

Guide d'utilisateur de l'outil *EolPower*

Thierry Chambert, CNRS, URM5175 CEFE, Montpellier

Aurélien Besnard, EPHE, UMR5175 CEFE, Montpellier

Introduction

EolPower est un outil d'évaluation et d'optimisation des suivis de mortalités d'oiseaux et de chiroptères réalisés sur les parcs éoliens. Cet outil est composé de deux modules différents, dont les objectifs respectifs sont :

1. [*module « Evaluer un suivi existant »*] : Evaluer le niveau de précision fournit par un protocole de suivi existant. Plus précisément, l'outil permet de calculer la probabilité d'être en-dessous d'un certain **seuil de mortalités**, à partir d'un effort de suivi donné.
2. [*module « Planifier un nouveau suivi »*] : Dimensionner un nouveau protocole de suivi. Plus précisément, l'outil permet de déterminer l'effort de suivi requis (fréquence de passages) pour décider « au mieux » si un **seuil de mortalités** prédéterminé a été atteint.

Il est important de préciser que le *seuil de mortalités* dont on parle ici est exprimé en termes de *mortalités réelles*, et non pas en termes de *cadavres observés* lors du suivi. Le nombre de *cadavres observés* lors d'un suivi est forcément une sous-estimation du nombre de *mortalités réelles* du fait des sources de biais suivantes (Bernardino et al. 2013) :

- **Biais de persistance.** Les cadavres peuvent avoir disparu, du fait de charognards, avant qu'un passage du suivi n'ait été réalisé. Ces cadavres ne seront donc jamais découverts. Les tests de persistance visent à corriger ce biais dans l'étape d'estimation des mortalités réelles.
- **Biais de détection.** Les observateurs de terrain n'étant pas infaillibles, ils peuvent rater des cadavres se trouvant dans leur zone de prospection. Les tests d'efficacité observateur visent à corriger ce biais dans l'étape d'estimation.
- **Biais surfacique.** On ne peut pas toujours prospecter la totalité de la surface théorique de chute des cadavres. Il est donc possible que l'on rate des cadavres qui seraient tombés dans les zones non-prospectées.

Seuil écologique et seuil statistique

EolPower se positionne volontairement dans un **contexte de prise de décision**, où la question centrale serait : « A-t-on atteint le seuil de mortalités X ? ». Dans le cas du module « *Evaluer un suivi existant* » (objectif 1 cité plus haut), cela revient plus précisément à répondre à la question : « D'après l'effort de suivi qui a été déployé et le nombre de cadavres retrouvés, peut-on considérer que le seuil de mortalités X a été atteint ? ». Dans le cas du module « *Planifier un nouveau suivi* » (objectif 2), où l'on cherche à optimiser l'effort à investir dans un suivi de sorte à (i) maximiser la justesse de la décision et (ii) minimiser le coût du suivi, cela revient à répondre à la question : « Quel effort de suivi faudrait-il déployer pour arriver à conclure de façon fiable si, oui ou non, le seuil de mortalités X a été atteint ? »

Dans les deux cas, cela suppose d'avoir choisi, en amont de l'analyse, une valeur pour ce seuil de mortalités « X », que l'on appellera ici le **seuil de risque écologique**. En effet, ce seuil représente la limite à partir de laquelle les mortalités deviennent « trop nombreuses » et posent ainsi une menace pour le maintien de la population dans un « bon état écologique ». La question de la définition de ce seuil de risque écologique n'est pas du ressort de ce guide d'utilisateur, donc nous ne la traiterons pas en détail ici. Nous mentionnerons simplement qu'un tel seuil peut être déterminé via l'utilisation de modèles démographiques (par exemple à l'aide de l'outil [EolPop](#) que nous avons développé dans le cadre de MAPE), dès lors que des objectifs de conservation clairs et quantifiés ont été définis. La définition de tels objectifs n'est pas une tâche d'ordre purement scientifique car elle relève aussi d'un choix sociétal et politique : « quel niveau de population souhaite-t-on pour telle espèce ? ». Pour l'utilisation d'EolPower, nous partons donc du principe qu'un seuil de mortalités a été défini au préalable.

Un deuxième type de seuil doit être défini pour pouvoir traduire les résultats d'un suivi de mortalités en termes de décision : il s'agit du **seuil de risque statistique**. Un tel seuil est indispensable pour traduire un résultat continu (gradient des valeurs de mortalités possibles) en une décision binaire (oui/non). En effet, l'estimation du nombre de mortalités, à partir des données de suivi et des méthodes statistiques appropriées (Huso 2011; Bernardino et al. 2013; Dalthorp et al. 2018), fournit un résultat qui comporte forcément de l'**incertitude**. Autrement dit, ce que l'on obtient n'est pas une valeur unique de mortalité estimée mais une courbe de distribution statistique¹ représentant la **gamme des valeurs possibles** et leur **plausibilité** respective (figure 1). Lorsque cette gamme de valeurs possibles recoupe le seuil de mortalités (seuil écologique), on ne peut pas conclure de façon certaine que ce seuil ait été atteint ou non. La distribution statistique des mortalités nous permet cependant de calculer la probabilité d'être en-dessous ou au-dessus de ce seuil. Pour trancher, il faut donc décider si la probabilité d'avoir franchi le seuil écologique est *suffisamment faible* pour pouvoir conclure « sans trop de risque » que l'on est en-dessous de ce seuil. Pour cela il nous faut définir une valeur limite de ce que l'on considère être une probabilité *suffisamment faible* : c'est le seuil de risque statistique (α). Ce seuil statistique est appelé classiquement le risque d'erreur « de type 1 », erreur que l'on est prêt à **tolérer**. Ici, l'**erreur de type 1** est celle qui consisterait à **conclure, à tort, que le seuil écologique n'a pas été atteint, alors qu'en réalité il a été franchi** (figure 2). Si l'on applique le **principe de précaution**, notre *tolérance* à ce risque d'erreur (erreur qui pénaliserait la population animale) doit être *faible*. Dans ce cas, il faudra choisir une valeur de seuil statistique α relativement faible. Par exemple, en choisissant $\alpha = 5\%$ ², cela revient à accepter 5% de chance de se tromper en concluant que le seuil écologique n'a pas été atteint.

Un deuxième type d'erreur est possible (figure 2). C'est ce que l'on appelle l'erreur **de type 2**, et qui ici consisterait à **conclure à tort que le seuil écologique a été franchi, alors qu'en réalité il n'a pas été atteint**. Ce type d'erreur de conclusion pénalise le parc éolien. Une fois que le seuil de risque statistique α a été fixé (pour permettre une prise de décision), la seule façon de réduire le risque d'erreur de type 2 est d'augmenter l'effort de suivi pour réduire l'incertitude d'estimation. Lorsque l'on dimensionne un suivi (voir plus bas, partie « Planifier un nouveau suivi »), la probabilité d'erreur de type 2 pourra donc être un des critères utilisés pour déterminer l'effort à investir dans le suivi.

¹ Cette distribution est souvent simplifiée sous forme d'une estimation centrale avec un intervalle de confiance.

² Le chiffre de 5% n'est donné qu'à titre indicatif. Il ne fait pas figure de référence. On pourrait très bien choisir un seuil statistique α de 1%, 3% ou 10%, selon la tolérance au risque d'erreur choisie.

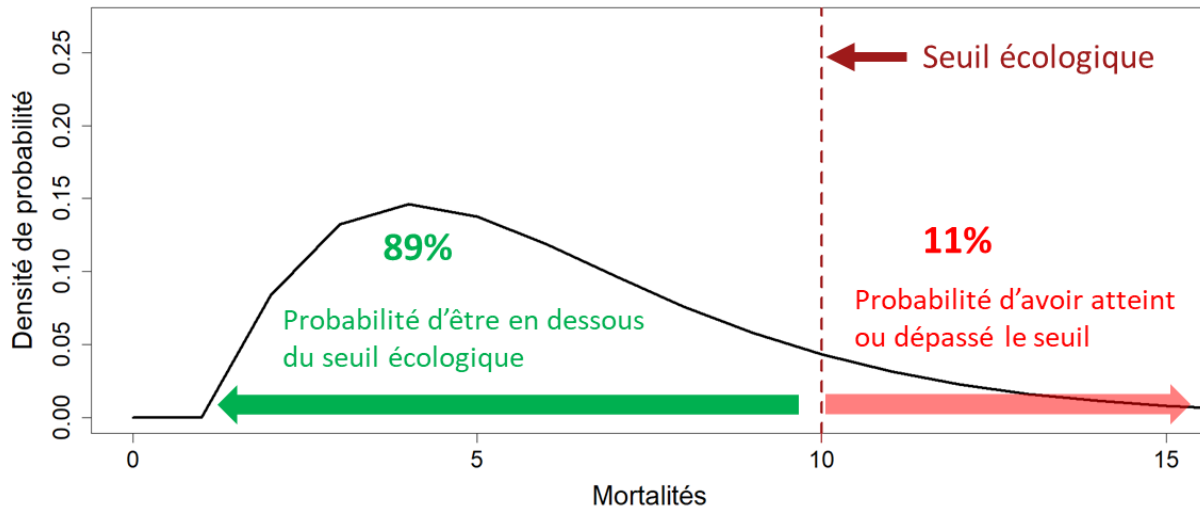


Figure 1. Distribution de probabilité des valeurs de mortalités possibles. Cette distribution est issue du processus d'estimation à partir des données de suivi. L'axe des Y reflète la plausibilité de chaque valeur de mortalité (axe des X). La ligne en pointillée représente le seuil écologique. On voit que la gamme des valeurs de mortalité possibles recoupe ce seuil écologique. La probabilité d'être en-dessous de ce seuil est de 89% et la probabilité d'être au-dessus de ce seuil est de 11%.

Conclusion de l'analyse

	On conclut « seuil dépassé »	On conclut « seuil non atteint »
Réalité (inconnue)		
Seuil écologique dépassé	😊	Erreur de type 1 Danger pour la population
Seuil écologique non atteint	Erreur de type 2 On pénalise le parc à tort	😊

Figure 2. Représentation des deux types d'erreur de conclusion possibles. L'erreur de type 1 consiste à conclure à tort que le seuil écologique n'a pas été atteint, alors qu'en réalité il a été franchi. L'erreur de type 2 consiste à conclure à tort que le seuil écologique a été franchi, alors qu'en réalité il n'a pas été atteint. Par convention, la probabilité d'erreur de type 1 est dénotée α , tandis que la probabilité d'erreur de type 2 est dénotée β .

Principe de l'outil et vue d'ensemble

EolPower utilise les formules statistiques développées par Dalthorp et al. (2017, 2018), dans le cadre des outils GENEST³ et Evidence Of Absence⁴, pour calculer la probabilité globale de détecter les

³ Pour plus d'informations sur l'outil GENEST, voir : <https://pubs.er.usgs.gov/publication/tm7A2>

⁴ Pour plus d'informations sur l'outil Evidence Of Absence, voir : <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ds881>

cadavres d'après les informations fournies par l'utilisateur. A partir de cette détection globale, EolPower peut ensuite :

1. [module « *Evaluer un suivi existant* »] : estimer la *distribution de probabilité* (= gamme et plausibilité des valeurs possibles) du nombre de mortalités. Cette distribution permet ensuite de calculer la probabilité d'être en-dessous ou au-dessus d'un certain seuil de mortalités prédéterminé.
2. [module « *Planifier un nouveau suivi* »] : simuler des jeux de données de suivi des mortalités selon différents scénarios d'effort de suivi (fréquence de passage). Ces jeux de données simulés servent ensuite à déterminer l'effort de suivi requis pour ne pas dépasser le seuil de risque statistique α choisi, ce qui revient à certifier un certain niveau de certitude ($1 - \alpha$) pour prendre la décision « seuil écologique non atteint ».

Evaluer un suivi existant

Pour lancer une analyse avec le module « Evaluer un suivi existant », l'utilisateur doit renseigner les huit paramètres d'entrée suivants (figure 3) :

1. **Seuil de mortalités réelles.**
Cela correspond au seuil de risque écologique décrit plus haut, c'est-à-dire le seuil de mortalités « acceptable ». L'échelle de temps sur laquelle s'étalent ces mortalités doit correspondre à la période du suivi, typiquement quelques mois ou une année.
2. **Seuil de risque statistique (α) toléré.**
Il s'agit du risque d'erreur de type 1 que l'on est prêt à accepter. L'erreur de type 1 est l'erreur qui consisterait à conclure à **tort** que le seuil écologique n'a pas été atteint, *alors qu'en réalité il a été franchi* (voir détails en introduction).
3. **Nombre de cadavres retrouvés.**
Il s'agit du nombre total de cadavres retrouvés sur le terrain, pour une espèce donnée, sur toute l'étendue de la période de suivi du parc.
4. **Etendue de la période de suivi, en jours.**
Intervalle entre le premier passage et le dernier passage du suivi, typiquement de plusieurs mois sur la saison correspondant au pic d'activité ou de présence des espèces cibles du suivi.
5. **Intervalle entre deux passages, en jours.**
C'est l'élément principal qui détermine l'*effort* de suivi. Si l'intervalle entre passages varie, veuillez indiquer l'intervalle moyen (moyenne pondérée).
6. **Temps de persistance moyen des cadavres, en jours.**
Le temps de persistance estimé à partir données obtenues au cours des tests de persistance (Bernardino et al. 2013).
7. **Efficacité des observateurs.**
Il s'agit de la probabilité (moyenne) qu'un observateur détecte un cadavre se situant dans sa zone de prospection. Cette probabilité est calculée à partir données obtenues au cours des tests d'efficacité (Bernardino et al. 2013).
8. **Surface prospectée.**
Il s'agit de la proportion prospectée relative à la surface totale théorique (STH) de la zone de

chute possible des cadavres (Bernardino et al. 2013). Deux composantes déterminent cette proportion « s » : (i) la proportion d'éoliennes du parc qui sont suivies et (ii) la proportion de la STH prospectée sous chaque éolienne suivie. Par exemple, si pour un parc de 10 éoliennes, on en suit quatre et qu'on couvre 100% de la STH sous chaque éolienne suivie, alors $s = 0,40$. Si pour un parc de 10 éoliennes, on en suit cinq et qu'on couvre en moyenne 60% de la STH sous chaque éolienne, alors $s = 0,3$ ($5/10 \times 0.60$).

Une fois ces paramètres d'entrée renseignés, il suffit d'appuyer sur le bouton « lancer l'analyse ».

The interface consists of three panels:

- Seuils (Limits):**
 - Seuil de mortalités réelles: 10
 - Risque statistique toléré (?): 0,05
- Données observées (Observed Data):**
 - Nombre de cadavres retrouvés: 2
- Effort de suivi (Monitoring Effort):**
 - Etendue de la période de suivi (jours): 100
 - Intervalle entre deux passages (jours): A slider set to 5, with a range from 1 to 30.
- Paramètres de détection (Detection Parameters):**
 - Persistence moyenne des cadavres (jours): 2,5
 - Efficacité observateur (proba détection): A slider set to 0.75, with a range from 0 to 1.
 - Surface prospectée (proportion): A slider set to 0.8, with a range from 0 to 1.

Figure 3. Les huit paramètres d'entrée à renseigner pour l'analyse « Evaluer un suivi existant ».

Deux résultats sont alors produits : (1) un graphique (figure 4) représentant la gamme des valeurs possibles de mortalités (distribution de probabilité) et (2) une sortie texte (figure 5) qui fournit les éléments suivants :

- Nombre de mortalités réelles estimé et intervalle de confiance à 95%.
- Probabilité d'avoir franchi le seuil de mortalité choisi (seuil écologique).
- Probabilité d'être en-dessous du seuil de mortalité choisi (seuil écologique).
- Conclusion (seuil atteint ou non) tirée de la distribution des mortalités estimées obtenue et du seuil de risque statistique (α) renseigné.

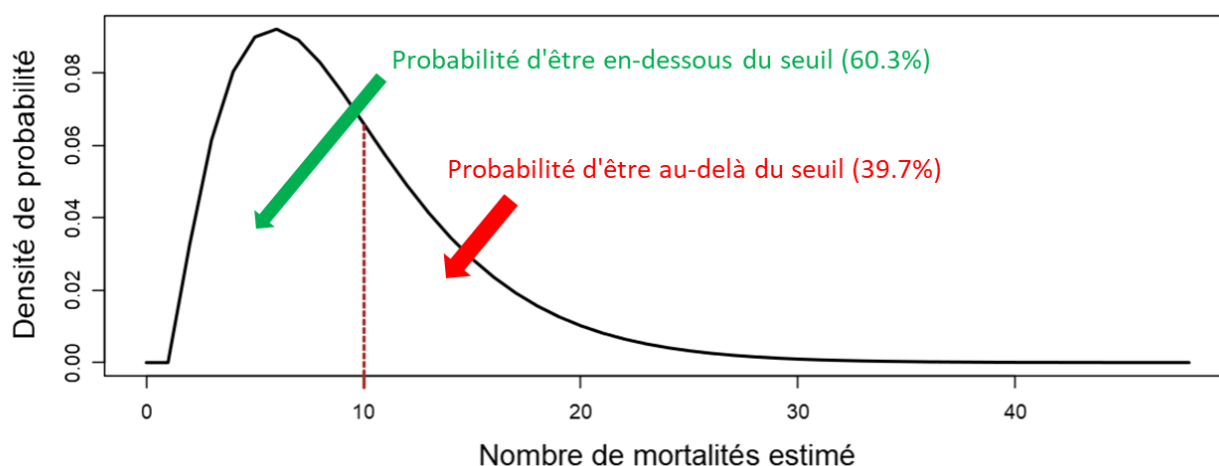


Figure 4. Distribution de probabilité, représentant la gamme des valeurs possibles de mortalités. Le seuil de mortalité choisi est représenté par la ligne pointillée. La probabilité d'avoir franchi ce seuil de mortalité correspond à l'aire sous la courbe (= probabilité cumulée) à droite du seuil (ici, 39.7%). La probabilité d'être en-dessous de ce seuil de mortalité correspond à l'aire sous la courbe à gauche du seuil (ici, 60.3%).

Seuil autorisé atteint

Probabilité d'avoir dépassé le seuil de mortalité autorisé : 39.7%

Probabilité d'être en-dessous du seuil de mortalité autorisé : 60.3%

Nombre de mortalités estimé : 6 mortalités

Intervalle de confiance à 95% : 2 - 22 mortalités

Figure 5. Sortie texte résumant les résultats d'estimation et la conclusion à tirer selon le seuil de risque statistique (α) renseigné par l'utilisateur. Ici, le seuil choisi est considéré comme atteint car la probabilité de l'avoir franchi (39.7%) est supérieure au seuil de tolérance choisi ($\alpha = 5\%$).

Planifier un nouveau suivi

Pour lancer une analyse avec le module « Planifier un nouveau suivi », l'utilisateur doit renseigner exactement les mêmes paramètres d'entrée (décrit plus haut) que pour l'analyse « Evaluer un suivi existant », à deux exceptions près :

- Il n'y a pas besoin de renseigner de nombre de cadavres retrouvés. En effet en l'absence de données de terrain, l'analyse va simuler des valeurs plausibles de cadavres retrouvés, d'après les autres informations que vous aurez renseignées. Ici, l'objectif est de dimensionner un futur suivi, donc on ne s'attend pas à connaître *a priori* le nombre de cadavres que l'on va retrouver lors du suivi.
- Concernant la fréquence des passages, il faut renseigner l'intervalle maximal à considérer. L'analyse testera toutes les valeurs de fréquence depuis « un passage tous les jours »

(intervalle = 1) jusqu'au maximum indiqué (ex : un passage tous les 15 jours si l'intervalle maximal renseigné est de 15 jours).

En ce qui concerne les six autres paramètres, ce sont exactement les mêmes que pour l'analyse « Evaluer un suivi existant ». Nous les rappelons ici :

1. **Seuil de mortalités réelles.**

Cela correspond au seuil de risque écologique décrit plus haut, c'est-à-dire le seuil de mortalités « acceptable ». L'échelle de temps sur laquelle s'étalent ces mortalités doit correspondre à la période du suivi, typiquement quelques mois ou une année.

2. **Seuil de risque statistique (α) toléré.**

Il s'agit du risque d'erreur de type 1 que l'on est prêt à accepter. L'erreur de type 1 est l'erreur qui consisterait à conclure **à tort** que le seuil écologique n'a pas été atteint, *alors qu'en réalité il a été franchi* (voir détails en introduction).

3. **Etendue de la période de suivi, en jours.**

Intervalle entre le premier passage et le dernier passage du suivi, typiquement de quelques mois sur la saison correspondant au pic d'activité ou de présence de l'espèce.

4. **Temps de persistance moyen des cadavres, en jours.**

Le temps de persistance estimé à partir données obtenues au cours des tests de persistance (Bernardino et al. 2013).

5. **Efficacité des observateurs.**

Il s'agit de la probabilité (moyenne) qu'un observateur détecte un cadavre se situant dans sa zone de prospection. Cette probabilité est calculée à partir données obtenues au cours des tests d'efficacité (Bernardino et al. 2013).

6. **Surface prospectée.**

Il s'agit de la proportion prospectée relative à la surface totale théorique (STH) de la zone d'atterrissage possible des cadavres (Bernardino et al. 2013). Deux composantes déterminent cette proportion « s » : (i) la proportion d'éoliennes du parc qui sont suivies et (ii) la proportion de la STH prospectée sous chaque éolienne suivie. Par exemple, si pour un parc de 10 éoliennes, on en suit quatre et qu'on couvre 100% de la STH sous chaque éolienne, alors $s = 0,40$. Si pour un parc de 10 éoliennes, on en suit cinq et qu'on couvre en moyenne 60% de la STH sous chaque éolienne, alors $s = 0,3$ ($5/10 \times 0,60$).

Une fois que ces paramètres ont été renseignés, il suffit d'appuyer sur le bouton « lancer l'analyse ». L'application lance alors les simulations. Pour chaque scénario d'effort de suivi évalué, des données (nombre de cadavres retrouvés) sont simulées, à partir des paramètres indiqués, et cela pour deux cas de figure :

1. Un cas de figure où le nombre de mortalités réelles sur la saison est égale au seuil écologique. Ceci permet de calculer la probabilité d'erreur de type 1, c'est-à-dire de conclure **à tort** que le seuil écologique n'a pas été atteint, *alors qu'en réalité il a été franchi*.
2. Un cas de figure où le nombre de mortalités réelles sur la saison est inférieur au seuil écologique. Ceci permet de calculer la probabilité d'erreur de type 2, c'est-à-dire de conclure **à tort** que le seuil écologique a été atteint, *alors qu'en réalité il n'a pas été atteint*.

C'est à partir de ces données simulées et de ces calculs de risque d'erreur de type 1 et 2 que sont produits les résultats. Deux sorties sont fournies par l'application pour présenter les résultats : (1) un

graphique (figure 6) montrant l'évolution des risques d'erreur de type 1 et de type 2 au fur et à mesure que l'intervalle entre passages augmente (c-à-d. à mesure que l'effort de suivi diminue) ; et (2) un tableau (figure 7) dans lequel figurent, pour chaque scénario d'effort de suivi testé, les éléments suivants :

- Intervalle entre 2 passages, en jours (= effort de suivi ; scénario)
- Nombre de passages total à effectuer sur la saison (= proxy du coût total du suivi)
- Seuil d'alerte, en nombre de cadavres retrouvés (voir définition plus bas)
- Erreur de type 1
- Erreur de type 2

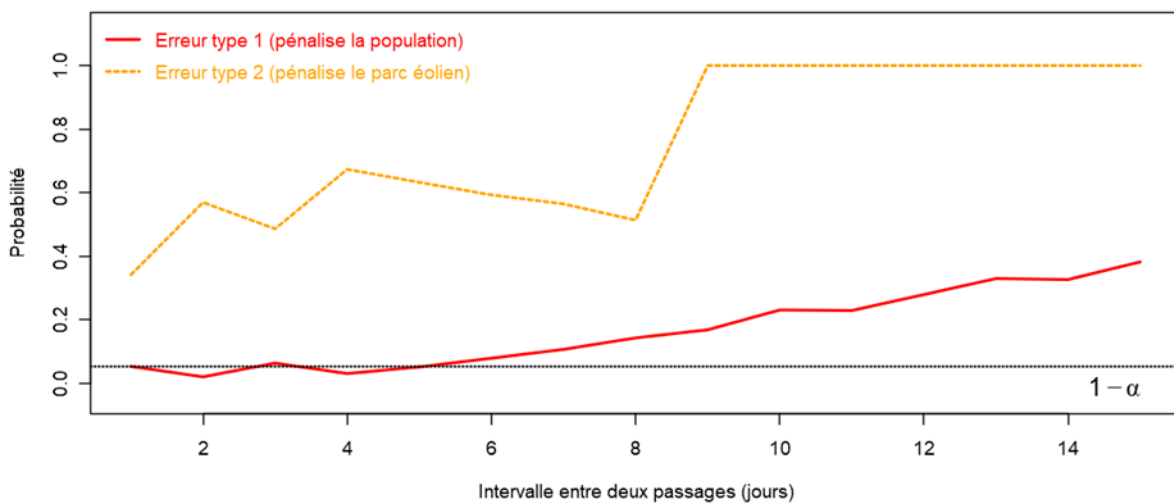


Figure 6. Probabilités d'erreurs de type 1 et 2 en fonction de l'intervalle entre deux passages (c'est-à-dire de l'effort de suivi).

Seuls les résultats des protocoles qui respectent la contrainte « probabilité d'erreur de type 1 $\leq \alpha$ » sont affichés. En effet, la valeur α fournie par l'utilisateur est censée représenter la tolérance maximale en termes de risque statistique, donc tous les scénarios qui ne respectent pas cette contrainte sont d'emblée considérés comme insuffisants. Parmi les scénarios restants, tous sont acceptables du point de vue de leur performance à détecter un dépassement du seuil écologique. La différence entre ces scénarios d'effort de suivi concernera :

1. **La probabilité d'erreurs de type 2.** Ce type d'erreur⁵ pénalise le parc éolien, qui cherchera donc en général à minimiser la probabilité de ces erreurs.
2. **Le seuil d'alerte associé.** Il s'agit du nombre de cadavres retrouvés à partir duquel l'estimation conclura à un dépassement du seuil, entraînant une décision pénalisante pour le parc éolien (ex : mise en place de mesures de réduction, arrêt du parc). Plus le seuil d'alerte est bas, plus un parc éolien risque de se trouver rapidement dans une situation pénalisante.
3. **Leur coût.** Le nombre de passages total à effectuer est un proxy direct du coût d'un suivi, un élément que le parc éolien cherchera sans doute à minimiser.

⁵ Pour rappel : erreur de type 2 = conclure à tort que le seuil écologique a été atteint, alors qu'en réalité il n'a pas été atteint. C'est une erreur qui pénalise le parc éolien.

Intervalle entre 2 passages (jours)	Nombre de passages à effectuer sur la saison	Seuil d'alerte (nb de cadavres retrouvés)	Erreur de type 1	Erreur de type 2
1	100	4	0.06	0.33
2	50	2	0.02	0.56
3	34	2	0.06	0.49
4	25	1	0.02	0.69
5	20	1	0.05	0.62

Figure 7. Tableau de résultats fourni suite à une analyse « Planifier un nouveau suivi ».

Références bibliographiques

Bernardino J, Bispo R, Costa H, Mascarenhas M. 2013. Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology* **40**:63–74. Taylor & Francis.

Dalthorp D, Huso MM, Dail D. 2017. Evidence of absence (v2. 0) software user guide. US Geological Survey.

Dalthorp D, Madsen L, Huso MM, Rabie PA, Wolpert R, Studyvin J, Simonis J, Mintz J. 2018. GenEst statistical models—A generalized estimator of mortality. US Geological Survey.

Huso MMP. 2011. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics* **22**:318–329. Wiley Online Library.