

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 croît 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>