

1^{ères} Rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité

Vers une transition énergétique en harmonie avec la biodiversité, les sols et les paysages

Opportunités et risques écologiques du repowering éolien

Christian Kerbiriou ¹, Véronique de Billy ², Thierry Chambert ², Andréas Ravache ^{1,3}, Elise Sivault ^{1,3}

¹ Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, Centre National de la Recherche Scientifique, Sorbonne Université, Station Marine, Concarneau, France

² Office Français de la Biodiversité (OFB), Direction de la Recherche & de l'Appui Scientifique (DRAS), Pérols, France

³ Bureau d'études Ouest Am' SCOPE-SA, 1 rue des Cormiers, 35651 Le Rheu, France



Sommaire

- Contexte
- Différentes configurations & sources de pressions potentielles
- Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?
- Pistes de solutions





Définition « repowering »

- **renouvellement** des aérogénérateurs
- et le cas échéant, des équipements connexes

composant tout ou partie d'un parc éolien afin d'anticiper sur la fin de vie d'une installation.

Le parc français concerné ?

- Le repowering a déjà débuté en France
- Une part importante des 9 500 éoliennes installées sur le territoire français arrivera en fin de vie (~15-25 ans) dans les prochaines années, tout comme les contrats d'obligation d'achat d'électricité associés (~ 12 à 20 ans)
- Les prévisions indiquent qu'environ **500 éoliennes devront être remplacées chaque année d'ici 2030**





Objectifs

1. Augmenter la production électrique du parc



En France : hausse moyenne de 123 % de la puissance des parcs lors de *repowering* (ADEME, 2020)



Une opération de « repowering » permet de tirer parti des innovations et de remplacer d'anciennes éoliennes par des modèles plus grands, plus puissants et présentant un meilleur rendement. Elle permet ainsi d'augmenter la production électrique d'un site, de réduire ses coûts d'exploitation ou encore ses impacts environnementaux.



Augmenter la production électrique d'un site grâce aux nouvelles éoliennes : machines nouvelle génération, en général plus puissantes, mais surtout plus performantes et plus silencieuses que les anciennes. Installer moins pour produire plus : la puissance des éoliennes ayant augmenté au fil des années, il faut donc moins d'éoliennes pour produire la même quantité d'électricité (aujourd'hui 1 éolienne suffit à produire la même quantité d'électricité que 2 ou 3 anciennes machines),



Le remplacement d'anciennes éoliennes par des nouvelles permet de produire plus d'énergie, avec un impact global plus faible sur l'environnement, pour un territoire qui bénéficie d'ores et déjà d'une bonne acceptabilité locale du parc éolien



Le repowering permet de prolonger la durée de vie des parcs éoliens, d'augmenter leur capacité de production et de réduire les coûts de maintenance et d'exploitation.



Objectifs

1. Augmenter la production électrique du parc

2. Réduire les impacts environnementaux



Une opération de « repowering » permet de tirer parti des innovations et de remplacer d'anciennes éoliennes par des modèles plus grands, plus puissants et présentant un meilleur rendement. Elle permet ainsi d'augmenter la production électrique d'un site, de réduire ses coûts d'exploitation ou encore ses impacts environnementaux.



Réduire davantage les impacts environnementaux, paysagers et acoustiques



Réduire l'impact sur l'environnementaux, et améliorer l'acceptabilité sociale



Le remplacement d'anciennes éoliennes par des nouvelles permet de produire plus d'énergie, avec un impact global plus faible sur l'environnement, pour un territoire qui bénéficie d'ores et déjà d'une bonne acceptabilité locale du parc éolien

Objectifs

1. Augmenter la production électrique du parc

2. Réduire les impacts environnementaux



Comment ?

« L'impact du parc éolien français renouvelé [...] devrait entraîner un impact moindre sur la faune volante par rapport au parc actuel pour les raisons suivantes présentées de la plus significative à la moins significative.

- 1. Le renouvellement du parc éolien français devrait entraîner la réduction du nombre d'éoliennes*
- 2. [...] L'abandon de certains sites particulièrement sensibles et l'abandon de certaines éoliennes plus dangereuses dans un parc donné. »*
- 3. Des exigences plus fortes pouvant conduire à un non renouvellement pour les parcs situés dans des zones à fortes sensibilité environnementales (zone Natura2000, réserves naturelles nationales....),*
- 4. des mesures de bridage [...]*
- 5. des systèmes d'effarouchement plus souvent mis en œuvre sur les nouvelles machines » (ADEME, 2020)*



La « réduction du nombre d'éoliennes » suffit-elle à garantir une solution de moindre impact environnemental comparée au parc existant ?

Que dit la science sur ...

1. La perte d'habitats ?
2. Le fractionnement des couloirs migratoires ?
3. Les mortalités ?



Différentes configurations & sources de pressions potentielles



Repowering
éolien

En Europe

- 5 % ont vu leur nombre de turbines augmenter
- 23 % des parcs ont conservé le même nombre de turbines
- 72 % ont réduit leur nombre de turbines

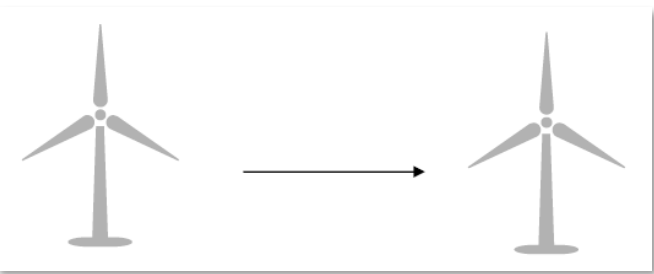
Différentes configurations & sources de pressions potentielles



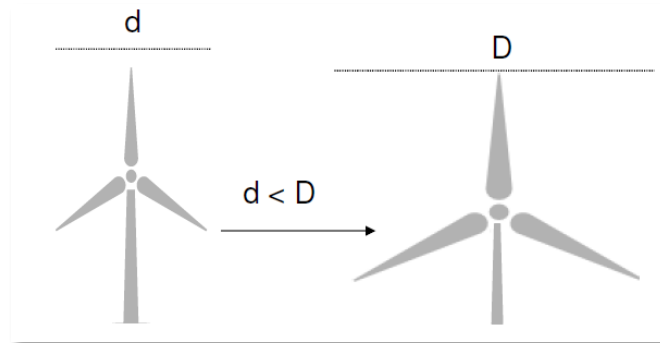
Repowering
éolien

En France

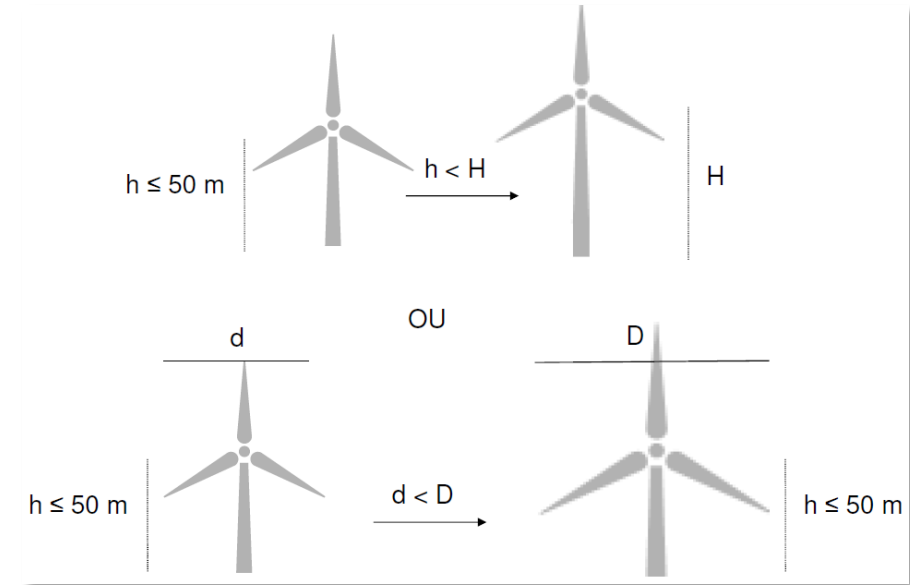
- diminution moyenne de 32 % du nombre d'éoliennes installées (ADEME, 2020)
- au moins 5 configurations possibles déclenchant ou non l'instruction du repowering*



même emplacement & dimensions
(actualisation potentielle des fondations)



- même emplacement et hauteur
 - pales plus longues
- actualisation des fondations



- augmentation hauteur totale par :
 - **augmentation de la longueur du mât**
 - **et/ou pales plus longues**
 - actualisation des fondations

Différentes configurations & sources de pressions potentielles

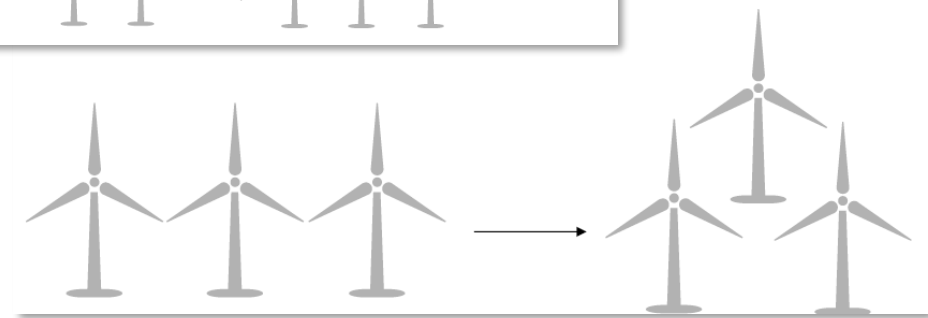
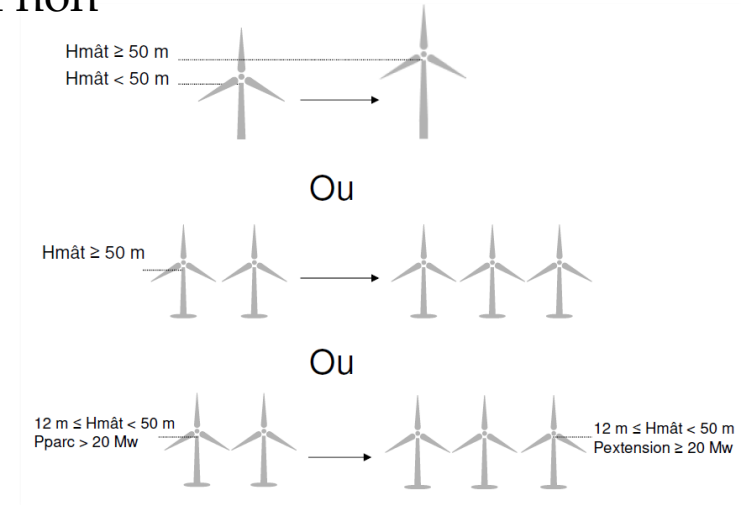


En France

- diminution moyenne de **32 %** du nombre d'éoliennes installées (ADEME, 2020)
- au moins 5 configurations possibles déclenchant ou non l'instruction du repowering*

-> reprise d'une procédure complète d'autorisation

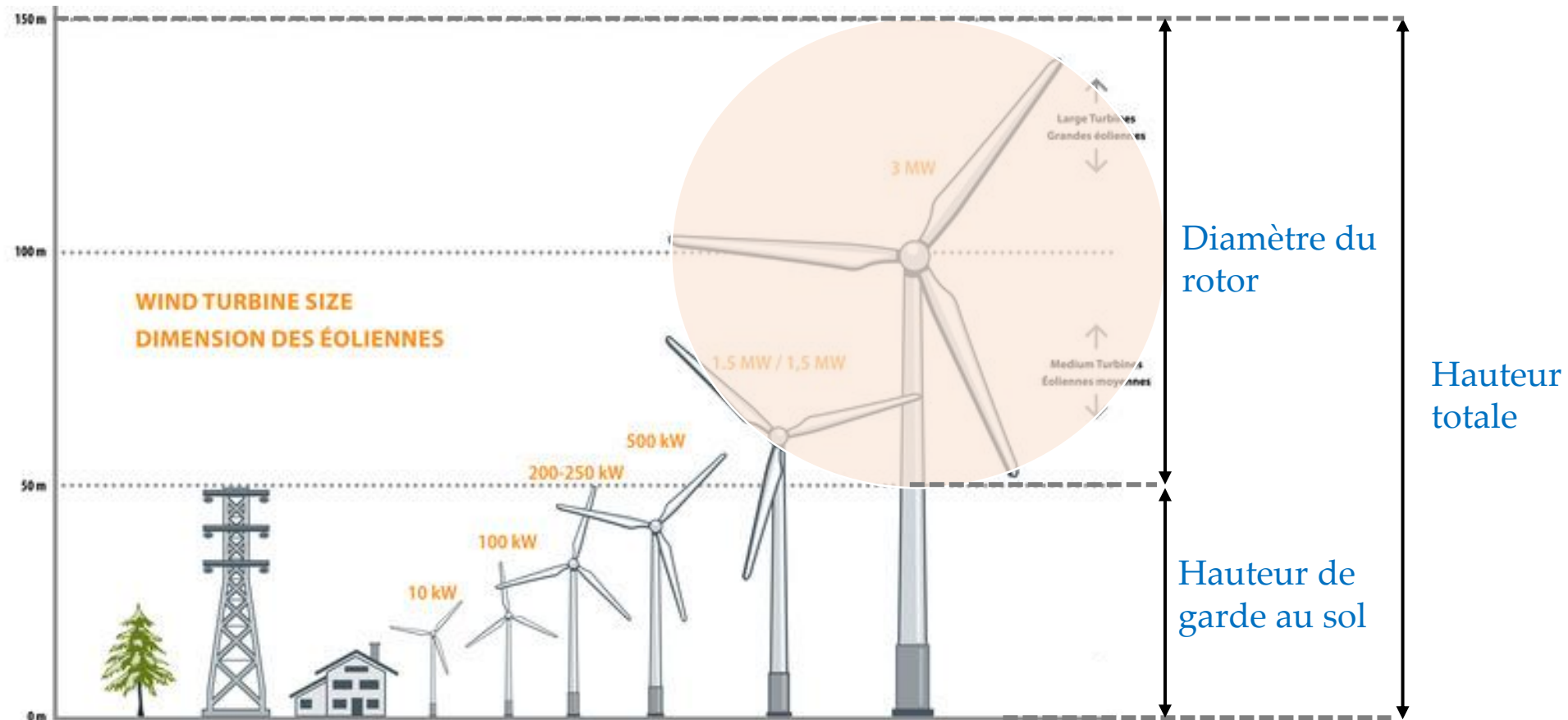
- **Dépassement de seuils**
 - rubrique n°2980
 - art. R. 122-2 du code de l'env. (ex. : défrichage)
- **Ajout d'un ou plusieurs mâts au sein du périmètre du parc (polygone)**
- **Remplacement et déplacement des éoliennes en dehors du périmètre du parc (polygone)**



Différentes configurations & sources de pressions potentielles



Evolution des dimensions des machines



Différentes configurations & sources de pressions potentielles



Repowering
éolien

Evolution des dimensions des machines*

	2005	2023
Diamètre rotor	60 m	120 m
Hauteur de mât	60 m	100 m
Surface d'air balayée par les pâles	2 800 m ²	11 300 m ²

Sachant que le risque de mortalité sur la faune volante dépend a priori fortement de la surface totale d'air balayée par les parcs éoliens ...

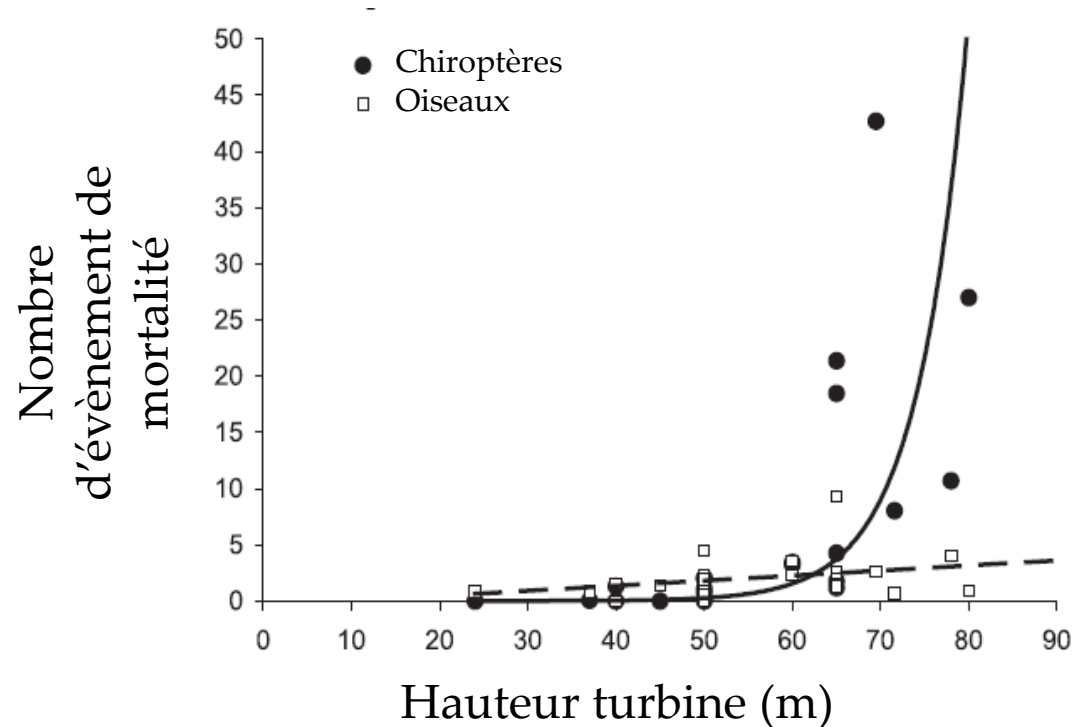
... diminuer le nombre d'éoliennes suffit-il à diminuer le risque de mortalité ?

**Source : RTE (2024)*

Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?

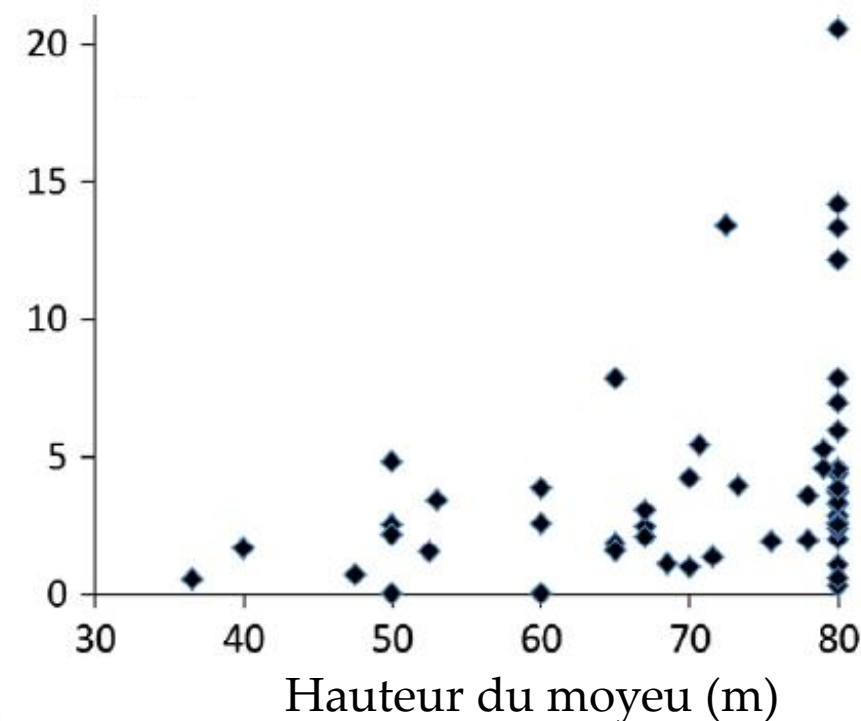


Repowering
éolien



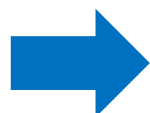
Nombre d'évènement de mortalité (chiroptères et oiseaux) en fonction de la hauteur des turbines.

Source : Barclay et al., 2007



Nombre d'évènement de mortalité d'oiseaux en fonction de la hauteur du moyeu.

Source : Loss et al., 2013



A nombre équivalent, des plus grosses éoliennes seront plus impactantes que des plus petites

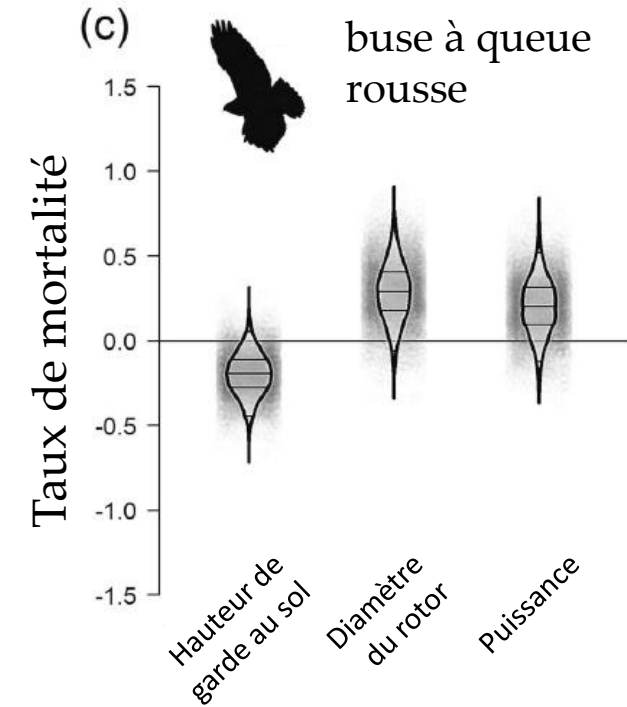
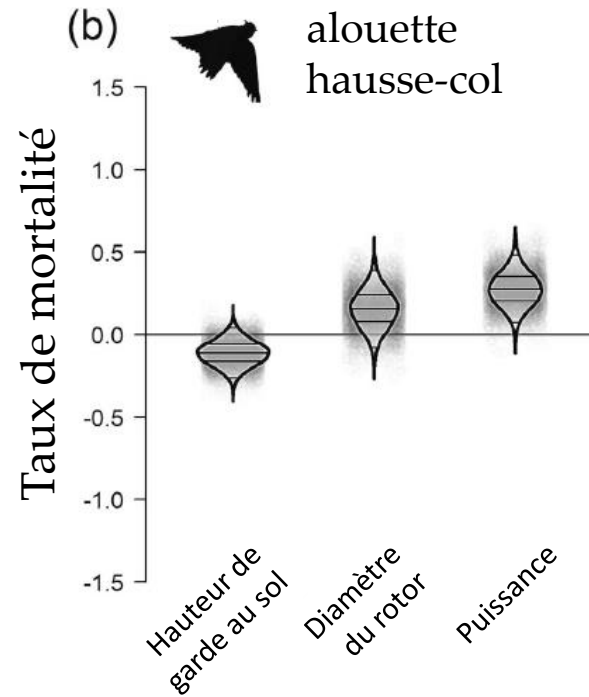
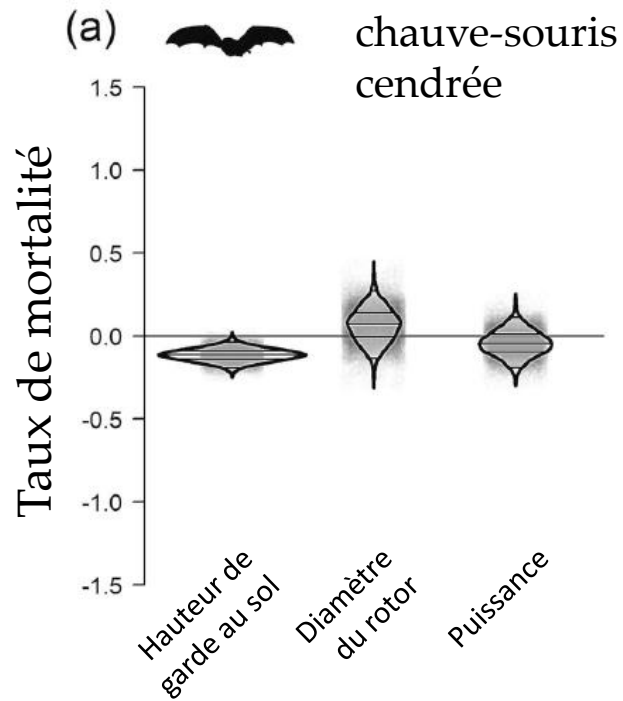
Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?



Repowering
éolien

Mortalité par éolienne

Il n'y a pas que la taille qui compte...



Effet de la garde au sol, du diamètre du rotor et de la puissance installée sur les taux de mortalité.
D'après Garvin et al. 2024

Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?



Repowering
éolien

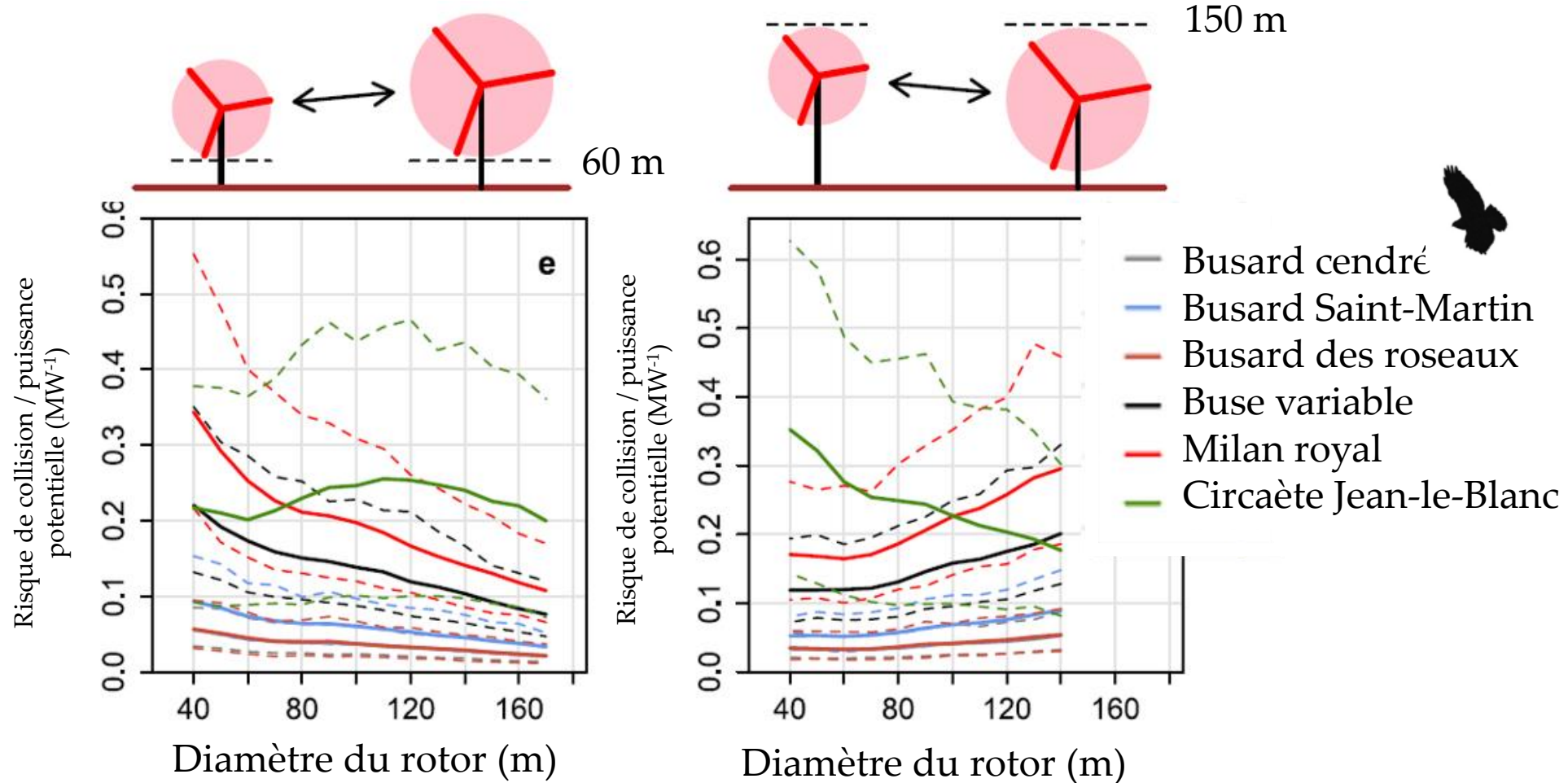
A puissance égale

Il n'y a pas que la taille qui compte...



Effet de la garde au sol et du diamètre du rotor des éoliennes sur le risque de collision de 6 rapaces en ajustant à la puissance potentielle, selon différentes configurations techniques.

Source : Schaub et al., 2024



Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?



Repowering
éolien

A production égale

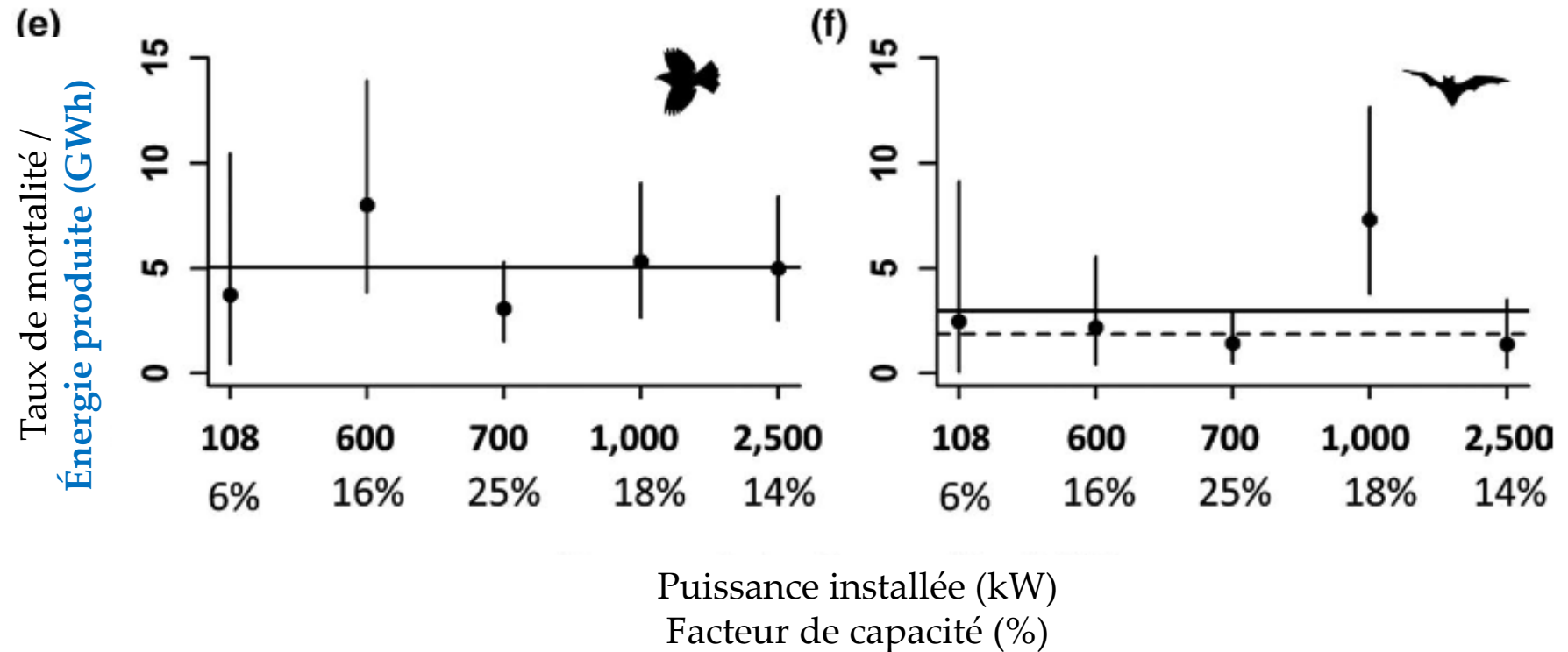
Il n'y a pas que la taille qui compte...



mortalités d'oiseaux et
de chauves-souris / MW
produit

-> constantes quelle que
soit la taille ou
l'espacement des
turbines

(Huso et al., 2021)



Estimation du taux moyen de mortalité des oiseaux et des chauves-souris et limites de confiance à 95 % pour chaque site, en fonction de la Puissance installée des éoliennes. *La valeur de mortalité des chauves-souris pour 1000kW serait, comme discuté dans l'article, un artefact lié à des particularismes d'un site.* Source : Huso et al., 2021

Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?

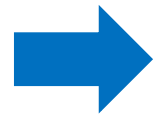


Repowering
éolien

Il n'y a pas que la taille qui compte...



Selon Huso et al. (2021), ce qui détermine les niveaux de mortalité c'est :



La quantité
d'énergie produite

dépend de

Surface d'Air
effectivement
brassée par les
pâles

dépend de

- la Puissance installée (surface d'air **potentiellement** brassée par les pâles)
- le temps de fonctionnement **effectif** des éoliennes

Et pas uniquement de :

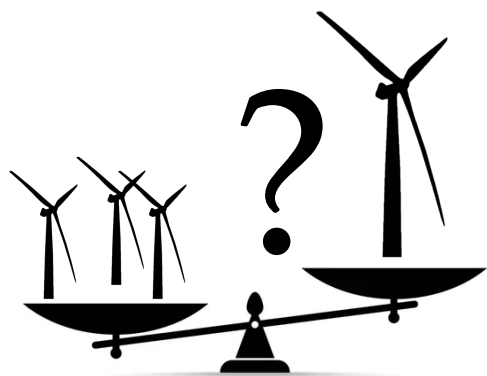
- La taille des turbines
- Leur espacement
- La Puissance brute installée

Réduction du nb d'éoliennes = diminution du risque de mortalités ?



Repowering
éolien

Il n'y a pas que la taille qui compte...



La réduction du nombre d'éoliennes **ne semble pas garantir** une réduction du nombre de mortalités pour les chiroptères (cf. Huso *et al.*, 2021 et Garvin *et al.*, 2024)

Mais ça pourrait être le cas pour certains rapaces (cf. Shaub *et al.*, 2024) si la garde au sol est maintenue.

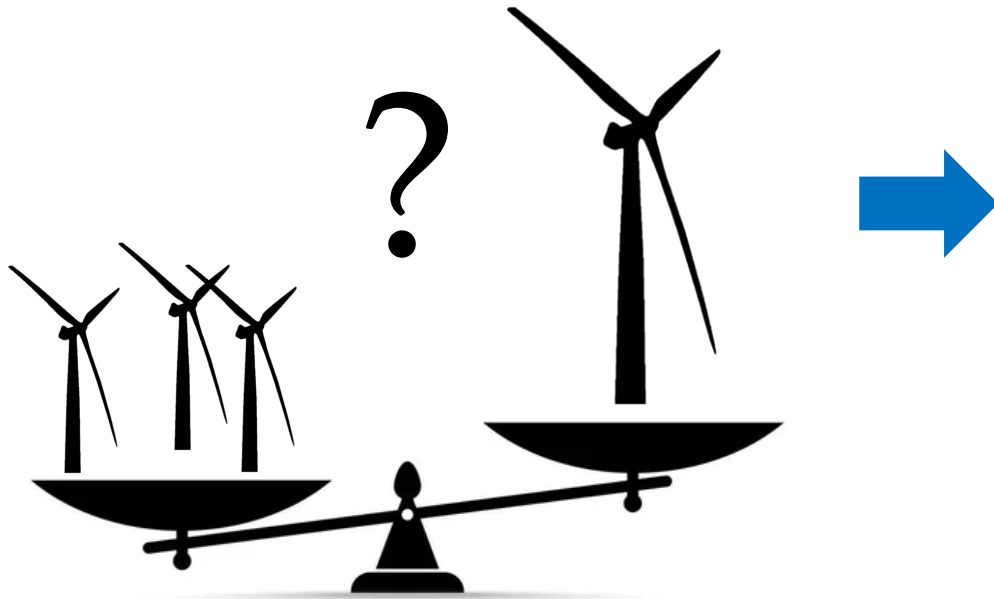
Le potentiel moindre impact sur la faune volante est dépendant des scénarii de repowering et des espèces à enjeux du site.

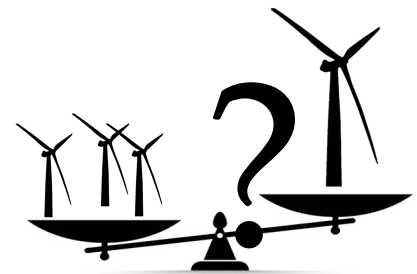
Pour évaluer l'effet du repowering sur le risque de mortalité, il faut considérer :

- le nombre d'éoliennes du futur parc

ET

- le caractère mortifère du parc existant
- les dimensions des nouvelles machines
 - **hauteur de garde au sol**
 - diamètre du rotor
 - surface totale balayée par les pâles
- l'évolution de la Puissance brute installée et de la Production potentielle





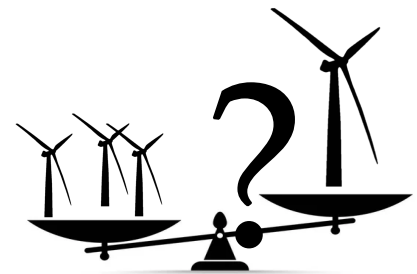
Pistes de réflexion



Repowering
éolien

1. Intégrer dans l'évaluation des risques d'incidences « **notables** » ou « **substantielles** » conduisant au déclenchement d'une instruction d'un repowering :

- ✓ les **connaissances scientifiques nouvelles** en matière :
 - D'évaluation des enjeux écologiques, dont de la sensibilité et de la vulnérabilité des espèces volantes à l'éolien terrestre
 - D'exploitation des suivis mortalités et des risques sur la démographie de certaines populations
 - D'évaluation des risques d'impacts au regard :
 - Des dimensions des machines (hauteur de garde au sol, diamètre des rotors, Puissance installée, Production potentielle) en complément de leur hauteur totale
 - Des habitats environnants susceptibles d'être concernés par l'effet de sillage
- ✓ les enjeux associés aux écosystèmes concernés par les **nouvelles emprises au sol** des :
 - futures éoliennes
 - plateformes techniques, parking, pistes d'accès
 - voies de raccordement au réseau électrique, etc.

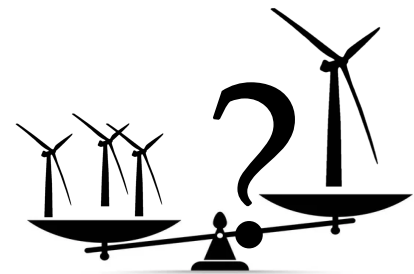


Pistes de réflexion



Repowering
éolien

1. Intégrer dans l'évaluation des risques d'incidences « **notables** » ou « **substantielles** » conduisant au déclenchement d'une instruction d'un repowering les **connaissances scientifiques nouvelles** et les enjeux associés aux écosystèmes concernés par les **nouvelles emprises au sol du parc éolien**
2. Eviter les zones à forte sensibilité environnementale (sites Natura 2000, parcs nationaux, ...)
3. Abandonner les éoliennes particulièrement mortifères ou aux effets délétères sur les habitats environnants nécessaires à l'accomplissement des cycles biologiques des espèces à fort enjeux de conservation



Pistes de réflexion

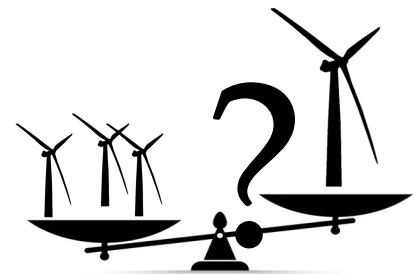


Repowering
éolien

1. Intégrer dans l'évaluation des risques d'incidences « **notables** » ou « **substantielles** » conduisant au déclenchement d'une instruction d'un repowering les **connaissances scientifiques nouvelles** et les enjeux associés aux écosystèmes concernés par les **nouvelles emprises au sol du parc éolien**
2. Eviter les zones à forte sensibilité environnementale (sites Natura 2000, parcs nationaux, ...)
3. Abandonner les éoliennes particulièrement mortifères ou aux effets délétères sur les habitats environnants nécessaires à l'accomplissement des cycles biologiques des espèces à fort enjeux de conservation
4. Actualiser les mesures de réduction :
 - éloigner les éoliennes des lisières forestières, haies, zones humides, etc. ;
 - augmenter la hauteur de garde au sol
 - ajouter de **mesures de bridage** ou optimiser les seuils existants au regard des espèces présentes



Bridage : mesure qui a prouvé son efficacité ... mais qui ne réduit jamais à 100% les mortalités (cf. Whitby et al, 2021, 2024)



Pistes de réflexion

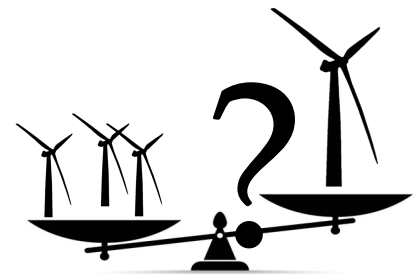


Repowering
éolien

1. Intégrer dans l'évaluation des risques d'incidences « **notables** » ou « **substantielles** » conduisant au déclenchement d'une instruction d'un repowering les **connaissances scientifiques nouvelles** et les enjeux associés aux écosystèmes concernés par les **nouvelles emprises au sol du parc éolien**
2. Eviter les zones à forte sensibilité environnementale (sites Natura 2000, parcs nationaux, ...)
3. Abandonner les éoliennes particulièrement mortifères ou aux effets délétères sur les habitats environnants nécessaires à l'accomplissement des cycles biologiques des espèces à fort enjeux de conservation
4. Actualiser les mesures de réduction :
 - éloigner les éoliennes des lisières forestières, haies, zones humides, etc. ;
 - augmenter la hauteur de garde au sol
 - ajouter de **mesures de bridage** ou optimiser les seuils existants au regard des espèces présentes
 - déployer des **dispositifs d'effarouchement ou de bridage réactif**



Sous réserve de preuves scientifiques de la performance et efficacité de chaque dispositif et pour toutes les espèces ciblées - Cf. étude en cours de l'Observatoire : SDA+



Pistes de réflexion



Repowering
éolien

1. Intégrer dans l'évaluation des risques d'incidences « **notables** » ou « **substantielles** » conduisant au déclenchement d'une instruction d'un repowering les **connaissances scientifiques nouvelles** et les enjeux associés aux écosystèmes concernés par les **nouvelles emprises au sol du parc éolien**
2. Eviter les zones à forte sensibilité environnementale (sites Natura 2000, parcs nationaux, ...)
3. Abandonner les éoliennes particulièrement mortifères ou aux effets délétères sur les habitats environnants nécessaires à l'accomplissement des cycles biologiques des espèces à fort enjeux de conservation
4. Actualiser les mesures de réduction
5. Mettre en oeuvre des mesures de compensation en cas d'impacts résiduels négatifs significatifs

Références bibliographiques

- ADEME (Volard A. coord.) 2020. Renouvellement de l'éolien : quelles stratégies possibles et envisageables en fin d'exploitation pour les parcs éoliens terrestres ? 138pp. <https://librairie.ademe.fr/ged/255/renouvellement-parcs-eoliens-011119v1.pdf>
- Arnett, E. B., Brown, W. K., Erockson, W. P., Fiedler, J. K., Hamilton, B. L., Henry, T. H., Jain, A., Johnson, G. D., Kerns, J., Koford, R. R., Nicholson, C. P., O'Connell, T. J., Piorkowski, M. D., & Tankersley JR., R. D. 2008. Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. *The Journal of Wildlife Management*, 72(1), 61–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.2193/2007-221>
- Band, W., Madders, M., & Whitfield, D. P. 2007. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In M. de Lucas, G. F. E. Janns, & M. Ferrer (Eds.), *Birds and wind farms: Risk assessment and mitigation*, 259–275. Quercus Editions.
- Barclay, R. M. R., Baerwald, E. F., & Gruver, J. C. 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology*, 85(3), 381–387. <https://doi.org/10.1139/Z07-011>
- Ellerbrok J.S, Delius A., Peter F., Farwig N., Voigt C. 2022. Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. *Journal of Applied Ecology* 59:10:2497-2506.
- Fiedler, J. K., Henry, T. H., Nicholson, C. P., & Tankersley, R. D. 2007. Results of bat and bird mortality monitoring at the expanded Buffalo Mountain windfarm, 2005. Tennessee Valley Authority, Knoxville, USA.
- Garvin, JC, Simoni JL, Taylor JL. 2024. Does size matter? Investigation of the effect of wind turbine size on bird and bat mortality. *Biological Conservation*, 291, 110474.
- Huso M, Conkling T, Dalthorp D, Davis M, Smith H, Fesnock A, Katzner T. 2021. Relative energy production determines effect of repowering on wildlife mortality at wind energy facilities. *Journal of Applied Ecology*, 58(6), 1284–1290.
- Loss SR, Will T, Marra PP. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation*, 168, 201–209
- Mathews, F., Richardson, S., Lintott, P., & Hosken, D. 2016. Understanding the risk to European protected species (bats) at onshore wind turbine sites to inform risk management. DEFRA Report WC0753.
- Ministère de la Transition écologique et Solidaire. 2018. Instruction du Gouvernement du 11 juillet 2018 relative à l'appréciation des projets de renouvellement des parcs éoliens terrestres. NOR : TREP1808052J.
- RTE. 2024. Evolution du facteur de charge éolien <https://assets.rte-france.com/analyse-et-donnees/2024-10/%C3%89volution%20du%20facteur%20de%20charge%20%C3%A9olien.pdf>
- Schaub T, Klaassen RHG, De Zutter C, Albert P, Bedotti O, Bourrioux JL, Buij R, Chadœuf J, Grande C, Illner H, Isambert J, Janssens K, Julius E, Lee S, Mionnet A, Müskens G, Raab R, van Rijn S, Shamoun-Baranes J, Spanoghe G, Van Hecke B, Waldenström J, Millon A. 2024. Effects of wind turbine dimensions on the collision risk of raptors: A simulation approach based on flight height distributions. *Science of The Total Environment*, 954, 176551. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176551>
- Whitby M.D., O'Mara M.T., Hein C.D., Huso M. and Frick W.F. 2021. A decade of curtailment studies demonstrates a consistent and effective strategy to reduce bat fatalities at wind turbines in North America. *Ecological solutions and evidence*. Vol 5 Issue 3. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2688-8319.12371>
- Whitby M. D., O'Mara M.T., Hein C.D., Huso M. et Frick W.F. 2024. A decade of curtailment studies demonstrates a consistent and effective strategy to reduce bat fatalities at wind turbines in North America. *Ecological Solutions and Evidence* : 5:e12371. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12371>

Merci de votre attention

