S. (2008). Artensteckbriefe von See- und Wasservögeln der deutschen Nord- und Ostsee – Verbreitung, Ökologie und Empfindlichkeiten gegenüber Eingriffen in ihren marinen Lebensraum. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 59, BfN, Bonn, Germany.
- Petersen, I.K., Christensen, T.K., Kahlert, J., Desholm, M. & A.D. Fox (2006): Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev, Denmark. Report request. Commissioned by DONG Energy and Vattenfall A/S. – NERI, National Environmental Research Institute: 166 pp.
- Petersen, I.K., Nielsen, R.D., Mackenzie, M.L.: (2014). Post-construction evaluation of bird abundances and distribution in the Horns Rev 2 offshore wind farm area, 2011 and 2012.
- Schwemmer P., Mendel B., Sonntag N., Diersche V. & S. Garthe S (2011): Effects of ship traffic on seabirds in offshore waters: implications for marine conservation and spatial planning. *Ecological Applications* 21: 1851-1860.
- Welcker, J. & Nehls, G. (2016): Displacement of seabirds by an offshore wind farm in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 554: 173–182.

Acknowledgements

The work presented in this presentation constitutes part of a 4- year collaborative project between BioConsult SH, Justus Liebig University and DHI Hørsholm, Denmark. The project is funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy represented by PTJ Funding.

ORJIP Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms

Henrik SKOV¹, Stefan HEINÄNEN¹, Tim NORMAN², Robin WARD², Sara MÉNDEZ ROLDAN²

¹ DHI, Agern Alle 5, 2970-DK, Hørsholm, Denmark. hsk@dhigroup.com

² NIRAS Consulting Ltd, St. Giles Court, 24 Castle Street, UK-CB3 0AJ, Cambridge, United Kingdom

Télécharger le diaporama 

Résumé

Le programme ORJIP d'étude du comportement des oiseaux dans les parcs éoliens offshore, initié en 2014, est un projet industriel coordonné par Carbon Trust au Royaume-Uni et financé par dix promoteurs de parcs éoliens offshore et deux régulateurs au Royaume-Uni. NIRAS (Royaume-Uni) et DHI (Danemark) ont été chargés de développer les technologies de détection et le cadre d'analyse nécessaires à l'amélioration de la base de données sur les comportements des oiseaux de mer et les collisions dans les zones des parcs éoliens offshore. Le projet est maintenant dans sa phase finale avec la publication des résultats attendue en avril 2018. Ce document présente le dispositif de mesure et les technologies innovantes développées ainsi que les méthodes d'analyse mises en œuvre. Les principaux résultats de l'étude ORJIP en termes de taux d'évitement spécifiques aux espèces à l'échelle macro, méso et micro seront disponibles dans le cadre du rapport final et du document scientifique associé¹.

Abstract

The Offshore Renewables Joint Industry Programme (ORJIP) Bird Collision Avoidance (BCA) study, which started in 2014 is a joint industry project managed by Carbon Trust, United Kingdom (UK) and funded by 15 parties. NIRAS (UK) and DHI (Denmark) have been in charge of developing the sensor technologies and analytical framework necessary to improve the evidence base for seabird avoidance behaviour and collisions around offshore wind farms in order to offer better support to consenting applications for the offshore wind industry. The project is now in its final stage with publication of results due in April 2018. This paper presents the setup, technology innovation and analytical methods. The main results of the ORJIP study in terms of species-specific avoidance rates at macro, meso and micro scale will be available as part of the final report and associated scientific paper¹.

Motivation – purpose

The risk of seabirds colliding with turbine blades during operation is potentially one of the most significant environmental impacts related to the development of offshore wind energy. In order to quantify bird collision risk, collision risk models (CRM) are used and parametrised with technical specifications of the turbines, seabird densities, morphology and flight behaviour of existing seabird populations on site. The collision risk is subsequently corrected to take account of behavioural avoidance responses of birds to the presence of wind farms (*i.e.* avoidance). However, there is considerable uncertainty over the scale of such impacts due to the relatively few monitoring studies undertaken offshore so far. As the number of offshore wind farm projects increases, it is widely recognised that

in order to minimise consenting risks of future project applications, further robust evidence on the level of avoidance behaviour of seabirds is required to inform CRM and environmental impact assessments.

Methodology

The ORJIP project consists of four main tasks:

- i) **Development of a bird monitoring system**, that allows detecting and tracking seabird movements at the species level in and around an operational offshore wind farm, including development of new sensor technology based on integrated radar-camera recordings under a wide range of weather and visibility conditions;
- ii) **Monitoring of seabird behaviour** at Thanet offshore wind farm (UK), deploying a multiple

¹ Skov, H., Heinänen, S., Norman, T., Ward, R.M., Méndez-Roldán, S. & Ellis, I. 2018. [ORJIP Bird Collision and Avoidance Study. Final report – April 2018](#). The Carbon Trust. United Kingdom. 247 pp.

sensor monitoring system partly operated by experienced seabird observers (laser rangefinders and radar equipment), and partly automated through the radar-camera system, with a focus on five target species: Northern Gannet, Black-legged Kittiwake, Lesser Black-backed Gull, Herring Gull and Great Black-backed Gull;

iii) **Development of an appropriate methodology for quantifying avoidance behaviour**, based on existing research and equipment / data limitations;

iv) **Formulation of recommendations on the use of project data in support of collision risk assessments** in offshore wind planning applications.

Development of a seabird monitoring system

The Study's monitoring system was designed to collect reliable data on bird avoidance behaviour at the three different spatial scales into which seabird avoidance behaviour can be broken down:

- macro avoidance, defined in this Study as seabird avoidance responses to the presence of the wind farm occurring beyond its perimeter up to 3 km, resulting in a redistribution of seabirds. Data used to inform macro avoidance have been collected by experienced seabird observers from two different turbines located at the corner and along the periphery of the wind farm using radar equipment for bird detection and tracking, and laser rangefinders for flight height measurements and tracking.

- meso avoidance, defined in this Study as seabird avoidance responses within the wind farm footprint to individual turbines (considering a 10 m buffer around the rotor swept zone), resulting in a redistribution of the birds within the wind farm footprint. Data used to inform meso avoidance have been collected from two different turbines located inside the wind farm, using 24/7 automated radars for bird detection connected to visual-thermal cameras that record bird movements. The development of software for integration of radar and camera tracking has been a major component of this Study, tested and validated at test sites before deployment at Thanet.

- micro avoidance, defined as bird avoidance responses to single blade(s) within the rotor swept zone (including a 10 m buffer), it is considered as the bird's 'last-second' action taken to avoid collision. As in the case of meso avoidance, data used to inform micro avoidance has relied on data collected by the automated radar-camera systems, which have also been able to record collision events.

Monitoring of seabird behaviour

The monitoring system was installed at Thanet during the summer of 2014, when data collection at the macro scale commenced and continued up to April 2016, with a total of 230 survey deployment days achieved (Figure 1). Automated tracking by the radar-camera system commenced in October 2014 and continued up to June 2016, when all equipment was decommissioned. Observers operating the radars located at the corner periphery of the wind farm collected a total of 1,555 tracks for the five target species, of which 1,205 were collected using the SCANTER radar; while 1,818 tracks were collected using the laser rangefinders, allowing to quantify macro avoidance at the species level. The radar-camera system collected a total of 12,131 daylight videos showing bird movements within the wind farm.

At the meso scale, video evidence and associated radar data have allowed to quantify meso avoidance at the species level, with the exception of Lesser Black-backed Gull. At the micro scale, due to the limited number of birds approaching the rotor, it has only been possible to quantify behaviour for all seabird species as a whole, and for large gulls as a group. Although a total of 459,164 videos were also collected during night time, only a sample of 48,000 night videos has been processed, finding that only very few had recorded birds, and therefore limiting analysis of nocturnal seabird avoidance.

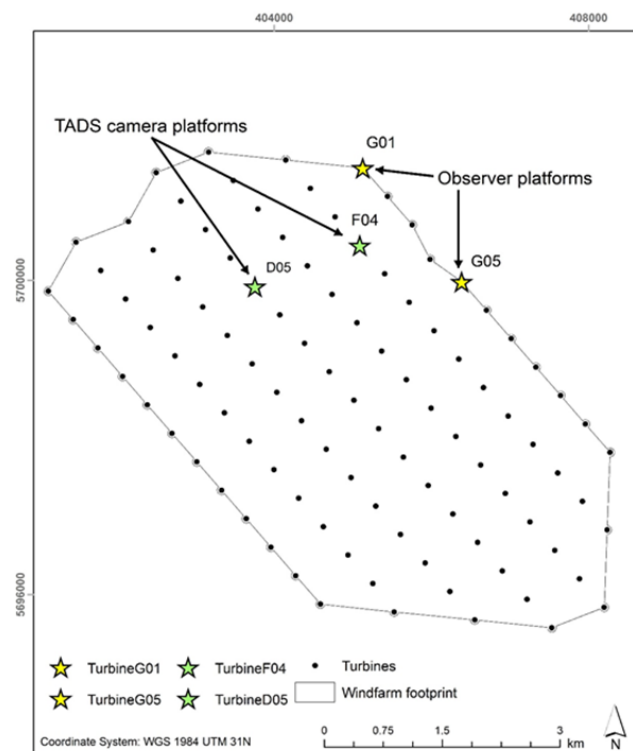


Figure 1. Sketch of installed monitoring system at Thanet offshore wind farm

Development of an appropriate methodology for quantifying empirical avoidance behaviour

The overall empirical avoidance behaviour is composed of combining empirical avoidance behaviour at the three different spatial scales mentioned above:

- macro avoidance, quantified by comparing the observed distribution of bird track density (measured as track length per unit area) inside the wind farm area with a hypothetical situation in the absence of the wind farm, in which the same total track length would have been observed, but with the same bird density inside and outside the wind farm (up to 3 km).

- meso avoidance, quantified by comparing the observed distribution of bird track density (measured as track length per unit area) inside the rotor swept zone (considering a 10 m buffer) within the wind farm, with an hypothetical situation in the absence of the wind farm, in which the same total track length would have been observed, but with the same bird density across the whole area (inside and outside to rotor swept zone and buffer).

- micro avoidance, quantified by calculating the proportion of birds adjusting or not to the presence of blades, considering bird movement in relation to the rotor, represented as a dynamic ellipse, surrounded by a 10 m buffer that changes its orientation with the wind direction (Figure 2).

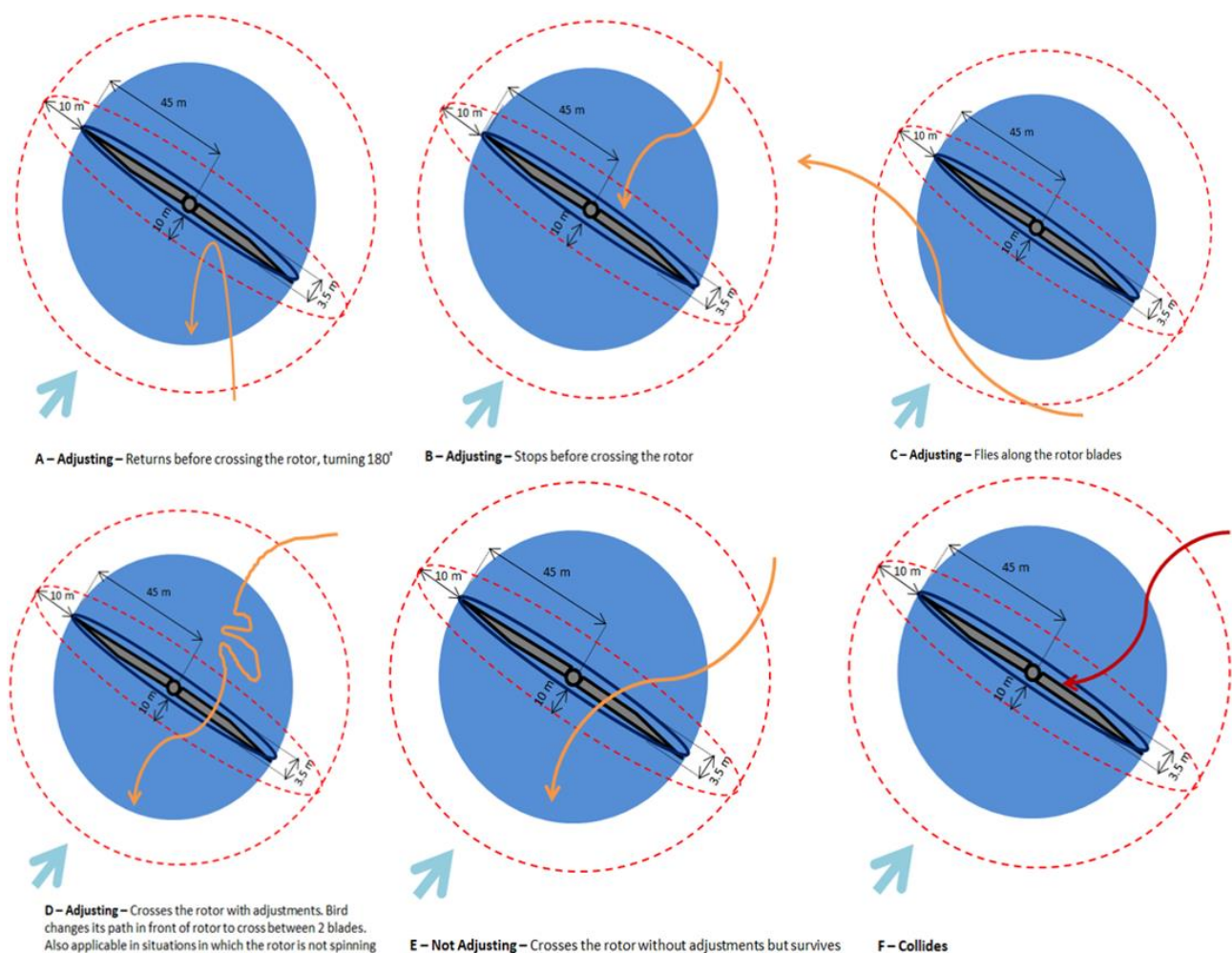


Figure 2. Illustration of micro avoidance concept and approach to analysis considered in this Study. Within the rotor-swept zone (blue circle) + 10 m buffer (red circle), arrows represent bird movement in relation to the rotor (dark blue ellipse + 10 m buffer (red ellipse)). The light blue arrow represents wind direction. Birds have been observed to adjust their flight in order to avoid individual blades or not to adjust but survive when crossing the rotor (orange arrow) or in rare occasions collide (red arrow).

The methodology used for the assessment of avoidance behaviour at macro and meso avoidance scales has been developed through the course of the Project, considering different options for the treatment and analysis of radar and rangefinder data. The original methodology based on the comparison of track counts

in avoidance areas was revised to account for the size of areas compared, *i.e.* quantification of track densities. In order to avoid results to be influenced by dissimilarity in the size (and geometry) of areas compared, these were analysed by dividing them into units of same size, and track density calculations were

approached by measuring the length of bird tracks within each unit area.

While at the macro scale the availability of full radar and rangefinder tracks has allowed to calculate track lengths easily, the absence of real tracks at the meso scale, for which only radar trigger points were collected, required the estimation of mean track lengths classified according to behaviour observed in video evidence, corrected using flight speed data outside the wind farm to ensure these were as close to reality as possible.

Outputs summary

The main results of the ORJIP study in terms of species-specific avoidance rates at macro, meso and micro scale will be available as part of the final report and associated scientific paper due early 2018.

Interpretation, findings, prospects and possible developments

The ORJIP Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms study will significantly advance understanding CRM inputs, including species-specific data on flight speed and track speeds that can inform the estimation of more realistic

fluxes of seabirds. In addition, data on nocturnal night activity was collected, as well as detailed data on the frequency of flight heights that can inform improved generic flight height distributions. The study has generated the most extensive dataset of observations of seabird behaviour in and around an operational offshore wind farm that is currently available.

Acknowledgements

This study has been funded by the 15 different parties through ORJIP, which includes representatives from regulatory bodies (UK) and the offshore wind industry; and has been advised by the Project Expert Panel, which includes representatives from statutory advisory bodies, NGOs and offshore wind consultants / researchers. Aonghais Cook and Niall Burton (Combined Ecology (British Trust for Ornithology)) and Bill Band provided important input to the development of the analytical framework of the project. Access to Thanet offshore wind farm was facilitated by Vattenfall. Data collection at the macro scale was undertaken by two teams of seabird observers from the Institute of Estuarine & Coastal Studies (IECS) and Jon Ford Environmental Ltd. Video analysis was partly undertaken by the Dansk Ornitologisk Forening (DOF) team and Marine Observers.

L'indice BATCLAS : une nouvelle technique d'identification et de cartographie à haute résolution des structures naturelles et artificielles sur les sites d'implantation marins d'éoliennes

Arnaud ABADIE¹, Pierre MARTY², Christophe VIALA¹

¹ Seaviews, 8 avenue des Belugues, 13600 La Ciotat, France. abadie@seaviews.fr viala@seaviews.fr

² Subsea Tech, 167 plage de l'Estaque, 13013 Marseille, France

Télécharger le diaporama 

Résumé

Avant chaque implantation d'un parc éolien en mer il est nécessaire de réaliser des cartes bathymétriques et biocénétiques précises afin d'identifier d'éventuels obstacles et de limiter l'impact des installations sur le milieu marin. Afin de répondre à ces obligations, Subsea Tech et Seaviews ont développé une nouvelle méthode acoustique permettant de cartographier et de positionner avec une grande précision les irrégularités du fond marin dans le cadre du projet SACLAF-SMF. Dans un premier temps, une bathymétrie de haute précision est réalisée à partir d'un sondeur multifaisceau. Les données acoustiques de la colonne d'eau sont également échantillonnées. Nous utilisons ensuite un indice de discrimination, que nous avons nommé BATCLAS (Bathymetric Automated Treatment for Classification of the Seafloor), afin de détecter des structures bathymétriques de l'ordre du décimètre affleurant le substrat (p. ex. objets, épaves) et de classer les habitats marins difficilement identifiables à l'aide des méthodes traditionnelles (p. ex. herbiers sous-marins de faible densité, petits récifs rocheux, récifs de moules peu denses).

Ainsi, l'utilisation d'un sondeur multifaisceau couplé à l'indice BATCLAS fournit :

- une identification accrue des structures artificielles et naturelles de petite taille
- une excellente précision
- une réduction des coûts d'acquisition des données
- une réduction du temps d'échantillonnage

Abstract

Prior to wind farms establishment, it is compulsory to obtain bathymetric data and maps of marine habitats with a high precision to identify possible obstacles and to limit their impact on marine biodiversity during their installation and use periods. In order to meet these requirements, Subsea Tech and Seaviews developed a new acoustic method allowing to map and position with high precision seafloor irregularities in the framework of the SACLAF-SMF project. At first, a high resolution bathymetry is produced with a multibeam echosounder and the water column data are sampled too. In a second time, we use a discrimination index, that we named BATCLAS (Bathymetric Automated Treatment for Classification of the Seafloor), to detect bathymetric structures flushing with the substrate surface in the range of a decimetre (e.g. objects, wrecks) and to classify marine habitats mapped with difficulty using traditional methods (e.g. sparse seagrass meadows, small rocky reefs, sparse mussel reefs).

The use of a multibeam echosounder coupled with the BATCLAS index thus provides:

- A more accurate identification of small size natural and artificial structures
- An excellent precision
- A reduction of data acquisition costs
- A decrease of the sampling time

Motivation – Purpose

Offshore wind farms has proved to be a good alternative to onshore wind turbines, the latter requiring space that is not always available. Offshore installations

benefit from stronger winds which lead to a higher productivity despite their increased installation and operation costs (Breton and Moe, 2009). Although the economic and energy producing advantages of offshore wind turbines are clearly visible, it is also clear that the

installation of such structures will affect marine environment. On the one hand, several impacts has been identified on various compartments of marine trophic webs such as birds, marine mammals and fish as well as on the seabeds and benthos (Snyder and Kaiser, 2009; Vaissière *et al.*, 2014). On the other hand, wind turbines are expected to constitute artificial reefs and shelter marine species in a no-take area, thus leading to a possible pill-over effect (Punt *et al.*, 2009). In any case, a careful spatial planning in compulsory prior to any wind farm installation in order to meet both high energy productivity and environmental protection. To achieve this aim, maps of marine habitats with a high precision allow to identify key habitats and artificial structures thus limiting fish farms' impact on marine biodiversity during their installation and use periods.

The SACLAF-SMF (Système Acoustique de Classification Automatique des Fonds – Sondeur Multifaisceau) project aims to create an innovative solution to automatically classify marine biotopes. More

specifically, it targets to drastically increase the precision and productivity when compared with the other mapping methods (Noël *et al.*, 2012). The main method of automated seabed acoustic classification (ASAC) relies on the use of a singlebeam echo sounder (SBES) only capable of limited surface measurements. Moreover, it requires the use of additional data from other types of captors – *i.e.* side scan SONAR images, aerial photographs, bathymetry, ground truth – to generate complete maps of the seabed.

Since the SBES has proved to be an efficient technology for discrete ASAC, it appears logical to use this methods with a multibeam echo sounder (MBES) which may combine up to several hundreds of single beams and thus, has the advantage of being a surface tool of measurements (Fig. 1). The MBES has already proved its efficiency to map various seabeds (Brown *et al.*, 2011; Prompolini *et al.*, in press) such as sediment types (Huseby *et al.*, 1993) and seagrass meadows (Komatsu *et al.*, 2003).

Bottom Coverage by Survey Method

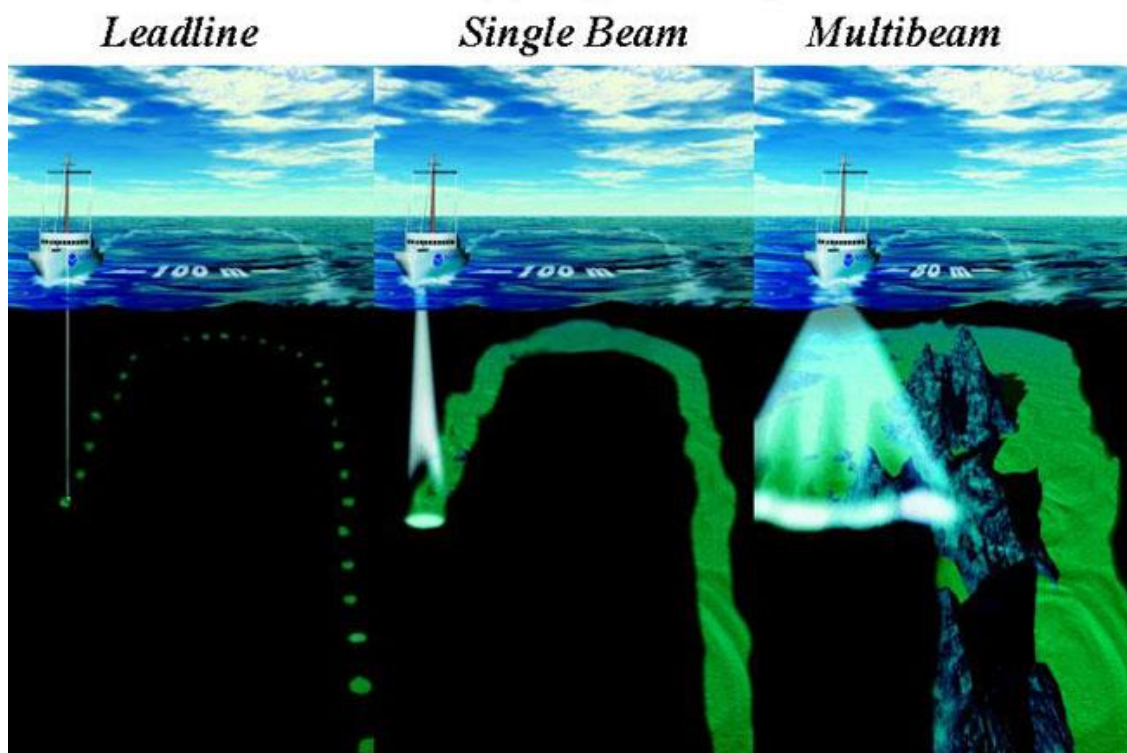


Figure 1: Coverage differences according to the survey method: punctual measures, single beam echo sounder (SBES) and multibeam echo sounder. Source: NOAA.

In the framework of the SACLAF-SMF project we aimed to develop an ASAC process using a MBES and create a new indicator – the BATCLAS index (Bathymetric Automated Treatment for Classification of the Seafloor) – to identify and map natural and artificial underwater structures. Three steps were followed to achieve this objective using a single MBES:

- the generation of bathymetric and SONAR maps (classic methods) ;
- the measurement of echo-integration (ASAC) a the nadir ;
- the development and use of the BATCLAS index to identify natural and artificial structures usually hard to detect.

Methodology

The present study focus on the results provided by the use of the ASAC to map a flat seafloor comparable of those favourable to wind turbine installation. These results benefits from a strong research phase (Fig. 2) which combines data

acquisition and classification algorithm development with feedback process (Fig. 2).

Five sites (one pilot site and four additional) were mapped in the framework of the SACLAF-SMF project. In a spirit of conciseness we present here the results for one of the additional sites which shows interesting results for the topic of wind turbine and biodiversity.

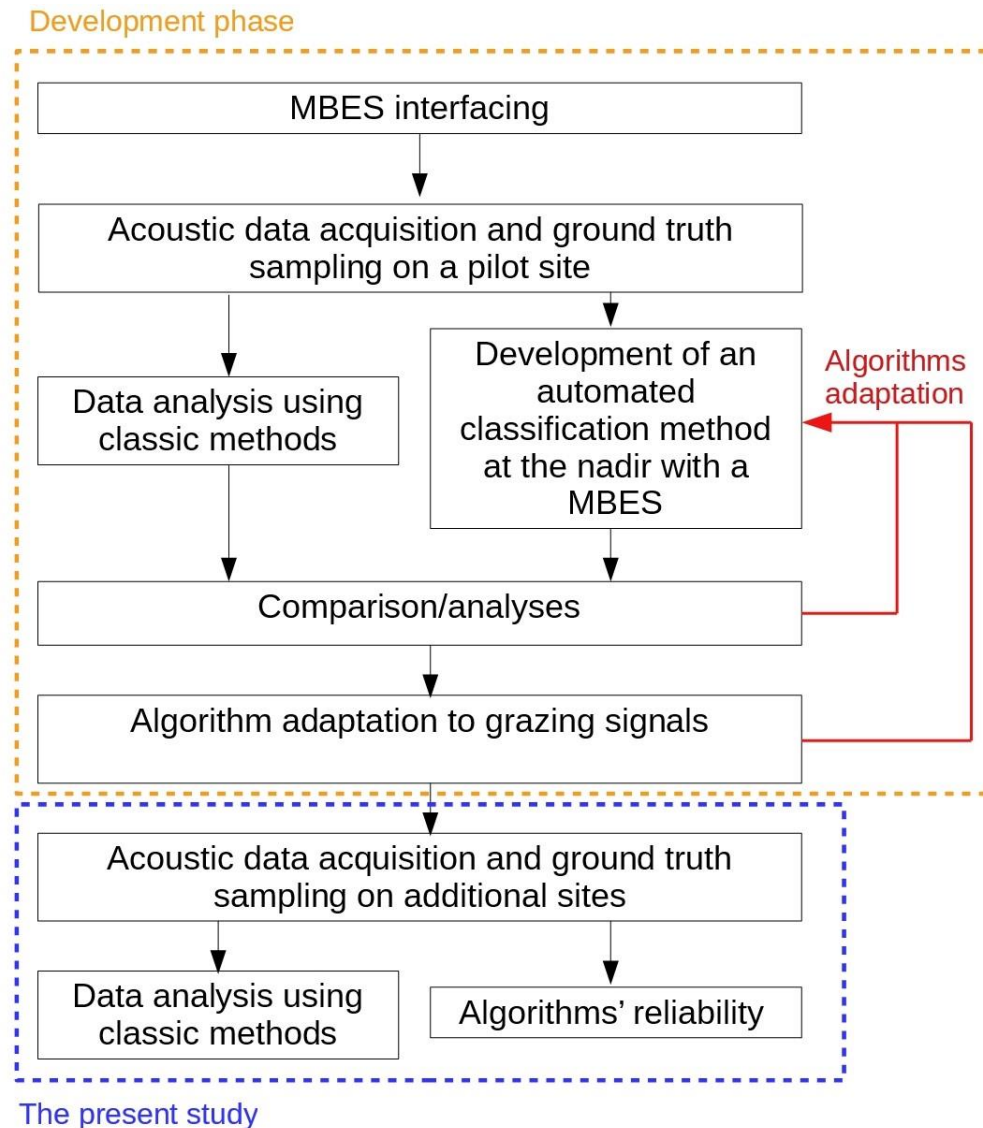


Figure 2: Phases of the SACLAF-SMF project resulting in a new automated classification method to map seabeds.

The chosen study site is situated in La Ciotat Bay in the south of France ($5^{\circ}39'56.82''$ E; $43^{\circ}10'20.05''$ N; Fig. 3). The area sampled covered an area of 1.25 km² and encompasses several types of habitats and artificial structures such as seagrass meadows (*Posidonia oceanica*), rocky beds, artificial reefs and a wreck.

Acoustic data were acquired using a R2SONIC 2022 MBES coupled with an inertial navigation unit

(roll and pitch) I2NS encompassing a full GNSS positioning mod. The MBES can provide simultaneous SONAR images while collecting other acoustic data. The navigation unit provide position with an accuracy of 1 cm on x and y axis, and 1.5 cm vertically. All the equipment is fully integrated in the "Seaviews One", a small ship specially built for bathymetric and SONAR campaigns.



Figure 3: Area mapped (red frame) in La Ciotat Bay.

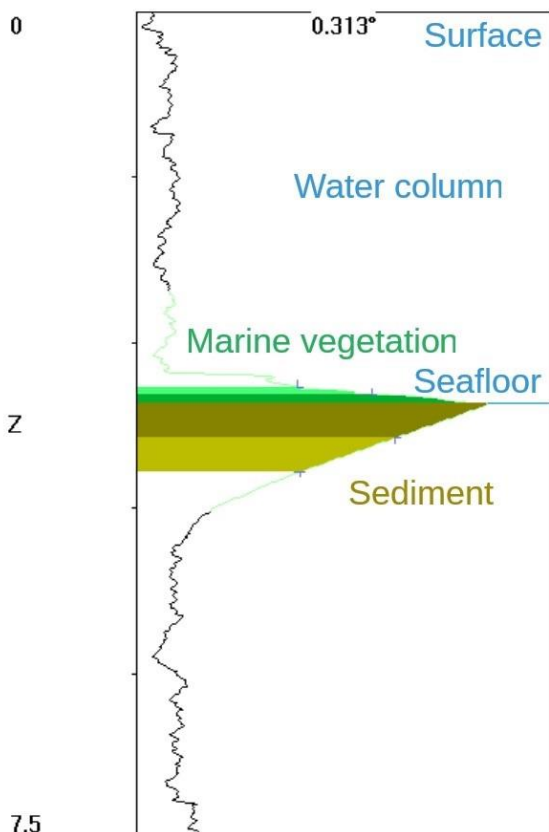


Figure 4: Signal analysis with an algorithm for automated classification of the seafloor. Green: marine vegetation. Brown: sediment.

Bathymetric and SONAR maps were extracted from the acoustic data sampled. These two map types have a resolution of 0.5 cm. The bathymetric data are presented under shape of a two-dimensional digital elevation model (DEM) with a colour gradient to show the depth range. SONAR images are pictures of the seafloor in shades of greys.

The data set was then analyzed using an algorithm which automatically classifies the seafloor’s nature by detecting and measuring the signal amplitude above and under the seafloor (Fig. 4). This signal is analyzed at the “nadir”, *i.e.* upright under the boat keel with an aperture angle of about 5°. A high signal of high amplitude before the seafloor characterizes the presence of marine vegetation (seagrasses, algae) while a wide and high amplitude signal after the seafloor characterizes a soft and fine sediment (Fig. 4). When no signal is observed both sides of the seafloor limit it reflects a hard seabed, most likely rocky beds. This ASAC provides echo-integration maps revealing marine habitats (seagrass meadows, rocky beds, sediments).

The BATCLAS index is computed by measuring the relief (or roughness) of the seafloor. This new approach of acoustic signal analysis provides a clear view of any natural and artificial submerged structures. The BATCLAS index is accurate enough to detect hard elements flushing with the sediments such as small rocky beds in the range of a decimetre or artificial objects like small wrecks.

Outputs Summary

The depth within the area studied ranges from 10.3 to 48.1 m. The seafloor shows a flat profile with a steady slope (Fig. 5). No relief is observed.

The echo-integration map confirms the observations made with SONAR images. The limit of

the seagrass meadow is visible on the north east part of the area and is materialized by the alternation of blue (sediment) and red (seagrass) (Fig. 7). Other patterns such as sediment features are hard to observe at a large scale (Fig. 7) but can be identified at smaller scale of observation.

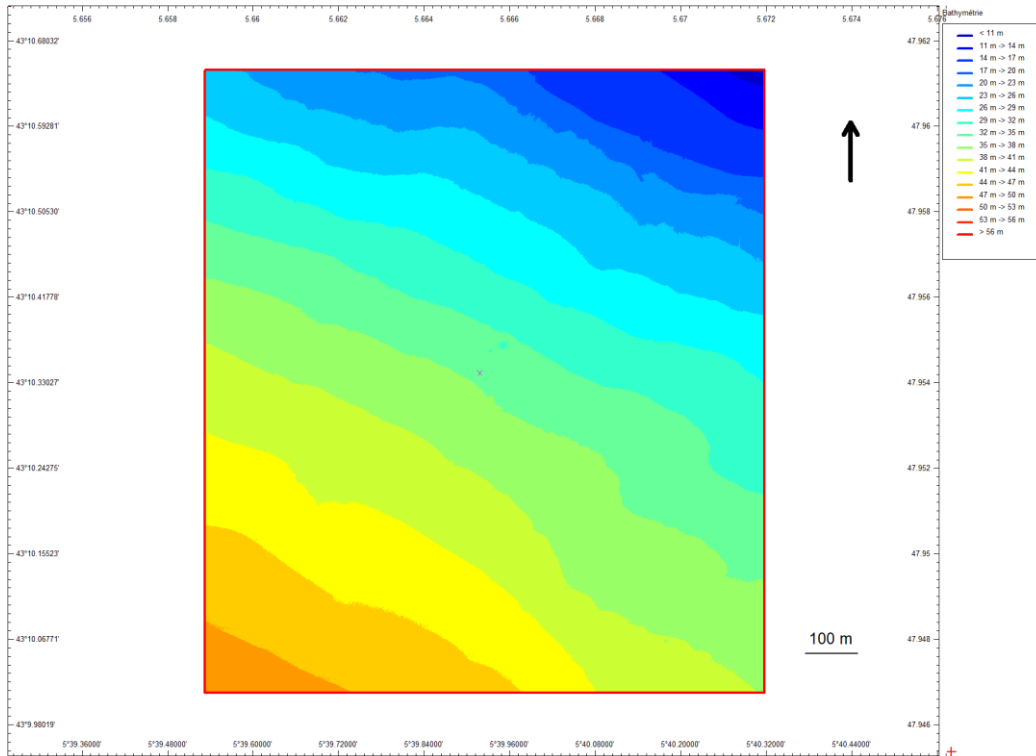


Figure 5: Bathymetric of the area studied in La Ciotat Bay.

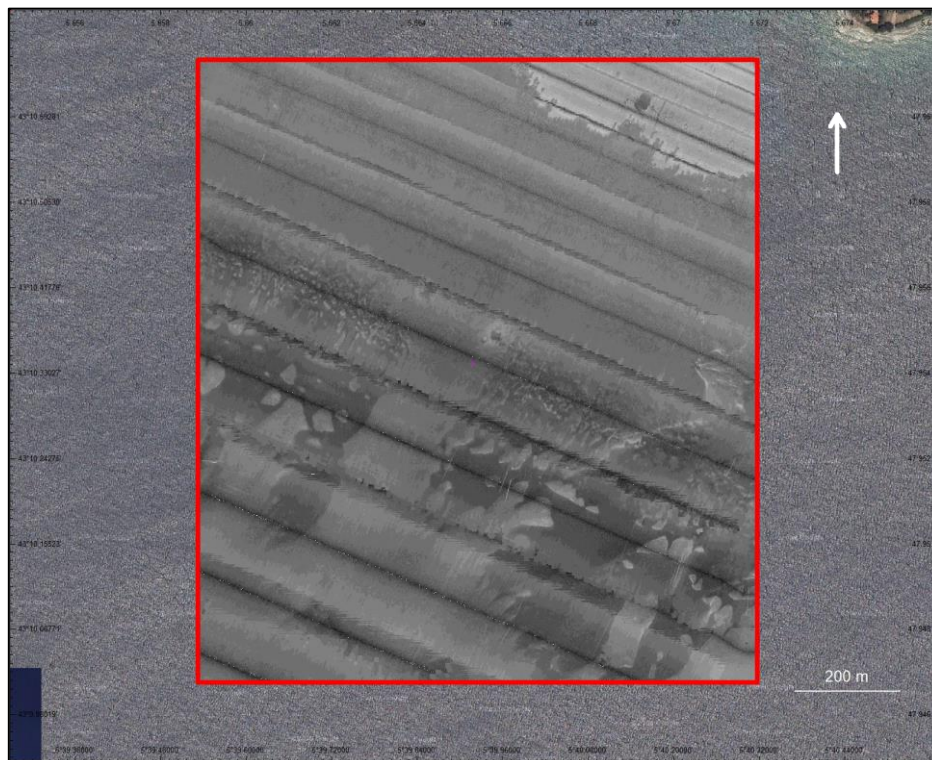


Figure 6: SONAR images of the area studied in La Ciotat Bay.

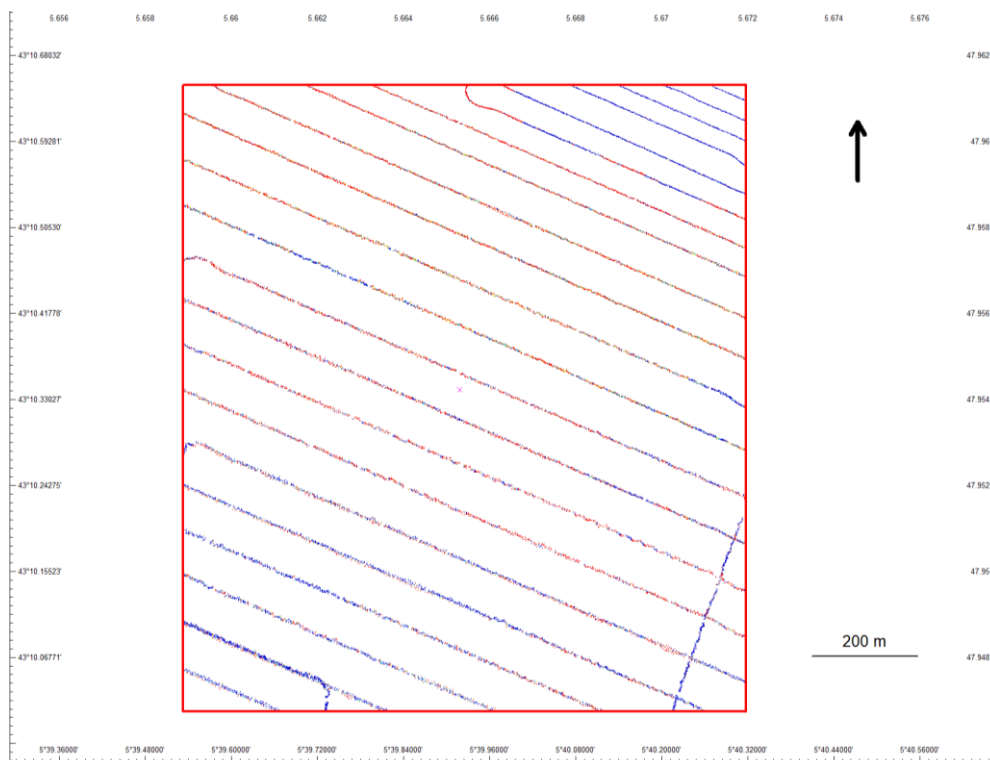


Figure 7: Eco-integration map using an automated classification of the seafloor.

On the BATCLAS index map various types of natural and artificial structures can be seen (Fig. 8). The upper limit of the seagrass meadow (*Posidonia oceanica*) in the north east corner of the map as well as its deep limit are clearly identified (Fig. 8). Small rocks flushing with sediments are also observed. Two types of artificial

reefs (one for fish production and one against illegal trawling) are also mapped. The wreck of a World War II aircraft (a famous diving spot) is detected too. At last, some sediment features are observed just like on the SONAR images (Fig. 6).

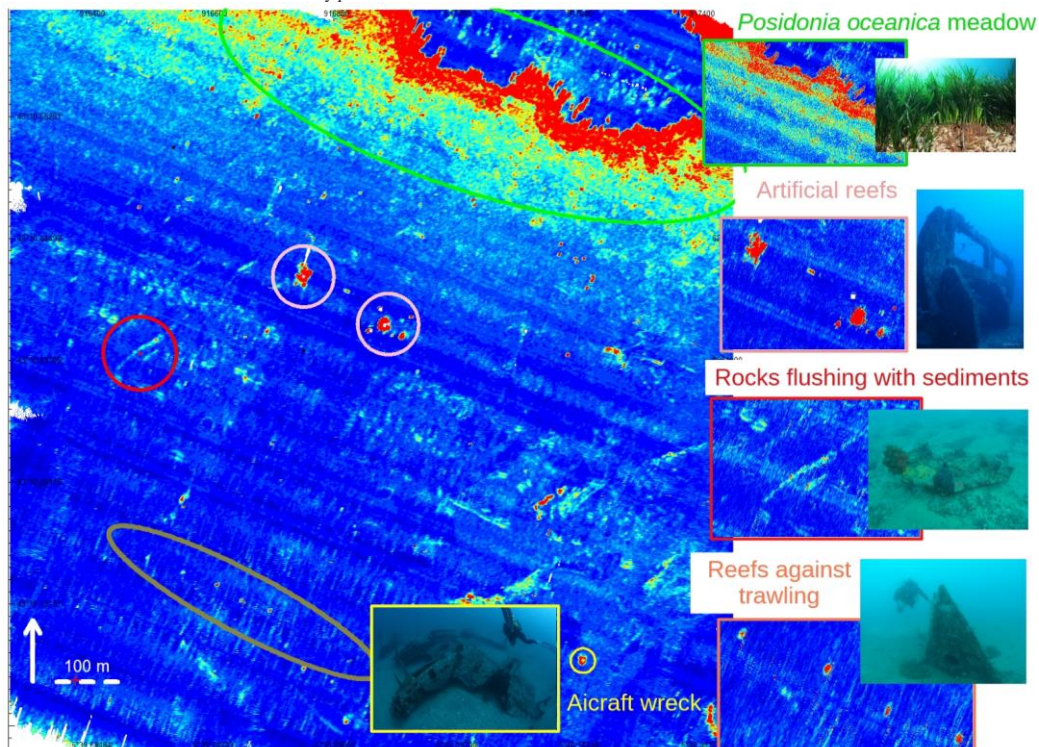


Figure 8: Map of the BATCLAS index and pictures of the ground truth campaign of the area studied in La Ciotat Bay.

Interpretation, findings, prospects and possible developments

In the framework of the SACLAF-SMF project, the use of a MBES for ASAC proved to have several advantages when compared with the use of a SBES:

- the increase of the surface covered and thus a productivity increase
- the use of a single captor to obtain simultaneously bathymetric maps, SONAR images, an automated classification of the seafloor and the BATCLAS index
- an increase of the automated classification depth range without false positive

identification: up to 30 m for a SBES and up to 60 m for a MBES in the present study

Despite these advantages, the ASAC with a MBES still requires additional data such as ground truth and aerial photographs (at shallow depth) to generate a complete map of marine habitats. To tackle this issue, the equipment used during the SACLAF-SMF project has been carefully chosen in order to be compact enough for an integration on small boats able to operate in areas not easily accessible. These small ships can be manned vessels such as the “Seaviews One” optimized by Seaviews for acoustic measures and which can carry a scuba diving team; or drones like the Unmanned Surface Vehicle (USV) CAT-Surveyor developed by Subsea Tech (Fig. 9) which can deploy a Remote Operated Vehicle (here a mini ROV) to collect additional ground truth.

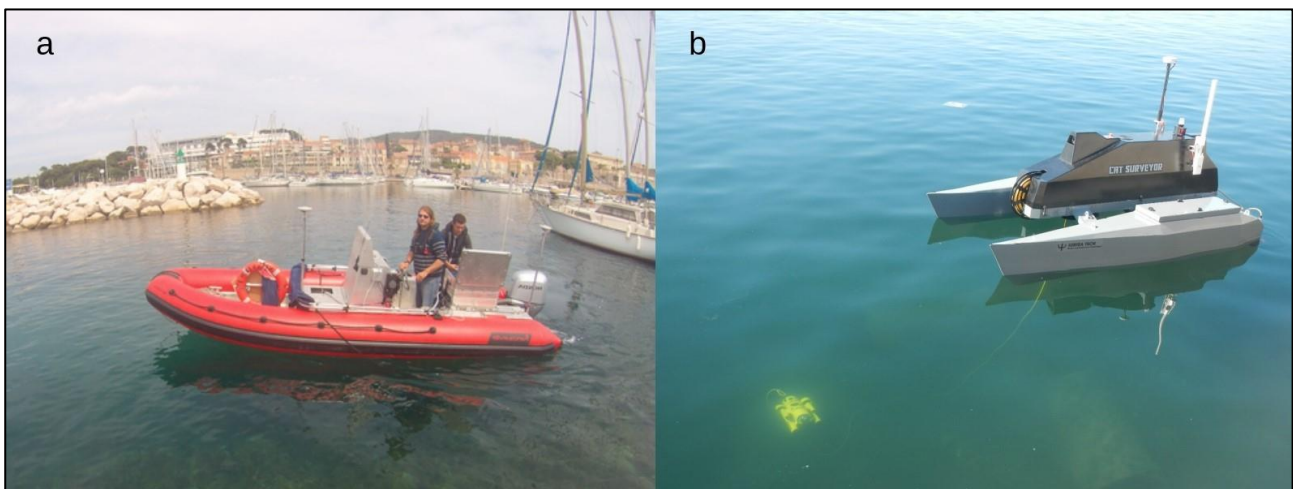


Figure 9: a) The “Seaviews One” optimized by Seaviews for acoustic campaigns; b) The CAT-Surveyor, an unmanned surface vehicle developed by Subsea Tech, able to integrate a multibeam echo sounder for automated seabed acoustic classification.

In an apparently flat study area comparable to those used for wind turbine installation, the use of the BATCLAS index provided valuable information about marine habitats (seagrass meadows, rocks, sediment features) and artificial structures (reefs, wreck) present in the area. Moreover, it has the advantage of providing an exhaustive map of the seabed using a single captor. This approach appears suitable for investigations at a large spatial scale prior to wind farms’ settlement in the aim of protecting key habitats from the direct installation impacts.

The first results of the BATCLAS index revealed the potential to use it as a metric data to study and qualify the structural aspects of seagrass beds and sediment features. This next step will require additional ground truth and sampling. However, it will provide in a near future a non-destructive quantitative surface method to monitor the indirect impact over time of wind farms on marine habitats.

References

- Breton S. P., Moe G. (2009). Status, plans and technologies for offshore wind turbines in Europe and North America. *Renewable Energy* 34(3): 646–654.
- Brown C. J., Smith S. J., Lawton P., & Anderson J. T. (2011). Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92(3): 502–520.
- Huseby R. B., Milvang O., Solberg A. S., Bjerde K. W. (1993). Seabed classification from multibeam echosounder data using statistical methods. In *Proceedings of OCEANS '93* (p. III/229-III/233). IEEE.

- Komatsu T., Igarashi C., Tatsukawa K., Sultana S., Matsuoka Y., Harada S. (2003). Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku Coast of Japan. *Aquatic Living Resources* 16(3): 223–230.
- Noël C., Boissery P., Quelin N., Raimondino V. (2012). Cahier Technique du Gestionnaire : Analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. CartOcean, Agence de l'eau RMC, Dreal PACA, Région PACA 96 p.
- Prampolini M., Blondel P., Fogliani F., & Madricardo F. (2017). Habitat mapping of the Maltese continental shelf using acoustic textures and bathymetric analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, in press.
- Punt J. M., Groeneveld R. A., van Ierland, E. C., Stel J. H. (2009). Spatial planning of offshore wind farms: A windfall to marine environmental protection? *Ecological Economics* 69(1): 93–103.
- Snyder B., Kaiser M. J. (2009). Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy* 34(6): 1567–1578.
- Vaissière A. C., Levrel H., Pioch S., Carlier A. (2014). Biodiversity offsets for offshore wind farm projects: The current situation in Europe. *Marine Policy* 48: 172–183.

Acknowledgments

The SACLAF-SMF project is funded by the "Investissements d'Avenir" innovation fund, in the framework of the Bio-Diversity program managed by the Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). It is also supported by the Pôle Mer Méditerranée.

The project is managed by SUBSEA TECH, a French SME specialized in marine and underwater robotics (see www.subsea-tech.com).

Quantifier les conséquences du dérangement acoustique sur les populations de mammifères marins: un outil d'aide à la décision pour le développement des parcs éoliens en mer

Emeline PETTEX¹, Thomas FOLEGOT², Dominique CLORENNEC², Ludivine MARTINEZ¹

¹ Cohabys, ADERA – Université de La Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle. emeline.pettex@univ-lr.fr

² Quiet-Oceans, 525 avenue Alexis Rochon, 29280 Plouzané

Télécharger le diaporama



Résumé

La construction de parcs éoliens en mer est en plein essor en Europe. L'impact sur la faune marine du bruit engendré par le battage des pieux reste une question importante, en particulier pour les mammifères marins. Toutefois, il est difficile d'évaluer les conséquences du bruit sur la reproduction et la survie des individus, et donc à plus long terme, sur la démographie des espèces marines. Le développement récent de modèles prédictifs offre de nouvelles perspectives sur ce sujet. Dans le cadre du projet de recherche RESPECT (Réduction des Empreintes Sonores des Parcs Eoliens en mer: Comprendre pour de nouvelles Technologies), nous avons utilisé le modèle IPCoD (*Interim Populations Consequences of Disturbance*) afin de prédire les conséquences du bruit engendré par les opérations de battage de pieux lors de l'installation du parc éolien de Dieppe - Le Tréport sur la population de marsouin commun en Manche. Nous avons comparé cinq techniques de réduction du bruit en estimant différents niveaux d'efficacité, et prédit pour chaque cas la réduction des impacts démographiques. Les résultats issus de l'étude ont permis de quantifier l'efficacité des mesures de réduction applicables au site de Dieppe - Le Tréport et de mettre en évidence une atténuation significative de l'impact populationnel dès les premiers décibels gagnés. La méthodologie utilisée apparaît donc comme un outil d'aide à la décision prometteur pour les porteurs de projets et pourrait constituer un apport aux études d'impacts.

Abstract

Quantifying the long-term impacts of wind farms as a decision-making tool for mitigation

Offshore wind farm construction is growing rapidly in Europe. The underwater noise from pile driving may impact the marine fauna, especially sensitive species as marine mammal. However, short-term consequences of noise on reproduction and survival rates remain difficult to assess, as well as long-term consequences on the demography of marine populations. The recent development of models predicting the population consequences of disturbance offer interesting perspectives. As part of the RESPECT project, we used the IPCoD model (*Interim Populations Consequences of Disturbance*) to predict the demographical consequences of the noise generated by the piling of the Dieppe – Le Tréport wind farm on the English Channel harbour porpoise population. Marine mammals appear to be particularly sensitive to disturbance caused by wind farms construction because of their high dependence on acoustics. We used the IPCoD model to compare five mitigation technics at various efficiency levels, in order to estimate the reduction of demographical impacts. The results enabled to quantify the mitigation measures effectiveness and demonstrated a significant decrease of demographical impacts when such measures were implemented. This method appears to be an innovative and promising tool to assist decision-makers in carrying out projects and could be an important contribution to environmental impact assessment.

Motivation

Les changements climatiques encouragent le développement des énergies marines renouvelables en Europe. La construction de parcs éoliens en mer implique souvent l'utilisation d'ateliers de battage de pieux qui engendrent un bruit sous-marin intense. Ce bruit soulève des inquiétudes au sujet des impacts sur

les espèces marines et en particulier sur les mammifères marins. L'ouïe est le sens le plus développé chez les mammifères marins, qui l'utilisent pour détecter les proies, les prédateurs, les congénères, ou toute information provenant de leur environnement.

Le bruit sous-marin a des effets négatifs croissants sur le système auditif sensible des mammifères marins (Richardson *et al.*, 1995). Au premier stade, le bruit

masque les informations de l'environnement marin. Dans un second temps, il peut obliger les animaux à quitter la zone impactée. Au-delà d'une certaine intensité, le système auditif peut être endommagé, générant des pertes d'audition temporaires ou permanentes (Richardson *et al.*, 1995). Pour l'individu, cela se traduit par une diminution de sa valeur sélective, en limitant sa survie ou sa capacité de reproduction. A long terme pour la population, le bruit impactera la démographie via une réduction de la natalité et/ou une augmentation de la mortalité.

La Manche présente des enjeux de conservation importants, matérialisés par la présence d'espèces protégées telles que le marsouin commun ou les phoques gris et veaux-marins, et de nombreuses aires marines protégées. Les pressions anthropiques y sont déjà fortes et plusieurs projets de parcs éoliens en mer sont installés (Rampion), ou prévus au large des villes de Courseulles-sur-Mer, Fécamp, Dieppe - Le Tréport et Saint Brieuc).

Le projet de recherche multidisciplinaire RESPECT réunit des géophysiciens, des acousticiens et des biologistes. Son objectif est d'étudier la propagation du bruit émis par le battage d'un pieu lors de la construction d'un parc éolien en mer et de déterminer l'empreinte sonore et les différentes zones de risque acoustique vis-à-vis du marsouin commun. Le volet biologique de l'étude a pour objectifs (1) de prédire les effets à long terme du battage de pieu du futur parc éolien de Dieppe - Le Tréport sur la population de marsouin commun (dans un cas fictif où les fondations des éoliennes sont des monopieux de 8,5 m de diamètre, alors que l'opérateur de Dieppe - Le Tréport utilisera des pieux de type jacket de 2,2 m diamètre) et (2) de comparer cinq systèmes de réduction du bruit à la source, en simulant des niveaux d'efficacité décroissants, pour évaluer leur performances à long terme sur la démographie de cette espèce. Pour cela, nous avons eu recours à la modélisation dans l'objectif de proposer aux développeurs de parcs éoliens en mer un outil d'aide à la décision pour réduire l'impact acoustique d'un atelier de battage sur la population de marsouin commun.

Méthodologie

La zone d'étude est à l'échelle de la Manche et représente 93 000 km² et l'espèce étudiée est le marsouin commun. Nous avons utilisé le modèle IPCoD développé par SMRU Consulting (King *et al.*, 2015), qui prédit les effets d'un dérangement quantifié (bruit de battage) sur la tendance démographique d'une population de mammifères marins. Ce modèle fait le lien entre la quantité de bruit reçue et les changements

comportementaux ou physiologiques en établissant une relation de type dose-réponse - les effets variant en fonction de la dose reçue - entre le nombre de jours de battage de pieu et les taux de fécondité ou de survie des individus. Le modèle calcule le risque additionnel d'observer un déclin annuel de 1 % dans les populations soumises au bruit (résultat comparé aux populations non exposées).

Ce modèle mathématique nécessite plusieurs informations :

- les paramètres estimés de l'atelier de battage : durée, nombre de jours effectifs de battage et calendrier des travaux. Dans notre cas fictif, nous avons caractérisé le bruit pour un pieu de 8,5 m de diamètre.
- les paramètres biologiques : l'âge de première reproduction, les taux de survie des nouveau-nés, des jeunes et des adultes, la fertilité des femelles.
- les paramètres de la population étudiée et de simulation du modèle : la taille de la population (30 000 marsouins communs), le nombre de simulations (500), le nombre d'années après le chantier (25 ans) et le nombre de marsouins qui subissent un dérangement ou une perte d'audition permanente.

Des cartes d'empreinte sonore du chantier ont été réalisées pour cinq systèmes de réduction du bruit (Big Bubble Curtain, Little Bubble Curtain, Hydro Sound Damper, Hydrohammer IHC et le fluide visqueux interne proposé dans le cadre du projet RESPECT). Ces systèmes agissent comme des filtres du bruit, dont les performances varient en fonction de la fréquence. Pour chaque système, l'empreinte sonore est calculée en partant de son efficacité maximale et en la réduisant par pas de 1 dB jusqu'à ce qu'elle soit nulle (niveau d'exposition sonore à la source sans système de réduction : 217 dB re 1 μ Pa²s).

Pour le marsouin commun, un risque de dérangement serait avéré au-delà d'un niveau d'exposition sonore de 145 dB re 1 μ Pa²s et un risque physiologique de perte d'audition permanente est à craindre au-delà de 179 dB re 1 μ Pa²s (Lucke *et al.*, 2009; Southall *et al.*, 2007)¹. Pour chaque empreinte sonore obtenue, le rayon médian et la surface de ces deux types de risque acoustique sont évalués. Le nombre de marsouins affectés pour chaque type de risque acoustique est obtenu en superposant les zones de risque acoustique aux cartes de densités des marsouins en Manche. Le nombre d'individus affectés par du dérangement (inclus dans la zone de risque de dérangement) et ceux subissant une perte d'audition permanente (inclus dans la zone de risque de perte

¹ La valeur de ces seuils évolue avec les connaissances sur les capacités acoustiques des animaux. De nouveaux seuils ont été publiés par la NOAA ultérieurement à notre étude (NMFS, 2016).

d'audition permanente) est obtenu en multipliant la densité locale par la surface de la zone d'impact.

Résumé des résultats

Le rayon et la surface de la zone de risque de dérangement varient en fonction de l'efficacité des mesures de réduction. Ces distances diminuent proportionnellement avec le niveau de bruit. La même observation est faite pour le nombre de marsouins dérangés car la densité est quasi-uniforme dans cette aire. Tous les systèmes de réduction du bruit ont des effets similaires, mais certains d'entre eux pourraient réduire le bruit de manière plus importante. On observe que la surface et le nombre de marsouins inclus dans la zone de risque de dérangement diminuent de 50 % quand l'exposition sonore est réduite de 3 dB.

Le rayon et la surface de la zone de risque perte d'audition permanente sont très inférieurs à ceux de la zone de risque de dérangement. En conséquence, le nombre théorique de marsouins impactés est faible. Ces trois variables (rayon, surface et nombre d'individus impactés) diminuent tout de même quand les mesures de réduction réduisent le bruit à la source. Une diminution de 5 dB entraîne une réduction de 50 % de la surface et du nombre de marsouins affectés par un risque de perte d'audition.

Lorsque les systèmes de réduction du bruit sont à leur efficacité maximale, le risque additionnel de déclin de 1 % de la population du marsouin commun en Manche (calculé par le modèle IPCoD) est inférieur à 5 % sur les 25 années après la fin des travaux. Le grand rideau de bulle (Big Bubble Curtain) est le système de réduction du bruit qui limite le plus efficacement le risque de déclin pour le marsouin. Cependant, il faut souligner que ces performances sont théoriques et que la sensibilité aux conditions environnementales doit être évaluée, ce qui permettra aussi de déterminer la mesure de réduction du bruit la plus adaptée au site de Dieppe-Le Tréport.

Nous avons ensuite comparé le risque additionnel de déclin annuel de 1 % en fonction du bruit reçu pour tous les systèmes testés (deux années après la fin d'installation du chantier). Ce risque démographique est corrélé à l'exposition sonore. Quand le bruit n'est pas atténué (217 dB re 1 μ Pa²s), le risque additionnel de déclin est maximal (compris entre 10 et 15 % pour l'ensemble des 5 systèmes). Ce risque additionnel diminue rapidement quand le bruit de battage est filtré par un système de réduction du bruit. Comme précédemment, une diminution du bruit de 3 dB entraîne une diminution de 50 % du risque de déclin. Nous avons estimé que la valeur de réduction optimale serait de 7 dB, car au-delà, le risque additionnel ne baisse plus et le gain devient nul.

La combinaison des différents résultats obtenus précédemment montre que la relation entre la taille des surfaces de risque de dérangement et de perte d'audition permanente et le risque additionnel de déclin de 1 % est linéaire. Si l'on parvient à diminuer la taille des zones de risque acoustique en réduisant le bruit, l'impact à long terme sur la population de marsouin est atténué proportionnellement.

Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

En conclusion, le modèle IPCoD représente une avancée prometteuse vers la quantification des conséquences du bruit sur la démographie des mammifères marins. Dans le cadre du projet de recherche RESPECT, ce modèle a permis de définir un niveau optimal de réduction du bruit pour le projet de parc éolien en mer de Dieppe - Le Tréport de 7 dB, valeur qui a été retenue comme objectif par l'opérateur éolien.

La modélisation peut être envisagée comme un outil d'aide à la décision pour les acteurs de l'éolien en mer en permettant de quantifier l'efficacité des systèmes de réduction du bruit avant la construction, afin d'en évaluer les bénéfices pour l'environnement et les coûts financiers. A ce jour, les incertitudes sur les valeurs des paramètres utilisés par le modèle IPCoD (seuils auditifs, densités et mouvement des marsouins, paramètres démographiques) nous obligent à rester mesurés vis-à-vis des prédictions du modèle. Cependant les connaissances sur les espèces progressent continuellement et la modélisation permet de refaire les analyses au fur et à mesure des évolutions de nos connaissances sur les espèces marines.

Bibliographie

- King, S.L., Schick, R.S., Donovan, C., Booth, C.G., Burgman, M., Thomas, L., Harwood, J., 2015. An interim framework for assessing the population consequences of disturbance. *Methods Ecol. Evol.* 6, 1150–1158.
- Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P.A., Blanchet, M.-A., 2009. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.* 125, 4060–4070.
- NMFS, 2016. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing-Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts (No. 81 FR 51693).
- Richardson, W.J., Finley, K.J., Miller, G.W., Davis, R.A., Koski, W.R., 1995. Feeding, social and

migration behavior of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, in Baffin Bay vs. The Beaufort Sea—regions with different amounts of human activity. *Mar. Mammal Sci.* 11, 1–45.

Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene Jr, C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., 2007. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. *Aquat. Mamm.* 33, 411–521.

Remerciements

Ce projet de recherche est financé par Eoliennes en Mer Dieppe Le Tréport (EMDT). Le modèle IPCoD est mis à disposition par SMRU Consulting (<http://www.smruconsulting.com/products-tools/pcod/interim-pcod/>). Les cartes de densités du marsouin commun sont issues des campagnes SAMM (<http://cartographie.aires-marines.fr/?q=node/45>), financées par le Ministère de l'Écologie et l'Agence Française pour la Biodiversité.

Enrichissement et valorisation de la biodiversité marine sur les parcs d'éoliennes offshore au travers de l'éco-ingénierie marine

Gilles LECAILLON¹, Philippe LENFANT²

¹ Ecocean, 1342 avenue de Toulouse, 34070 Montpellier, France. gilles.lecaillon@ecocean.fr

² CEFREM UMR5110 CNRS – Université de Perpignan – CREM center, 52 avenue Paul Alduy, 66860 Perpignan, France

Télécharger le diaporama 

Résumé

Au cours des quatre dernières années, Ecocean et le CREM (Université de Perpignan) se sont impliqués dans plusieurs projets de recherche visant à développer et optimiser une nurserie artificielle appelée Biohut®, destinée à enrichir la biodiversité des infrastructures immergées. En fournissant nourriture et abri aux jeunes poissons, ce micro-habitat leur permet de survivre et de se développer à travers leur stade de vie le plus vulnérable, jusqu'à atteindre une taille suffisante pour rejoindre la population adulte.

Ces projets ont mené à deux conclusions :

1. La structure tridimensionnelle et complexe du micro-habitat permet d'attirer une biodiversité plus riche et plus abondante que les surfaces lisses et moins complexes des infrastructures habituellement immergées.
2. L'éco-ingénierie peut significativement stimuler la fonction de nurseries au sein d'infrastructures sous-marines.

Nos nombreuses expériences passées, ainsi que deux pilotes en cours sur des structures similaires, nous laissent penser que des zones offshore éco-conçues pourraient devenir de véritables zones de nurserie. Nous proposons de présenter nos résultats validés scientifiquement sur des aménagements côtiers, mais également les premiers résultats issus des deux pilotes en cours :

- Un en Méditerranée où un émissaire a été équipé de Biohut cerclés et où des expertises techniques sont en cours.
- Un en Corée du Sud où une plateforme scientifique offshore (7 km) a été équipée de Biohut et où des suivis écologiques sont en cours.

Enfin, nous souhaitons présenter le futur projet en Méditerranée française, où le principe de l'écoconception a été intégré par un consortium international dans le cadre de l'AAAP éolien offshore flottant lancé en 2015 par l'ADEME. L'objectif de ce projet est d'apporter la confirmation que les plateformes offshore abritent de la vie et peuvent fournir à l'écosystème une fonction écologique de nurserie.

Abstract

Can offshore wind farm floats enrich and valorize their biodiversity through processes of marine eco-engineering?

For the last four years, Ecocean and the CREM center (Perpignan University) have been involved in several research projects aiming at developing and optimizing an artificial fish nursery called the Biohut® and meant to enrich immersed infrastructures. By providing food and shelter to the young fish, this micro-habitat enables them to survive and grow through their most vulnerable life stage, up to a size where they are ready to join adult population.

These projects have brought two conclusions:

1. Micro-habitat does attract a rich and abundant biodiversity,
2. Eco-engineering can greatly improve the potential of underwater artificial infrastructure to provide opportunities for young fish to grow and feed.

Offshore areas are traditionally perceived as nature-depleted zones, as it is an ecosystem providing little opportunities for life to develop. To assess whether the Biohut can bring some added-value to the rigs platform in those offshore wind farm zones, two innovative projects are on-going:

- One in South Korea where an offshore scientific platform has been equipped with Biohut. The initial results will be presented in the talk.
- One in the Mediterranean Sea where eco-conception principle has been integrated into an international consortium for the Pilot Floating Offshore Wind Farm 2015 Call launched by the French Environment & Energy Management Agency.

Objectives of those projects are to bring confirmation that rigs platform do shelter life, and can provide ecological nursery functions.

As it is observed around Marine Protected Areas, fishermen could then benefit from an increase in capture in a few years.

Motivation

Ecocean développe des habitats artificiels complexes visant à recréer les fonctions écologiques essentielles de nurseries et d'habitats transitoires, principalement localisés sur le littoral marin. Ces solutions ont pour objectif de soutenir la production halieutique en protégeant le stade de vie le plus vulnérable des poissons tout en produisant une faune et une flore, ressources trophiques indispensables à leur croissance. Ecocean a ainsi mis en œuvre dans le cadre de plusieurs projets de R&D des solutions pour équiper l'intérieur des ports (Bouchoucha et al, 2016, Mercader et al 2017), et est actuellement en train de valider des solutions pour l'extérieur des ports comme les enrochements de digue, les lignes de mouillage et/ou les émissaires. L'entreprise propose ainsi une gamme variée d'habitats, adaptés aux différentes infrastructures marines, afin de compenser leur impact par un développement diversifié de la biodiversité, intégrant les différents stades de vie de la faune marine.

Nous sommes convaincus que chaque infrastructure marine peut devenir un abri pour la biodiversité marine, et particulièrement pour les jeunes stades de vie des poissons, et les parcs éoliens offshore, qui sont appelés à se multiplier dans les années à venir, nous paraissent être un support prometteur à valoriser pour qu'ils puissent contribuer de façon positive à l'amélioration des stocks de poissons alentours.

Notre implication sur le volet biodiversité du projet « Les éoliennes flottantes du Golfe du Lion » porté par le consortium ENGIE Futures Energies, EDPR et CDC nous fournit aujourd'hui une opportunité de développer et de tester des solutions spécifiques à ce nouveau type d'infrastructure et de milieu.

C'est ce projet innovant que nous souhaitons présenter au séminaire « Eolien et biodiversité » ainsi que les premiers résultats des deux pilotes en cours, que sont le projet NUAMCE dans lequel la canalisation cylindrique du MUCEM (Marseille) a été équipée avec les habitats que nous projetons d'adapter aux éoliennes flottantes, et le projet KEPCO qui nous a permis de développer notre méthodologie d'installation d'habitats

particuliers sur les pieux d'une plateforme scientifique au large de Gunsan (Corée).

Méthodologie

Personne aujourd'hui n'est réellement en mesure de donner des informations sur la diversité et l'abondance que l'on pourra retrouver sur des structures flottantes au large des côtes méditerranéennes et plus spécifiquement de la région Occitanie. Le projet de R&D « Les éoliennes flottantes du Golfe du Lion » sera donc innovant à plus d'un titre (technique d'équipement, matériaux utilisés, méthodologie de suivi, résultats...) et apportera de nombreuses réponses sur le fonctionnement de l'écosystème au large.

Nous savons que les larves de poissons côtiers (et autres crustacés et mollusques) arrivent depuis le large et viennent coloniser les côtes à la recherche d'un habitat adapté. Dans ce projet, nous chercherons à étudier comment les flotteurs des éoliennes peuvent capter et jouer un rôle de nurserie et ainsi contribuer à alimenter les populations de poissons de la zone comme cela a déjà été démontré par l'adjonction de Biohut® sur différentes structures maritimes artificielles. A moyen terme, les pêcheurs petits métiers qui exploitent une grande partie des espèces côtières, pourraient trouver un réel intérêt à voir se développer des parcs éoliens offshore éco-conçus, permettant le renforcement des populations locales de poissons.

Nous proposons de réaliser ce projet en deux étapes :

- une étape de tests avec deux supports au large pour en valider la faisabilité technique d'installation et obtenir une première estimation de l'intérêt écologique d'un tel projet d'écoconception,
- une seconde étape de suivi scientifique quand les flotteurs définitifs seront installés pour évaluer la contribution écologique et halieutique de ces aménagements.

La perception par les pêcheurs sera également évaluée au travers d'enquête des pêches réalisées à proximité en comparaison d'autres zones naturelles afin de les intégrer pleinement au projet.

Résumé des résultats

Les fonctions écologiques de nurseries des Biohut® ont été validées scientifiquement en 2016 et en 2017, suite à deux projets d'équipement d'infrastructures artificielles dans des ports de plaisance (M. Bouchoucha *et al.* 2016) et dans des ports de commerce (M. Mercader *et al.* 2017). Ces deux publications confirment l'intérêt de complexifier les surfaces artificielles lisses des infrastructures portuaires avec nos solutions Biohut® afin d'enrichir la biodiversité marine, notamment en terme de juvéniles de poissons et de faune et de flore associées. Dans certains cas, l'abondance en post-larves de poissons et en juvéniles de l'année est 20 fois supérieure sur les zones équipées de Biohut® que sur les quais lisses de grand ports de commerce. Un Biohut® peut produire pas moins de 5 poissons juvéniles à la taille refuge par an. Ce chiffre peut paraître faible mais en bouclant ainsi le cycle de vie des poissons au niveau de son étape la plus fragile, on assure une production vertueuse de poissons naturels, soutenue par un brassage génétique optimal.

Ces résultats obtenus sur les nurseries artificielles installées dans les ports nous ont permis d'élargir notre gamme de solutions afin d'atteindre ces mêmes objectifs sur des infrastructures différentes. Ainsi, dans le projet NUAMCE (lauréat 2015 du PIA-PME Biodiversité), nous avons développé un habitat à cercler autour d'un émissaire, ce qui nous fournit une solide base technique à la mise au point de nouvelles nurseries artificielles pouvant se fixer sur les structures cylindriques propres à l'éolien (pieux/flotteurs). Ces habitats, installés sur l'émissaire du MUCEM, sont régulièrement suivis et montrent dès à présent une forte concentration de juvéniles de poissons côtiers. Les derniers suivis relèvent ainsi une concentration en juvéniles de poissons 5 fois supérieure sur la partie équipée de nurseries artificielles que sur celle restée lisse. De façon similaire, le projet en Corée fait l'objet de suivis vidéo indiquant clairement l'intérêt d'équiper des surfaces lisses des piliers de la plateforme au large. Ces premiers résultats pilotes seront présentés lors de la conférence.

Enfin sur les pieux de la plateforme en Corée, les deux photos ci-dessous illustrent de façon évidente l'intérêt d'équiper ces structures. Des données plus précises et un film de quelques minutes seront présentés lors de notre intervention.

C'est sur la base de ces méthodologies validées, des avancées techniques en cours, des résultats et des perspectives énoncées dans les publications scientifiques, que nous avons construit ce projet de R&D sur les éoliennes flottantes. De nouveaux résultats seront donc à attendre, dès 2018, date de lancement du projet.



Pieu non équipé



Pieu équipé de Biohut

Interprétation, conclusion, perspectives et applications possibles

Les résultats obtenus au cours des nombreux projets de recherche sur la complexification des infrastructures artificielles en mer et sur l'écoconception de structures artificielles sous-marines (sous les pontons, sur la digue, sur les piliers des plateformes offshore, sur les émissaires sous-marins etc.) et les récents projets pilotes mis en place sur des supports proches des futurs flotteurs d'éolien offshore, nous démontrent que la recherche de fonctionnalités écologiques sur des flotteurs d'éoliennes offshore est un enjeu à fort potentiel qui doit être développé. En effet, les énergies renouvelables vont se multiplier pour répondre aux problématiques climatiques. Aussi, le développement de structures éco-conçues destinées à équiper les éoliennes offshore pourrait représenter une formidable opportunité pour soutenir une biodiversité marine soumise à une forte pression du fait notamment de la dégradation et la raréfaction des habitats naturels marins.

Etant données les distances à la côte, les conflits d'usage avec les riverains devraient être réduits, mais ceux avec les pêcheurs pourraient être exacerbés (implantation sur sites de pêche, crainte d'impact indirect des structures sur le déplacement des bancs de poissons, etc.). C'est pourquoi permettre à ces structures en mer de favoriser efficacement les stocks de pêche peut être la clé de la réussite de l'acceptabilité

de ces futurs projets et donc de leur développement. ENGIE mais également DCNS et d'autres grands groupes industriels sont désormais conscients de ces enjeux et affichent une volonté d'y répondre, fournissant donc un terrain propice au développement efficace d'une filière innovante dédiée au sujet.

La filière du génie écologique côtier (GEC) qui est en train de se mettre en place pourrait bénéficier de la prise en compte de cette problématique associée aux enjeux offshore en offrant une véritable opportunité d'innovation pour toutes les TPE/PME du secteur et donc de création d'emplois.

Bibliographie

M. Bouchoucha, A. M. Darnaude, A. Gudefin, R. Neveu, M. Verdoit-Jarraya, P. Boissery, P. Lenfant, 2016. Potential use of marinas as nursery grounds by rocky fishes: insights from four *Diplodus* species in the Mediterranean, *Marine Ecology Progress Series*, 547:193-209.

Manon Mercader, Alexandre Mercière, Gilles Saragoni, Adrien Cheminée, Romain Crech'riou, Jérémy Pastor, Mary Rider, Rémy Dubas, Gilles Lecaillon, Pierre Boissery, Philippe Lenfant, 2017. Small artificial habitats to enhance the nursery function for

juvenile fish in a large commercial port of the Mediterranean, *Ecological Engineering*, 105:78-86.

Lenfant p., Gudefin a., Fonbonne s., Lecaillon g., Aronson j., Blin e., Lourie s.m., Boissery p., Loeuillard j.-l., Palmaro a., Herrouin g., Person j. Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes, 2015

Robin Faillettaz, Raphaël Voué, Romain Crech'riou, Laure-Hélène Garsi, Gilles Lecaillon, Sylvia Agostini, Philippe Lenfant, Jean-Olivier Irisson Spatio-temporal patterns of fish larvae settlement in the Northwestern Mediterranean Sea, in prep.

Raphaël Voué, Anais Gudefin, Marc Bouchoucha, Philippe Lenfant, Jean-Olivier Irisson, Amélie Fontcuberta, Description of the biodiversity living in the french mediterranean marinas, in prep.

Remerciements

Nous remercions l'équipe d'Engie Futures Energies d'avoir accepté que nous présentions ce projet à cette conférence, mais également d'engager des dépenses de façon volontaire pour évaluer la biodiversité sur leurs futurs flotteurs éoliens.

Illustrations

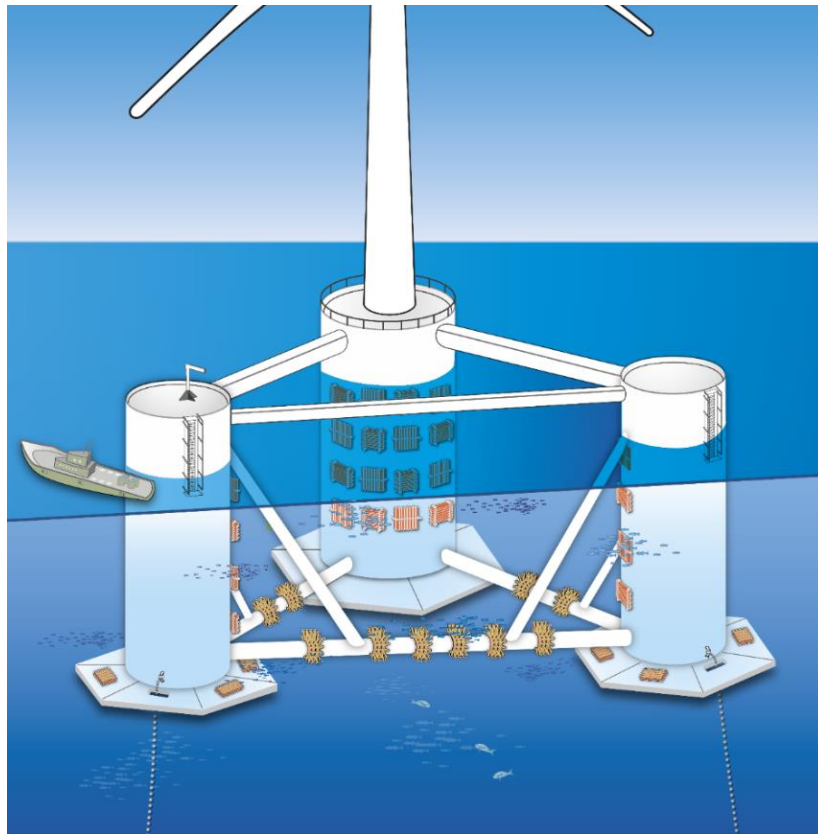
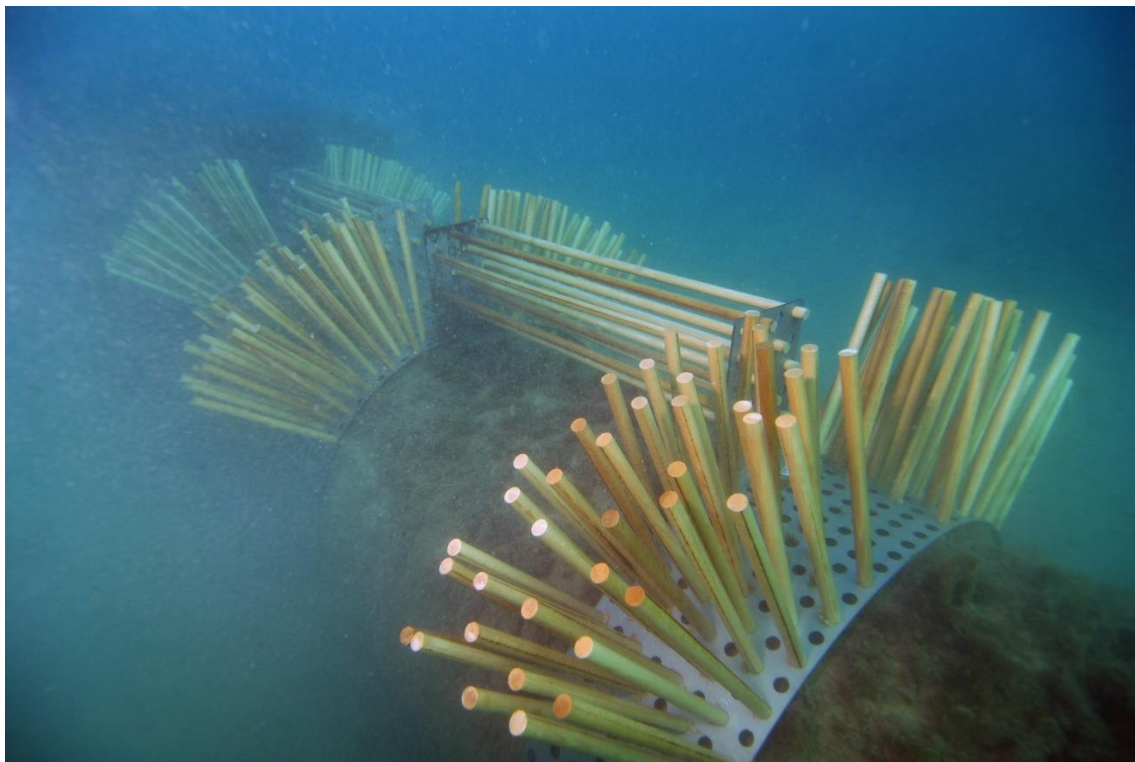
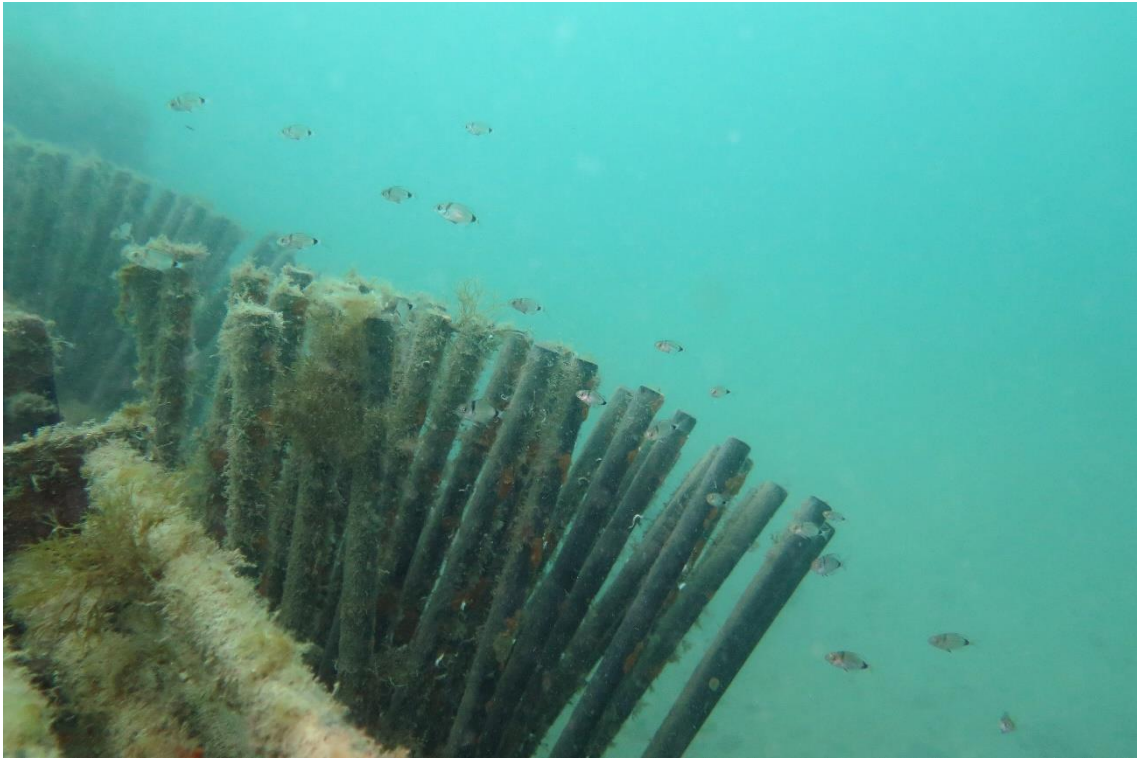


Illustration conceptuelle de l'équipement des futurs flotteurs PPI (Ecocean©)



NUAMCE : Biohut cerclés autour d'une canalisation (R. Dubas, Ecocean©)



NUAMCE : Nombreux jeunes sars présents autour des Biohut (R. Dubas, Ecocean©)



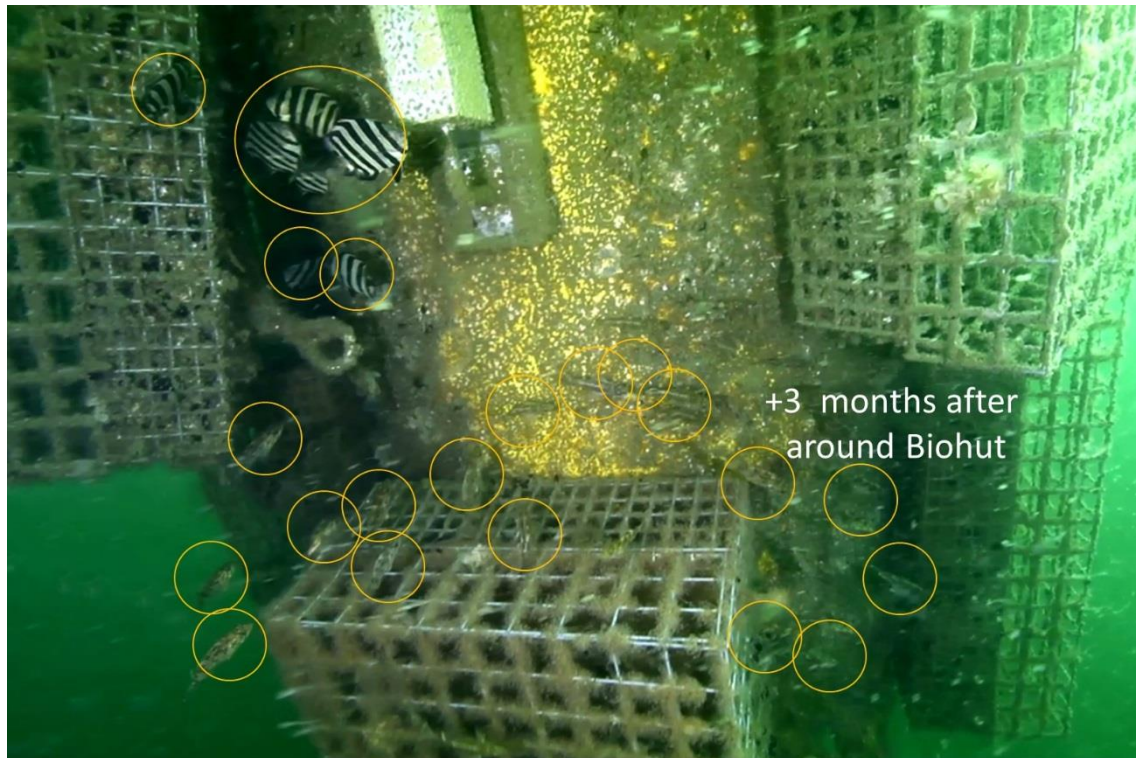
KEPCO : Plateforme au large de Gunsan en Corée du Sud



KEPCO : Biohut cerclés autour des pieux de la plateforme (R. Dubas, Ecocean ©)



KEPCO : Pieu non équipé de la plateforme (R. Dubas, Ecocean©)



KEPCO : Pieu équipé de Biohut de la plateforme, nombreux juvéniles présents et inféodés aux habitats
(R. Dubas, Ecocean©)



protection de la

www.lp

✓ Protéger

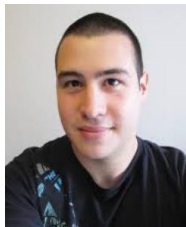
✓ Présen



Biographies

ABADIE Arnaud - Seaviews

L'indice BATCLAS : une nouvelle technique d'identification et de cartographie à haute résolution des structures naturelles et artificielles sur les sites d'implantation marins d'éoliennes



Arnaud ABADIE est diplômé d'un doctorat en écologie marine réalisé dans le cadre d'une bourse CIFRE au sein de la société STARESO SA, Arnaud Abadie s'est spécialisé dans la cartographie

des fonds marins et dans la mise au point d'indices de

qualification des impacts anthropiques dans les herbiers sous-marins.

Désormais chargé de projet au sein de la société Seaviews spécialisée dans l'acoustique sous-marine et la cartographie des habitats marins, il participe au développement de nouvelles méthodes acoustiques de détection de structures artificielles et naturelles.

abadie@seaviews.fr

BESNARD Aurélien – CEFE

Deux applications web en libre accès pour calibrer et évaluer la pertinence des suivis de mortalités sous les éoliennes



Aurélien BESNARD, est enseignant-chercheur au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE-EPHE), spécialisé en dynamique des populations.

Il développe principalement des travaux de recherche à l'interface entre biostatistiques et conservation de la biodiversité en lien avec des acteurs non-académiques (espaces protégés, ONG, bureaux d'étude, etc.).

Nombre de ses travaux concernent l'étude des perturbations subies par les populations et la manière d'y remédier. Un autre axe fondamental de son travail réside dans le développement, l'amélioration et la vulgarisation des méthodes statistiques récentes en biologie des populations.

De par cette expertise, il est membre de nombreux conseils scientifiques de structures de la gestion de la biodiversité et intervient comme formateur pour l'Agence française pour la biodiversité ou plusieurs masters en gestion de la biodiversité.

aurelien.besnard@cefe.cnrs.fr

BESNARD Aurélien G. – LPO Aquitaine

Les sciences participatives appliquées à la modélisation des enjeux de conservation des chiroptères et des oiseaux : exemple en Nouvelle-Aquitaine



Aurélien G. BESNARD, chargé de mission scientifique à la LPO Aquitaine, a pour mission principale de décrire la distribution d'espèces animales dans l'espace et dans le temps à diverses échelles.

Cela passe par l'analyse des données massives issues à la fois des sciences participatives mais aussi de protocoles de terrain spécifiques.

Dans le cadre de l'éolien, ces protocoles impliquent par exemple des enregistreurs à ultrasons pour étudier la phénologie d'activité des chiroptères ou encore la technologie radar pour suivre la migration des populations d'oiseaux. Ces études ont pour objectif d'améliorer nos connaissances sur la biodiversité et ainsi de la prendre en compte plus efficacement dans le cadre des activités humaines.

aurelien.besnard@lpo.fr

BEUCHER Yannick – Exen

Maîtrise de la mortalité des chiroptères - Analyse comparée de la mise en place de mesures de régulation de trois parcs éoliens



Yannick BEUCHER est le fondateur-gérant du bureau d'étude EXEN (2003) Il a spécialisé sa structure vers une professionnalisation des expertises entre éolien, chauves-souris et avifaune. Parmi les précurseurs en France dans ce domaine, il s'appuie sur un partenariat avec des homologues allemands pour partager méthodes, outils et réseau de partenaires. Il a co-coordonné le volet Biodiversité du Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens (MEEDDM, 2010). Il a eu l'occasion de réaliser, avec

son équipe, plusieurs études de référence orientées vers la maîtrise des mortalités de chiroptères via la régulation des éoliennes. Convaincu de l'intérêt d'une approche technique fine pour accompagner un développement éolien respectueux de la biodiversité, il s'engage vers l'innovation (agrément CIR 2017), vers l'optimisation des techniques et vers le partage d'expériences. Il met aujourd'hui à disposition son approche technique au service du Groupe Technique Eolien de la SFEPM.

ybeucher.exen@gmail.com

DELPRAT Bertrand – Calidris

Avifaune de plaine et éoliennes, une cohabitation impossible ? Retour des suivis post implantation sur les aptitudes phénotypiques des espèces



Bertrand DELPRAT, ornithologue et gérant du bureau d'études Calidris, est issu d'un cursus universitaire recherche. Curieux, il travaille depuis plus de 15 ans à l'étude et l'intégration environnementale de projets ENR en France et en Europe. La pertinence de ses travaux lui vaut de les présenter lors

de conférences internationales et d'être associé à des projets transnationaux (Norvège, Pays-Bas) de recherche sur la biodiversité et les ENR. Modèles mathématiques, analyses comportementales et phénotypiques sont quelques-unes des compétences développées quant à l'intégration de la composante biodiversité aux projets EnR.

bertrand.delprat@calidris.fr

DURIEZ Olivier – CEFE

Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette



Olivier DURIEZ est enseignant-chercheur à l'Université de Montpellier et au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive. Il étudie les mécanismes comportementaux liés au mouvement, gouvernant l'utilisation de l'habitat et

leurs conséquences sur la dynamique des populations chez les oiseaux et en particulier les rapaces. Il utilise une approche intégrative de la biologie de la conservation, à l'interface avec l'écologie comportementale, physiologie et écologie des populations.

olivier.duriez@cefe.cnrs.fr

GUENARD Vincent – ADEME

Les parcs éoliens en mer : état des lieux et perspectives



Vincent GUENARD est Docteur en sciences de l'atmosphère et titulaire d'un diplôme d'ingénieur en technologies marines de SeaTech (ex ISITV). Il travaille à l'ADEME depuis 2008 dans

le service Réseaux Energies Renouvelables.

Il est en charge du suivi de la filière éolienne en mer. Son travail porte sur l'expertise et le suivi de projets relatifs à l'éolien mer financés directement par l'ADEME ou par le Programme des Investissements

d'Avenir (thèses, projets de recherche et développement, démonstrateurs, fermes pilotes, fermes commerciales). Vincent GUENARD a participé en 2013 à l'élaboration du guide d'étude d'impact de l'environnement des parcs éoliens en mer ainsi qu'aux différents exercices de planification de l'éolien en mer dans le cadre des appels d'offre (2009, 2015 et 2017).

Il est également l'instructeur technique des quatre projets de fermes pilotes éoliennes flottantes lauréates de l'appel à projet de 2016.

vincent.guenard@ademe.fr

ITTY Christian – BECOT

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



Christian ITTY est technicien de recherche à l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.

Il travaille depuis près de 20 ans dans le domaine des suivis sur la faune sauvage, de la gestion de milieux et des problématiques de conservation. Ses activités principales se situent dans la mise en œuvre de protocoles d'études (capture-marquage-recapture) sur le terrain, aussi bien sur les mammifères que sur les oiseaux.

En termes de suivi spatial, il utilise la technologie embarquée (GPS) pour développer les connaissances actuelles sur 3 espèces principales : le mouflon, le grand corbeau et l'aigle royal. C'est en tant que bagueur généraliste auprès du CRBPO/MNHN qu'il est responsable et met en œuvre le programme sur l'aigle royal, grâce au soutien de l'association BECOT et du groupe d'étude sur les rapaces du sud du massif central.

christian.itty@wanadoo.fr

KLEINSCHMIDT Birgit – Justus-Liebig Universität Gießen

From effects to impacts: Analysing displacement of Red-throated Divers in relation to their wintering home ranges



Birgit KLEINSCHMIDT is a biologist who worked for independent ecological research and consulting firms in relation to offshore windfarms since the past 5 years.

Her work range includes monito-ring work for windfarms onshore and offshore before construction, during construction as well as during operation and environmental reports such as environmental impact assessments, FFH impact studies and legal species

protection assessments. Since February 2015 she is working while doing her PhD in the research project DIVER, a basic research project on red-throated divers in the 'Offshore' division.

The project aims to contribute to knowledge gaps concerning the ecology of divers (Gaviidae) with regard to movement patterns in wintering habitats and during migratory periods to gain a better assessment of potential effects of offshore wind farms on divers.

b.kleinschmidt@bioconsult-sh.de

LACROUTS Olivier – Diadès Marine

New technology for 3D bird detection radar



Olivier LACROUTS est Ingénieur en électronique et génie industriel (EIGSI La Rochelle), et titulaire d'un DESS en Administration des Entreprises à l'Université Paris 1 – La Sorbonne. Il a consacré sa carrière à la conception et au développement de produits à haute technicité dans le domaine de l'électronique professionnelle Radio et Hyperfréquence. Il travaillé de 1996 à 2005 chez THALES en tant qu'Ingénieur produit Aéronautique, Chef de laboratoire Essais puis Chef de Service Projet, de 2005 à 2011 chez l'ingénieur NEXEYA, en tant que Directeur Technique puis Vice-Président, et a créé

la société DIADES MARINE en 2011 avec la vocation d'apporter une réponse technologique, appropriée, humaine et collaborative aux enjeux de la prévention des actes de piraterie maritime, puis à de nombreux enjeux techniques, environnementaux et sociétaux.

Aujourd'hui, il dirige DIADES MARINE, et anime particulièrement les activités de recherche, qui portent sur la détection 3D de l'avifaune, les techniques Radar à faible pollution électromagnétique pour la navigation et le travail maritime, les techniques de caractérisation de la mer et des collisions éventuelles, et les Radars aéroportés ultra-légers de surveillance et secours en mer.

olivier.lacrouts@diadesmarine.com

LECAILLON Gilles – Ecocean

Enrichissement et valorisation de la biodiversité marine sur les parcs d'éoliennes offshore au travers de l'éco-ingénierie marine



Gilles LECAILLON is a marine biologist and an internationally recognized Expert on Marine Ecological Restoration with more than 17 years of experience from the field, pioneering the Post-larval Capture and Culture (PCC) technology in both tropical and temperate marine waters. His work focuses on the Biology and Ecology of fish larvae. He is a frequent speaker and panelist at international conferences on Ecological Restoration.

Gilles LECAILLON is also the founder and president of Ecocean (since 2003), a leading French Ecological Engineering Company which specializes in developing and implementing radical new technologies

for the sustainable use and management of the marine and more recently freshwater environments. Ecocean's preeminent expertise of the early life stage of fish in coastal environments unusually allows the company to cooperate on multiple ongoing joint R&D projects with major French and international research institutions. In order to do so, Gilles and his team implement a unique combination of specially designed and scientifically monitored artificial fish nursery habitats (Biohut©). This micro-habitat does attract a rich and abundant biodiversity. It has been recently tested on an offshore windfarm in South Korea and will also be evaluate in the future "Les éoliennes flottantes du Golfe du Lion" project in Leucate/Le Barcarès (Occitanie region).

gilles.lecaillon@ecocean.fr

MARX Geoffroy – LPO France

Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015



Après une expérience de huit années dans le développement, la construction et l'exploitation de parcs éoliens terrestres, il travaille aujourd'hui à la LPO en tant que responsable du programme « Éolien et biodiversité ».

Ce programme, initié il y a quinze ans en partenariat avec l'ADEME, le ministère de l'Environnement et les représentants de la filière

éolienne, vise à concilier les objectifs de développement des énergies renouvelables avec les impératifs de préservation de la biodiversité. Il s'articule autour de l'acquisition et du partage de connaissances sur ces thématiques.

Il est l'auteur de l'étude publiée par la LPO en juin 2017 issue de la compilation et de l'analyse de près de 200 rapports de suivis environnementaux réalisés sur des parcs éoliens français, étude qu'il présente à l'occasion du séminaire éolien et biodiversité.

geoffroy.marx@lpo.fr

McCLUSKIE Aly - Royal Society for the Protection of Birds

Throwing Precaution to the Wind: Uncertainty and the Precautionary Principle in Wind Farm Assessment



Aly McCluskie is a Senior Conservation Scientist for the Royal Society for the Protection of Birds. His work involves both active research and review in order to provide the science required to underpin policy and casework, specifically in relation to the effective conservation of protected sites. In particular he examines the interactions between wind farms, both terrestrial and offshore, and birds.

His background is as an ecologist with a speciality in predatory species and has worked on

environmental issues for some 25 years. Much of this career has been working with predator and human conflict and in understanding the potential environmental consequences of the development of renewable energy. As well as assessing and training environmental consultants, he has acted as a scientific advisor for BBC wildlife films, and as an ecologist for CEH, SNH, Natural Research and the University of Oxford WildCRU, until beginning work for the RSPB in 2008.

Aly.McCluskie@rspb.org

MICHEL Sylvain – Agence Française pour la Biodiversité

Analyse des enjeux de la faune marine pour la planification et l'évaluation des projets de parcs éoliens en mer



Sylvain MICHEL est chargé de mission depuis 2012 à l'Agence des aires marines protégées, aujourd'hui intégrée dans l'Agence française pour la biodiversité. Il est basé au pôle de Brest, dans le service

Protection et usages du milieu marin.

Docteur en océanographie physique, ses missions actuelles incluent l'étude des impacts des activités maritimes industrielles sur l'environnement et l'écosystème marins.

Il participe à l'élaboration des guides nationaux concernant les usages en mer, aux avis techniques de l'Agence sur les autorisations réglementaires et au développement de projets d'études rassemblant les acteurs institutionnels, scientifiques, associatifs et/ou professionnels. De par les enjeux écologiques concernés, il est particulièrement investi dans la planification et l'analyse des projets éoliens fixes et flottants dans les mers françaises.

sylvain.michel@afbiodiversite.fr

PARROUFFE Jean-Michel – ADEME

L'éolien terrestre en France : état des lieux et perspectives



Jean-Michel PARROUFFE est Docteur en génie chimique de l'université McGill (Montréal), titulaire de maîtrises en génie mécanique de l'université Laval (Québec) et en génie industriel de l'École

Polytechnique de Montréal.

Il a travaillé comme chercheur au laboratoire des Technologies de l'Énergie d'Hydro-Québec et en tant qu'ingénieur de recherche à l'Institut Canadien de Recherche sur les Pâtes et Papiers. Ensuite, il a œuvré comme consultant en gestion des technologies de

l'énergie, puis comme directeur de projets chez GPCo, une firme spécialisée dans le développement de projets d'énergies renouvelables.

En 2007, il a intégré l'ADEME en tant que chef du service réseaux et énergies renouvelables. Ce service a pour mission le développement des énergies renouvelables, des réseaux de chaleur et réseaux électriques intelligents, ainsi que du stockage de l'énergie. Les actions réalisées ciblent le soutien à la recherche, à la structuration, au déploiement, ainsi que le développement de l'expertise sur les filières.

jean-michel.parrouffe@ademe.fr

PERRET Michel – Direction de l'eau et de la biodiversité

Eolien et biodiversité : prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français



Michel PERRET est vétérinaire et actuellement chargé de mission à la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB - sous-direction de la protection et de la restauration des écosystèmes terrestres) au ministère de la Transition écologique et solidaire.

En poste au ministère depuis 1998, Michel Perret a été responsable, de 2005 à 2017, du bureau de la faune et de la flore sauvages de la direction de l'eau et de la biodiversité jusqu'à la réorganisation de cette direction en septembre dernier. A ce titre, il a été en charge de l'élaboration, de l'évolution et de la mise en

œuvre de la réglementation relative aux espèces de faune et de flore sauvages protégées.

Conjointement avec la direction générale de la prévention des risques du ministère, il a en particulier rédigé le guide national sur l'application de la réglementation relative aux espèces protégées pour les parcs éoliens terrestres (mars 2014). La sous-direction de la protection et de la restauration des écosystèmes terrestres de la DEB est en charge des réglementations relatives à la biodiversité applicables aux parcs éoliens terrestres.

michel-m.Perret@developpement-durable.gouv.fr

PERROW Martin – ECON Ecological Consultancy Ltd

A synthesis of effects and impacts of offshore wind farms upon wildlife: from seabed communities to fish, marine mammals and birds



Dr Martin Perrow, ECON Ecological Consultancy Ltd, has studied the interactions between wind farms and wildlife for the last 15 years. Most of his work has been offshore at 13 wind farms in

UK waters, with respect to assessment and monitoring. Martin is known especially for innovative research on seabirds including the first study, more than a decade ago, to use telemetry to elucidate the use of a wind farm by a breeding seabird; and the use

of visual tracking to detail the avoidance behaviour of a further species at another site. Martin has recently been occupied with editing his concept four-volume series on Wildlife and Wind Farms. Following the publication of the two onshore volumes earlier this year, the equivalent offshore volumes are due in 2018.

At the seminar he presents a synthesis of the effects and impacts across the range of trophic levels from benthic and epifaunal communities to fish, seabirds and marine mammals.

m.perrow@econ-ecology.com

PETTEX Emeline – Cohabys Adera

Quantifier les conséquences du dérangement acoustique sur les populations de mammifères marins: un outil d'aide à la décision pour le développement des parcs éoliens en mer



Emeline PETTEX est docteure en écologie marine, spécialiste des prédateurs supérieurs. Après un hivernage à Kerguelen et de nombreuses expériences de terrain, elle obtient sa thèse en 2011

portant sur l'écologie alimentaire des oiseaux marins (CEFE, Montpellier).

La même année, elle devient responsable des campagnes aériennes SAMM (Suivi Aérien de la Mégafaune Marine) visant à améliorer les connaissances sur les oiseaux, mammifères marins et

grands pélagiques dans les eaux métropolitaines françaises. Elle rejoint Cohabys (Adera) en 2015 pour travailler sur le projet RESPECT. Ce programme multidisciplinaire étudie la propagation du bruit lié à l'implantation d'éoliennes en mer et ses effets à long terme sur les populations de mammifères marins. Un des objectifs est de comparer les techniques de mitigation au regard de la démographie des espèces concernées et d'offrir un outil d'aide à la décision pour les industriels. Elle est auteur d'une vingtaine de publications scientifiques.

emeline.pettex@univ-lr.fr

PHILIPP Eva - Vattenfall

Environmental Impacts and Responsibilities - How to foster cohabitation between Offshore Wind Farms and the Marine Environment



Dr. Eva PHILIPP is Head of the Environmental & Sustainability Unit in the Business Area Wind in Vattenfall, which supports the renewable energy projects in operational environmental and

sustainability tasks as well as gives strategic direction in these areas. Eva Philipp is a marine biologist and has worked in science for more than ten years before

joining Vattenfall Offshore Wind in 2012. She has marine working experience in a variety of environments including the North and Baltic Sea, Irish Sea, Australia, Arctic and Antarctic Ocean where she worked on land stations as well on research vessels. Her theoretical & practical Offshore Wind experience covers all environmental topics from development to construction and generation.

eva.philipp@vattenfall.de

RICHOU Christophe – EDF EN

Maîtrise de la mortalité des chiroptères - Analyse comparée de la mise en place de mesures de régulation de trois parcs éoliens



Christophe RICHOU est le responsable Environnement du service Gestion d'Actifs depuis 2011 au sein d'EDF Energies Nouvelles. Avec son équipe, il organise et met en œuvre pour chaque centrale de

production l'ensemble des suivis écologiques et des diverses mesures définies dans les études préalables et les autorisations d'exploiter.

Spécialiste des énergies renouvelables, EDF Energies Nouvelles est un leader international de la

production d'électricité verte : éolien terrestre et marin, solaire...

La société est développée dans plus de 22 pays, principalement en Europe et en Amérique du Nord et plus récemment en Afrique, au Moyen-Orient, en Asie et en Amérique du Sud.

Le service Gestion d'Actifs gère l'exploitation des centrales de production, afin d'en assurer la pérennité, dans le respect du cadre contractuel, réglementaire et environnemental.

christophe.richou@edf-en.com

ROCHE Henri-Pierre – Biodiv-Wind

SafeWind Chiro - Evaluation de l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes par vidéo détection



Henri-Pierre ROCHE est titulaire d'un DESS en Aménagement du territoire et d'un DEA en Biologie de la conservation. Salarié de la LPO pendant 10 ans et plus particulièrement comme

directeur des LPO Aude et Hérault, il a notamment développé plusieurs projets de conservation de niveau européen sur les grands rapaces. Il a par la suite été responsable Environnement d'EDF EN France pendant 5 ans et a travaillé sur plusieurs groupes de travail de projets éoliens terrestres et marins. Bénéficiaire dès 2008 du premier brevet français

abordant la thématique éolien et biodiversité, il a développé la société Biodiv-Wind en 2014 qui conçoit et commercialise des dispositifs permettant de connaître et de réduire efficacement les risques de collision des oiseaux et des chauves-souris avec les éoliennes. Lauréate des Investissements d'Avenir, Biodiv-Wind accompagne aujourd'hui plusieurs dizaines de projets éoliens, en phase développement et exploitation, en France et en Europe. Biodiv-Wind a notamment mis en œuvre le premier suivi continu de long terme par vidéo de l'activité des chiroptères sur une éolienne en exploitation.

hp.roche@biodiv-wind.com

SAULNIER Nicolas – LPO Hérault

Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette



Nicolas SAULNIER est Diplômé d'un Master 2 en Ecologie comportementale. Après avoir été recruté comme chargé de mission ornithologue, il est directeur de la LPO Hérault depuis 2010.

Cette association locale de la LPO est aujourd'hui forte de plus de 800 adhérents, une centaine de bénévoles actifs, 16 administrateurs, 11 salariés et une dizaine de stagiaires et services civiques. Elle s'investit dans la protection de la biodiversité du département de l'Hérault via 4 pôles d'activités, la Conservation des espèces et des espaces (dont une unité de soin à la faune sauvage), l'Éducation à l'environnement et au développement durable, l'Expertise (qu'elle soit

réglementaire ou non) et la Vie associative. Dans le cadre de son objet social et de sa politique énergétique, la LPO Hérault travaille avec la filière des énergies renouvelables et notamment l'éolien pour favoriser la bonne prise en compte des impacts et le développement de projets respectueux des enjeux environnementaux. Pour cela elle s'investit dans l'ensemble des champs d'activité ayant trait à la doctrine Eviter (en travaillant aux alternatives de projets impactants) Réduire (en favorisant l'appréhension des enjeux, impacts et mesures correctrices) et Compenser (en assistant la mise en œuvre de mesures compensatoires à haute valeur environnementale).

nicolas.saulnier@lpo.fr

SKOV Henrik – DHI Group

ORJIP Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms



Henrik SKOV has more than 28 years' experience in application of field and analytical methods for studying marine habitats and movements of birds, and for assessing the ecological

impacts of human activities at sea.

He has been involved in approximately 45 marine and coastal research, impact assessment and monitoring projects, including studies related to several marine wind farms like the latest studies on bird migration undertaken in relation to the Danish offshore wind farms. Method development includes multi-sensor bird detection systems, dynamic habitat

modelling, GIS-based decision support systems i.r.t. assessment of marine habitats and sensitivity mapping.

He has been the project manager for the bird studies and impact assessments in relation to the planned fixed link between Germany and Denmark across the Baltic Sea.

He has functioned as the technical lead for the Offshore Wind, Offshore Renewables Joint Industry Programme (ORJIP) on bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms coordinated by the Carbon Trust (United Kingdom).

hsk@dhigroup.com

VIALA Christophe - Seaviews

L'indice BATCLAS : une nouvelle technique d'identification et de cartographie à haute résolution des structures naturelles et artificielles sur les sites d'implantation marins d'éoliennes



Christophe VIALA, docteur en sciences marines, spécialiste en acoustique sous-marine possède une expérience de plus de 25 ans dans ce domaine. Cofondateur et ancien directeur technique de la

société Semantic TS, Christophe Viala a fondé en 2015 la société Seaviews, spécialisée dans la

cartographie sous-marine par moyens acoustiques. Les dernières innovations de Seaviews dans le domaine de la cartographie sous-marine sont prometteuses pour une application lors des phases d'études d'impact et d'études techniques obligatoires lors de l'implantation d'un parc éolien offshore.

viala@seaviews.fr

VUITTON Guillaume – Ecosphère

Quelles alternatives au suivi acoustique des chiroptères sur mât de mesure de grande hauteur ? Application dans le cadre de l'étude d'impact d'un projet de parc éolien en milieu forestier en Bourgogne
























Guillaume VUITTON est directeur d'agence à Écosphère, avec une forte activité dans le domaine de l'éolien, à tous les stades de vie d'un parc : étude d'impact écologique, suivi de chantier, suivi post-implantation. L'agence intervient notamment depuis plusieurs années sur de nombreux suivis chiroptérologiques en altitude, que ce soit en phase projet ou en phase exploitation. Dans ce cadre,

des réflexions sont menées afin d'optimiser l'utilisation du matériel d'enregistrement chiroptérologique et garantir l'obtention de données fiables, permettant d'identifier convenablement les enjeux liés aux chauves-souris. Des alternatives au suivi sur mât de grande hauteur ont ainsi été étudiées, notamment dans le cadre d'un projet éolien en contexte forestier en région Bourgogne – Franche-Comté.

guillaume.vuitton@ecosphere.fr

Citations et liens de téléchargement

- Abadie A., Marty P., Viala C. (2018). L'indice BATCLAS : une nouvelle technique d'identification et de cartographie à haute résolution des structures naturelles et artificielles sur les sites d'implantation marins d'éoliennes. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 120-127. 
- Besnard A., Bernard C. (2018). Deux applications web en libre accès pour calibrer et évaluer la pertinence des suivis de mortalités sous les éoliennes. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 37-39. 
- Besnard A. G. (2018). Les sciences participatives appliquées à la modélisation des enjeux de conservation des chiroptères et des oiseaux : exemple en Nouvelle-Aquitaine. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 40-41. 
- 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. Pages 81-87. 
- Delprat B. (2018). Avifaune de plaine et éoliennes, une cohabitation impossible ? Retour des suivis post implantations sur les aptitudes phénotypiques des espèces. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Page 66. 
- Duriez O., Pilard P., Saulnier N., Bouzin M., Boudarel P., Besnard A. (2018). Estimation de l'impact démographique du Parc éolien d'Aumelas sur la population héraultaise de Faucons crécerellettes. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 49-65. 
- Guénard V. (2018). Les parcs éoliens en mer : état des lieux et perspectives. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 88-93. 
- 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. 
- Lacrouts O., Dumoulin A. (2018). Etude d'un radar 3D de détection et de suivi en temps réel de l'avifaune. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 107-111. 
- Lecaillon G., Lenfant P. (2018). Enrichissement et valorisation de la biodiversité marine sur les parcs d'éoliennes offshore au travers de l'éco-ingénierie marine. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 132-139. 
- Marchais G., Vuitton G. (2018). Quelles alternatives au suivi acoustique des chiroptères sur mât de mesure de grande hauteur ? Application dans le cadre de l'étude d'impact d'un projet de parc éolien en milieu forestier en Bourgogne. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 67-73. 
- Marx G. (2018). Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 30-36. 

- McCluskie A. (2018). Throwing Precaution to the Wind: Uncertainty and the Precautionary Principle in Wind Farm Assessment. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Page 106. 
- Michel S., Toison V. (2018). Analyse de vulnérabilité de la faune marine pour la planification et l'évaluation des projets de parcs éoliens en mer. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 94-104. 
- Nehls G., Burger C., Kleinschmidt B., Quillfeldt P., Heinänen S., Morkunas J., Zydalis R. (2018). From effects to impacts: Analysing displacement of Red-throated Divers in relation to their wintering home ranges. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 113-115. 
- Parrouffe J.-M. (2018). L'éolien terrestre en France : état des lieux et perspectives. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Page 23. 
- Perret M. (2018). La prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 24-29. 
- Perrow M. (2018). A synthesis of effects and impacts of offshore wind farms upon wildlife: from seabed communities to fish, marine mammals and birds. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Page 105. 
- Pettex E., Martinez L., Clorenec D., Folegot T. (2018). La quantification des impacts à long terme des parcs éoliens comme outil d'aide à la décision pour la mitigation. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 128-131. 
- Philipp E. (2018). Environmental Impacts and Responsibilities - How to foster cohabitation between Offshore Wind Farms and the Marine Environment. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Page 112. 
- Roche H.-P., Valles F., Goutorbe E. (2018). SafeWind Chiro - Evaluation de l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes par vidéo détection. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 74-80. 
- Skov H., Heinänen S., Norman T., Ward R., Méndez Roldan S. (2018). Bird avoidance behaviour and collision impact monitoring at offshore wind farms. Actes du séminaire éolien et biodiversité, 21 et 22 novembre 2017, Artigues-près-Bordeaux, France, LPO. Pages 116-119. 