

MILANEOL : Étude de la mortalité du milan royal (*Milvus milvus*) par les éoliennes en Wallonie

Rapport Final version 1.1 – 27 novembre 2024



CSDINGENIEURS⁺
INGÉNIEUX PAR NATURE

 **LIÈGE**
université


natagora

Avec le soutien de la

 **Wallonie**

Auteurs

Arnaud Vansteenkiste¹, Arnaud Beckers², Dorothée Denayer³, Jean-Yves Paquet⁴ et Nicolas Magain^{1*}

¹ Biologie de l'évolution et de la conservation, UR InBioS, Université de Liège, chemin de la vallée 4, 4000 Liège.

² CSD Ingénieurs Conseils SA, Avenue Prince de Liège 72, 5100 Jambes.

³ SEED, Etude et gestion du vivant. Université de Liège, Avenue de Longwy 185
6700 Arlon

⁴ Natagora, Traverse des muses 1, 5000, Namur.

Contact : Nicolas.Magain@uliege.be

Remerciements

Cette étude réalisée entre mars 2023 et novembre 2024 s'inscrit dans le cadre de l'appel « Projet 123 : Renforcer l'acquisition et le partage des connaissances et des compétences en matière de biodiversité, et particulièrement en conservation et gestion de la nature, en soutenant des projets alliant universités et acteurs associatifs. » porté par le SPW Environnement dans le cadre du Plan de Relance de la Wallonie. Nous remercions le comité de sélection pour leur confiance. Nous tenons à remercier les membres du comité d'accompagnement : Jean-Philippe Bizoux (DNF), Jérémy Simar (DEMNA) et Laurent Gilles (DNF) pour leur suivi attentif du projet.

Nous remercions également Didier Vangeluwe, Sébastien Finck (IRSNB), Gerhard Reuter (AVES Ostkantone) et Stef Van Rijn (Delta Milieu) pour nous avoir rencontré, échangé sur le projet et partagé leur avis d'expert avec nous. Nous remercions l'ensemble des intervenants qui ont accepté de nous rencontrer pour l'enquête sur les dilemmes éthiques : Fawaz Al-Bitar (Edora), Patrice Doultrimont (Vent de Raison), Anne-Laure Geboes et Arnaud Collignon (Canopea), Antoine Mertens (ULiège), Jean-Yves Paquet (Natagora), Gerhard Reuter (AVES-Ostkantone,), Frank Vassen (Commission Européenne) et Yves Storder (Lucéole).

Merci à Benjamin Touchard (CSD) pour ses conseils sur l'utilisation des drones et la programmation d'itinéraires. Merci à Johan Goubau (CSD) et Fawaz AL Bitar (Edora) pour leurs conseils quant à la définition de scénarios de développement de l'éolien en Wallonie. Nous remercions Quentin Demaret qui a réalisé son travail de fin d'études sur le sujet du milan royal en parallèle à cette étude, et Lucie Lelotte qui a participé aux tests de persistance de cadavres. Nous remercions René Dahmen (DNF) ainsi qu'Alexander Rauw (Natagora), et les agriculteurs et propriétaires qui nous ont laissé utiliser leurs parcelles, en particulier Daniel Ahn, Norbert Caels, René Clotuche, Eric Halmes, François Hendricks, David Lejeune, Benoit Niessen, Theo Steffens. Nous remercions le CREAVES de Hotton et le service du Prof. A. Linden (ULiège) pour leur collaboration. Merci à Julien Otoul, Alessandra Hollogne et Catherine Dubois (CSD Ingénieurs) pour leurs remarques sur une première version du rapport. Nous remercions Mme Chryssanti Koumbounis pour le suivi administratif pour l'Université de Liège.

La photo de couverture a été prise par Arnaud Beckers. Nous remercions Sébastien Hauptmann pour l'autorisation de reproduire deux photos de milans royaux agrémentant le présent rapport.

Résumé

Les éoliennes représentent une cause de mortalité avérée des rapaces diurnes en Europe, dont le milan royal (*Milvus milvus*), espèce listée à l'annexe I de la Directive Oiseaux et protégée en Wallonie. Le milan royal niche dans l'est de la Wallonie. Cette population est en forte expansion depuis son retour dans les années 1970 et agit probablement comme source pour la recolonisation des pays limitrophes.

L'impact des éoliennes actuelles et futures sur la population wallonne de cette espèce reste mal compris. Notre étude transdisciplinaire tente de répondre à cette question, d'une part en analysant les données démographiques de l'espèce en lien avec les scénarios de développement éolien, en estimant la mortalité engendrée par les éoliennes par la recherche de cadavres sur deux parcs éoliens wallons, et en modélisant l'évolution de la population sur les 30 prochaines années (horizon 2054) sur base de tous ces paramètres, et d'autre part en interrogeant un panel d'experts sur leur analyse de la situation et leur point de vue éthique.

Les interviews menées avec des experts de différents horizons, certains plutôt favorables et d'autres plutôt défavorables aux éoliennes, ont montré un consensus sur l'importance de réduire au maximum la mortalité des oiseaux. Les opinions divergent quant à l'ampleur acceptable de cette mortalité. Les positions des acteurs sont façonnées non seulement par leurs préoccupations environnementales, mais aussi par des considérations économiques, politiques et sociales. Plusieurs insistent sur le fait que les incertitudes futures quant à l'expansion du parc éolien doivent être prises en compte pour anticiper les impacts potentiels à long terme.

Au niveau démographique, notre étude se base sur une nouvelle estimation réalisée par AVES-Natagora pour 2024 de 500 à 600 couples pour la population wallonne, ce qui correspond à 1.716-2.060 individus selon les distributions de classes d'âge disponibles dans la littérature. Le taux de croissance moyen sur l'ensemble de la période 2007-2024 est estimé à 7,3%. Notre analyse des différentes estimations de la taille de la population suggère que le taux de croissance a diminué au cours du temps sur cette période.

Soixante recherches systématiques de cadavres menées sous neuf éoliennes de deux parcs en 2023 ont permis de trouver des indices de mortalité de deux individus de milans royaux : une aile complète le 03/07/23 à Butgenbach et des rectrices le lendemain à Halconreux. Ces observations combinées aux mesures de l'efficacité de l'observateur et de la persistance des cadavres suggèrent une mortalité annuelle totale de 3,35 milans par an pour les 9 éoliennes (intervalle de confiance 2,0 – 6,6) soit 0,37 individu par éolienne par an en moyenne pour deux zones dont la densité de couples nicheurs est estimée entre 6 et 12 territoires / 40 km². Une étude similaire menée 5 ans plus tôt avait estimé ce taux dans la même région à 0,2 individu par éolienne par an.

En rapportant ce taux à l'ensemble des éoliennes wallonnes et en tenant compte des variations de densité du milan royal, la mortalité annuelle totale en 2023 induite par les éoliennes est estimée à 20,6 milans, soit environ 1,1 % de la population présente en période de nidification, pour un total de 234 éoliennes en exploitation dans l'aire de répartition wallonne de l'espèce, réparties dans des zones de densité estimée variant entre 0,5 et 16 territoires/40 km².

Une analyse rétrospective basée sur l'évolution progressive du nombre d'éoliennes depuis 1998 (première éolienne en Wallonie), sur l'évolution de la population de milans royaux depuis le premier recensement de 2001-2007, et sur l'estimation de tous les individus théoriquement tués nous a permis d'estimer que si aucune éolienne n'avait été construite en Wallonie, la population actuelle (2023) aurait été augmentée de 4 à 15 % (+40-82 couples).

Une analyse de viabilité de la population a été réalisée à l'aide du logiciel EoPop pour la période 2024-2054. Six scénarios de croissance du nombre d'éoliennes (total wallon maximum estimé à 1.108 éoliennes) ont été combinés à quatre modèles démographiques portant sur le taux de croissance de la population du milan royal (3,7-6,8 %) et la capacité de charge (615-3.340 couples). Aucun des scénarios de développement éolien étudié ne résulte en une baisse de la population du milan royal en Wallonie, même dans les scénarios où la mortalité par éolienne a été par prudence augmentée de 50%. Les résultats des modèles suggèrent cependant, pour les scénarios démographiques jugés les plus probables, que la population en 2054 pourrait être 8% à 20% moins élevée par rapport à un scénario où on garderait le même nombre d'éoliennes qu'actuellement. Ces projections ne sont bien sûr valables que si les taux de croissance continuent de suivre la même trajectoire et que de nouveaux facteurs de mortalité ne viennent pas s'ajouter.

En conclusion, la mortalité éolienne a un impact sur la population de milans royaux en Wallonie, mais ne menace pas son évolution positive à moyen terme. Il convient cependant de continuer un suivi de l'espèce pour détecter d'éventuels changements de trajectoire démographique, et de poursuivre les efforts pour atténuer cette mortalité.

Summary

Wind turbines are a proven cause of mortality for diurnal birds of prey in Europe, including the Red kite (*Milvus milvus*), a species listed in Annex I of the Birds Directive and protected in Wallonia. The red kite nests in eastern Wallonia. This population has been expanding rapidly since its return in the 1970s, and is probably acting as a source for the recolonisation of neighbouring countries.

The impact of current and future wind turbines on the Walloon population of this species remains poorly understood. Our transdisciplinary study attempts to answer this question by analysing the demographic data for the species in relation to wind farm development scenarios, estimating the mortality caused by wind turbines by searching for carcasses on two Walloon wind farms, modelling population trends over the next 30 years (to 2054) on the basis of all these parameters, and by interviewing a panel of experts about their analysis of the situation and their ethical views.

Interviews with experts from a variety of backgrounds, some favourable and some unfavourable to wind energy, revealed a consensus on the importance of minimising bird mortality. Opinions differ as to the acceptable extent of this mortality. Stakeholders' positions are shaped not only by their environmental concerns, but also by economic, political and social considerations. Many insist that future uncertainties about the expansion of the wind farm must be taken into account to anticipate potential long-term impacts.

At the demographic level, our study is based on a new estimate by AVES-Natagora for 2024 of 500 to 600 breeding pairs for the Walloon population, which corresponds to 1,716-2,060 individuals according to the age class distributions available in the literature. The average growth rate over the entire 2007-2024 period is estimated at 7.3%. Our analysis of different estimates of population size suggests that the growth rate has decreased over time over this period.

Sixty systematic carcass searches carried out under nine wind turbines at two wind farms in 2023 found evidence of mortality of two red kites: a complete wing on 03/07/23 at Butgenbach and rectrices the following day at Halconreux. These observations, combined with

measurements of observer efficiency and the carcass persistence, suggest a total annual mortality of 3.35 kites per year for the 9 wind turbines (confidence interval 2.0 - 6.6), i.e. an average of 0.37 individuals per wind turbine per year for two areas with a breeding pair density of around 6-12 territories / 40 km². A similar study carried out 5 years earlier had estimated this rate in the same region at 0.2 individuals per wind turbine per year.

If we relate this rate to all the wind turbines in Wallonia and take into account variations in red kite density, the total annual mortality in 2023 caused by wind turbines is estimated at 20.6 individuals, or around 1.1% of the population present during the nesting period, for a total of 234 wind turbines in operation in the Walloon range of the species, distributed in areas of estimated density varying between 0.5 and 16 territories/40 km².

A retrospective analysis based on the progressive evolution of the number of wind turbines since 1998 (first wind turbine in Wallonia), on the evolution of the Red Kite population since the first census in 2001-2007, and on the estimation of all the individuals theoretically killed enabled us to estimate that if no wind turbine had been built in Wallonia, the current population (2023) would have been increased by 4 to 15% (+40-82 pairs).

A population viability analysis was carried out using EolPop software for the period 2024-2054. Six scenarios for growth in the number of wind turbines (maximum Walloon total estimated at 1,108 turbines) were combined with four demographic models for the red kite population growth rate (3.7-6.8%) and carrying capacity (615-3,340 pairs). None of the wind farm development scenarios studied resulted in a decline in the red kite population in Wallonia, even in the scenarios where mortality per wind turbine was conservatively increased by 50%. However, the results of the models suggest that, for the demographic scenarios considered most likely, the population in 2054 could be 8% to 20% lower than in a scenario in which the same number of wind turbines were installed as at present. Of course, these projections are only valid if growth rates continue to follow the same trajectory and new mortality factors are not added.

In conclusion, wind energy has an impact on the red kite population in Wallonia, but does not threaten its positive evolution in the medium term. However, the species should continue to be monitored to detect any changes in its demographic trajectory, and efforts should continue to be made to mitigate this mortality.

Table des matières

1.	Introduction	8
1.1	Présentation et historique du milan royal en Europe	8
1.2	Démographie du milan royal.....	9
1.3	Mortalité du milan royal	9
1.4	Impact des éoliennes en Europe et en Wallonie.....	11
1.5	Objectifs du projet MILANEOL.....	12
2.	Enquête qualitative sur les dilemmes éthiques qui accompagnent la cohabitation milans/éoliennes.....	13
2.1	Objectifs	13
2.2	Méthodes	13
2.3	Experts contactés.....	14
2.4	Résultats	15
2.4.1	Environnement.....	15
2.4.2	Acteurs et ressources.....	16
2.4.3	Transformations	17
2.4.4	Visions du monde	17
2.4.5	Mortalité.....	18
2.5	Conclusions	20
3.	Estimations de la population de milans royaux en Wallonie en 2024	21
4.	Évaluation de la mortalité du milan royal par les éoliennes en Wallonie	22
4.1	Estimation de la mortalité sur deux parcs éoliens (Butgenbach et Gouvy)	22
4.1.1	Prospection de deux parcs éoliens	22
4.1.2	Tests de persistance de cadavres	27
4.1.3	Tests d'efficacité de l'observateur	32
4.1.4	Calcul de la mortalité des milans royaux sur les deux parcs éoliens	34
4.2	Généralisation de la mortalité à l'ensemble de la Wallonie.....	35
4.2.1.	Méthode	35
4.2.2	Taux de mortalité pour les densités de 2016	36
4.2.3	Evolution des densités sur le territoire wallon (2016-2024).....	36
4.2.4	Taux de mortalité pour les densités de 2024.....	37
4.2.5	Estimation de la mortalité en 2023.	38
5.	Estimation des taux de croissance et capacité de charge	38
5.1	Quatre modèles de taux de croissance et capacité de charge	39
5.2	Comparaison avec une approche géographique de la capacité de charge	43
6.	Contribution des éoliennes aux taux de mortalité passés.....	45
7.	Projections des populations de milan royal en Wallonie 2024-2054.....	47

7.1	Évolution de la population et des densités sur le territoire (projections 2016-2024 et 2024-2054)	47
7.2	Calcul de la mortalité par éolienne selon les différents modèles d'expansion	48
7.3	Scénarios de développement éolien (2024-2054)	49
7.4	Analyses de viabilité de la population	54
7.4.1	Échelles spatiales et temporelles.....	54
7.4.2	Résultats	55
8.	Conclusion	61
9.	Perspectives et recommandations	62
10.	Bibliographie.....	64
11.	État des lieux final du projet	67
12.	Annexes.....	68
	Annexe 1 : Restes retrouvés.....	68
	Annexe 2 : Détails sur le test de persistance de cadavres	74
	Annexe 3 : Tableau des mortalités par année	80

1. Introduction

1.1 Présentation et historique du milan royal en Europe

Le milan royal (*Milvus milvus*) est une espèce de rapace diurne endémique d'Europe. Adulte, son envergure varie de 145 à 170 cm et son poids de 860 à 1.200 g. Le milan royal peut avoir une longévité importante puisqu'on a retrouvé des individus de plus de 30 ans [1], mais le taux de survie des jeunes dans la nature est souvent assez faible [2]. L'espèce occupe des milieux variés, généralement caractérisés par la présence de bois et de forêts et de milieux plus ouverts comme des prairies, des cultures ou des landes. En hiver, il occupe également les friches et les zones humides. Autrefois charognard urbain, il fréquente encore les abords des villes et est maintenant fréquent dans les zones suburbaines où il visite les jardins [3]. Il consomme une grande variété d'aliments, mais se nourrit principalement de charognes, de mammifères de taille petite à moyenne et d'oiseaux. En Wallonie, une étude du régime alimentaire dans les cantons de l'Est a montré que les proies les plus consommées sont les micromammifères (majoritairement les campagnols) et les jeunes oiseaux (majoritairement la Grive litorne) [4].



Beaucoup d'individus nichant dans le nord-est de l'Europe sont migrateurs et hivernent principalement dans la moitié sud de la France et dans la péninsule ibérique. Le milan royal affiche cependant une variabilité dans ses stratégies, entre populations, au sein d'une même population et même pour un individu d'une année à l'autre, avec une part variable d'individus sédentaires [5]. Les suivis GPS menés sur des individus nicheurs dans l'est de la Wallonie entre 2014 et aujourd'hui indiquent que cette population hiverne majoritairement en Espagne (J.Y. Paquet, com. pers.).

Déjà à l'époque médiévale, période de grands défrichements, le milan royal profite de ces modifications anthropogéniques du paysage lui offrant une source de nourriture abondante, nourriture qu'il allait même chercher jusque dans les grandes villes [1]. A partir du 18^{ème} siècle, des vagues incessantes de persécutions s'abattent sur les rapaces européens. Les humains emploient diverses méthodes comme la destruction des nids, la chasse et l'empoisonnement. Ces activités nuisibles ont presque mené le milan royal à l'extinction au début du 20^{ème} siècle [1]. Cependant, dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, les mentalités changent et les attitudes également, ce qui entraîne une diminution des persécutions. A la fin des années 70, une protection légale des rapaces (entre autres) est établie via la « directive oiseaux » en Europe. Ces changements ont aidé le rétablissement significatif de nombreuses populations de milans royaux du continent, en particulier dans les principales zones de reproduction comme en Allemagne [1]. Au début des années 90, ce rétablissement de la population s'est arrêté dans certaines parties de l'aire de reproduction et d'hivernage (Allemagne, France et Espagne) en raison de divers impacts anthropiques [1][6][7], tandis que la population a continué de croître dans d'autres régions comme en Belgique ou encore dans le sud de la Scandinavie.

Le milan royal est une espèce listée à l'annexe I de la Directive Oiseaux et protégée en Wallonie. L'espèce présente un intérêt particulier pour l'Union Européenne puisque 95% de la population a son aire de reproduction en Europe. L'espèce a fait l'objet d'un plan d'action européen [8]. Depuis lors, des programmes ciblés ont été mis en place en Europe, comme le

projet Life Eurokite [9] qui utilise la télémétrie afin d'étudier l'habitat du milan royal et ses principales causes de mortalité dans l'Union Européenne.

A l'heure actuelle, l'espèce a été classée « Least concern » (préoccupation mineure) dans le dernier rapport de l'IUCN, en 2020, car la population augmente à un taux qui augmente lui-même depuis plusieurs années. Précédemment, l'espèce était considérée « Near Threatened » (quasi menacée) suite à un déclin rapide dû à l'empoisonnement par les pesticides et aux persécutions. Cependant, ce déclin a été compensé par des augmentations dans la plupart des pays. La population globale du milan royal n'est donc plus considérée comme menacée [10], mais la prudence reste de mise, d'autant qu'il reste en déclin dans certaines régions. Par exemple, on observe des tendances stables ou en déclin dans le sud de l'Europe, en France et en Allemagne, et des populations en croissance dans la plupart de son aire de répartition, notamment au sein des territoires reproducteurs plus marginaux comme en Suisse, ou en Suède. La population réintroduite en Angleterre affiche également une augmentation significative [1][5].

1.2 Démographie du milan royal

La population mondiale actuelle de milan royal compterait entre 32.000 et 38.000 couples reproducteurs [5] (sans compter, donc, les individus non-reproducteurs qui dans certaines populations sont moitié moins nombreux que les individus reproducteurs [11]). Cette population se distribue sur plus de 3 millions de km² et se reproduit dans 28 pays européens [5]. Néanmoins, seuls 14 pays accueillent plus de 100 couples chacun, et 90% de la population totale est concentrée dans 6 pays : l'Allemagne, l'Angleterre, la Suède, la Suisse, la France et l'Espagne. Si l'espèce est considérée comme endémique à l'Europe, on trouve des traces de sa présence dans les dernières décennies en Afrique du Nord (Maroc) où il n'y a plus de traces de reproduction actuelle [5].

Que ce soit dans les zones de reproduction ou d'hivernage, les plus importants moteurs de la démographie sont la productivité (le nombre d'oisillons par couple reproducteur), la survie des adultes et l'immigration [11]. Cependant, de nouvelles études [6] démontrent l'importance cruciale d'autres facteurs comme l'âge de la première reproduction ainsi que la survie des individus non reproducteurs ('floaters'). Une forte baisse de celle-ci a ainsi probablement conduit à une chute de 50 % de la taille de la population allemande depuis les années 1980, alors que le nombre de couples nicheurs semblait stable sur la même période [6]. Un nombre stable de couples nicheurs au cours du temps peut donc masquer un déclin réel de la population.

En Wallonie, les derniers chiffres publiés concernant la population de milans royaux font état de 360 à 410 couples reproducteurs pour la période 2015-2016 [12]. Cette publication contient également une carte de densité des territoires (1 territoire = 1 couple reproducteur) qui a été adaptée ici avec la position des parcs éoliens actuels en Wallonie (Fig. 2). Sur cette carte, il est évident que l'Ardenne et surtout l'Ardenne du Nord-Est contient les territoires de milans les plus densément peuplés.

1.3 Mortalité du milan royal

Beaucoup de facteurs influencent la santé des populations de milans royaux, et un déséquilibre dans ces facteurs peut rapidement affecter certaines populations. Les perturbations anthropiques avérées ou potentielles mises en évidence ces dernières décennies sont les empoisonnements directs et indirects, la perte d'habitat, et disponibilité de nourriture réduite par l'intensification de l'agriculture, les perturbations près des nids, les électrocutions, les collisions, le braconnage et les changements climatiques [13].

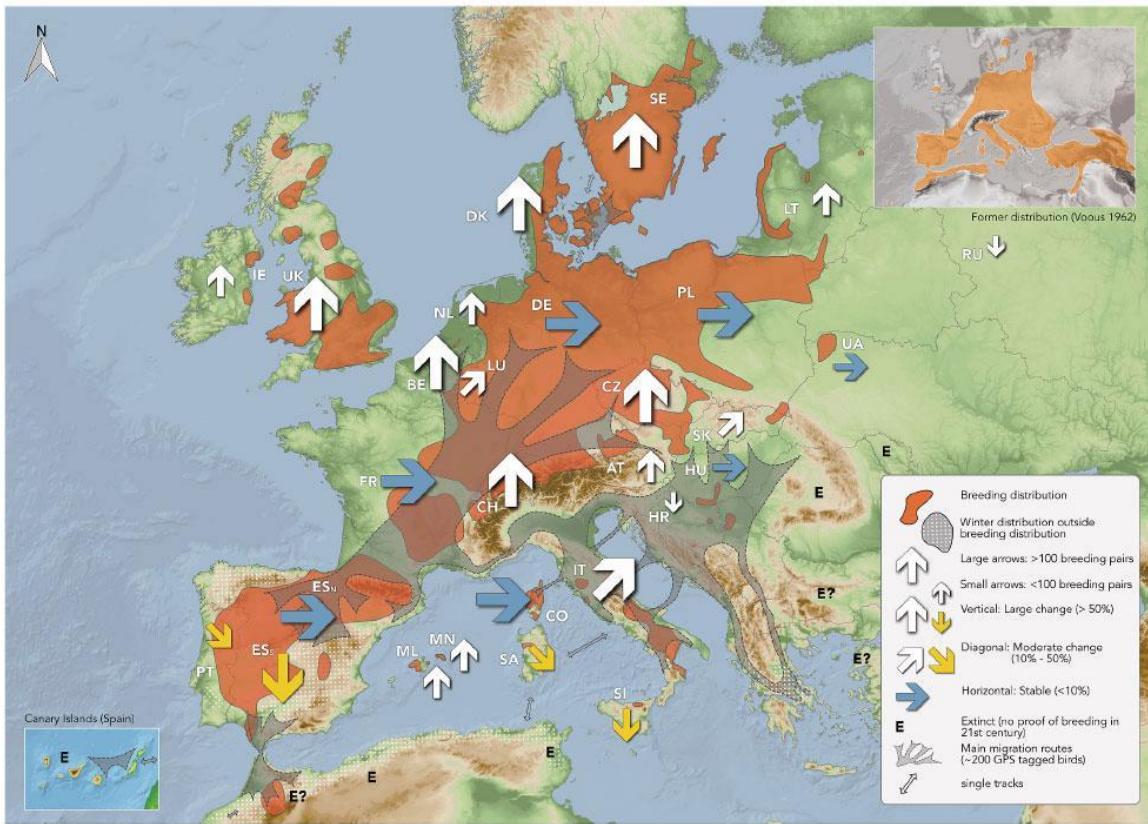


Figure 1, reproduite de Mattsson et al. (2022) [5] : Actuelle et ancienne aires de reproduction et tendances propres à chaque pays concernant les couples reproducteurs. Les tendances ont été déterminées en comparant les deux plus récentes estimations au cours des 35 dernières années (flèches). Pour presque tous les pays, la tendance la plus récente reposait sur une comparaison des estimations de la fin des années 1990 aux années 2000 et de 2010 à 2018. Les pays occupés sans flèche de tendance ont signalé moins de 100 couples reproducteurs et manquent d'informations suffisantes pour déterminer une tendance. Les points d'interrogation indiquent que les données sont insuffisantes pour déterminer si l'espèce continue de se reproduire dans les pays respectifs. L'ombrage gris reliant les zones de reproduction et d'hivernage représentent les deux principales voies de migration sur la base de la télémétrie par satellite et des enquêtes de migration. Les détails et références sont à retrouver dans [5].

La part relative des différentes causes de mortalité des individus volants a récemment pu être déterminée par le suivi GPS d'une cohorte de plusieurs milliers d'individus répartis dans toute l'Europe. Les résultats préliminaires mais déjà robustes de cette étude indiquent que 69 % des individus meurent à cause d'une activité humaine, et qu'un tiers meurent d'empoisonnement ou ont été tirés [13]. Les lignes électriques sont responsables de 9,9 % des décès tandis que les collisions avec les éoliennes représentent 3,8 % (valeurs moyennes pour l'ensemble de l'Europe) [13].

La mortalité des adultes et des immatures semble jouer un rôle significatif dans le déclin de certaines populations, notamment en Espagne [8]. Il est par ailleurs important pour appréhender l'impact de mortalité anthropique de considérer que la population globale de milan royal se subdivise en sous-populations parfois interdépendantes qui agissent en tant que puits ou sources les unes pour les autres [11], leurs patterns de migrations sont variables et l'exactitude des données concernant leur mortalité fait parfois défaut. Par exemple, une étude [7] montre que pour la mortalité des juvéniles, dans 60% des cas, la cause de la mort reste inconnue.

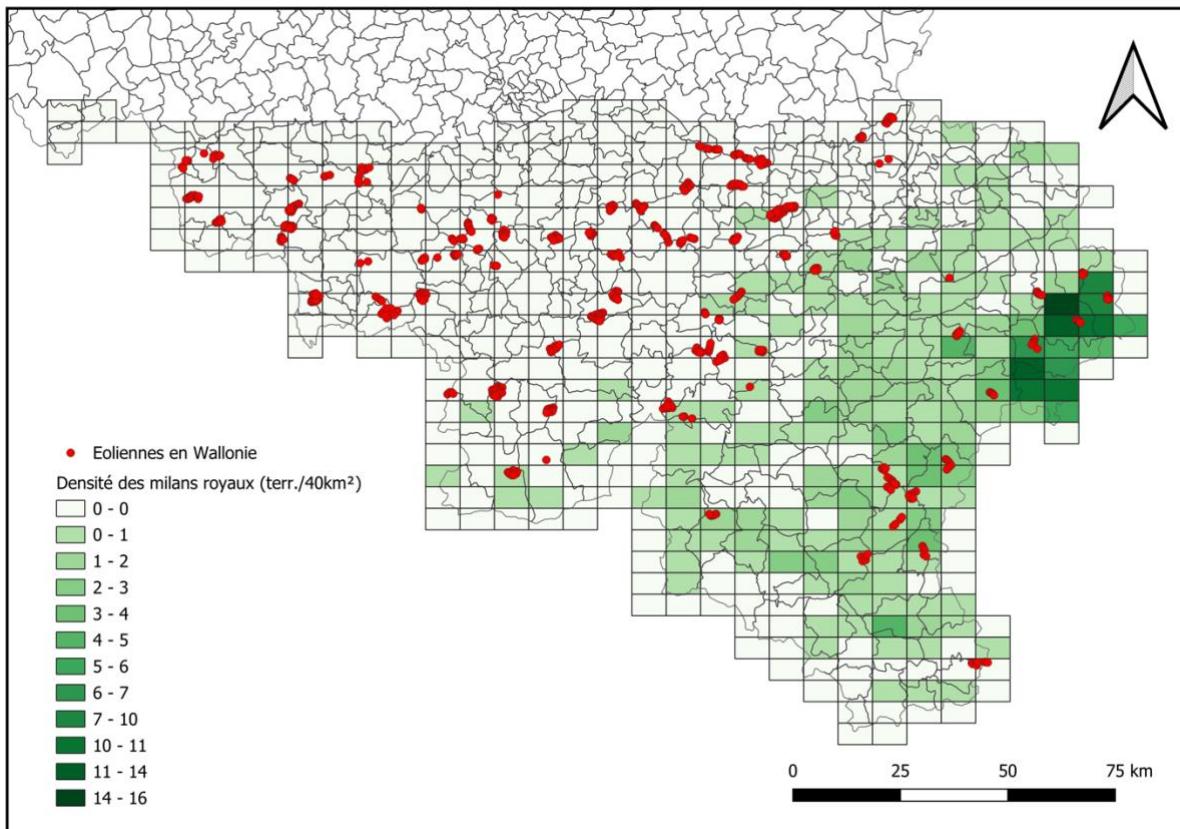


Figure 2 : Densité des milans royaux nicheurs en Wallonie adaptée de De Broyer et al. (2019) [12]. Chaque rectangle représente une surface de 40 km². La densité des territoires de milans est représentée par les teintes vertes allant du plus clair (basse densité) au plus foncé (haute densité). En rouge sont représentées toutes les éoliennes en activité en 2023 (source : CSD Ingénieurs 2023).

En Belgique, la population de milans royaux est en augmentation [12], servant probablement de source pour les pays voisins ainsi que pour la dispersion vers le nord. Cette dynamique favorable est observée actuellement alors que les causes de mortalité anthropiques sont encore nombreuses : collisions avec des véhicules sur les routes, avec des éoliennes, individus pris dans des fils barbelés, noyades dans des abreuvoirs à vaches etc. [13].

1.4 Impact des éoliennes en Europe et en Wallonie

Si les empoisonnements restent la cause de mortalité anthropique la plus élevée pour le milan royal [13], la mortalité liée aux collisions avec les éoliennes est un sujet de préoccupation important depuis le début du développement de cette source d'énergie. A l'échelle de certaines régions, il a été démontré que la mortalité par les éoliennes peut représenter une menace sérieuse quant au maintien d'un population stable, par exemple dans le Brandebourg [14]. La variabilité dans le niveau de menace que pourrait représenter l'éolien est évidemment à mettre en lien avec la densité d'éoliennes (très variable d'une région d'Europe à l'autre), la densité de milans, et l'état des populations (en déclin comme dans le sud de l'Espagne, stable comme dans certains Landers allemands, ou en croissance comme en Wallonie). Par ailleurs, la protection du milan royal est souvent utilisée en Europe comme argument par les associations anti-éoliennes pour s'opposer à certains projets éoliens.

En Wallonie, des milans morts sont régulièrement découverts sous certaines éoliennes, surtout en Ardenne orientale (G. Reuter et S. Benker, comm. pers.). Une étude de mortalité a été menée en 2018 par CSD Ingénieurs dans cette région, où la densité de couples nicheurs est la plus forte [15]. 940 recherches systématiques de cadavres ont été menées sous 10 éoliennes

appartenant à 5 parcs éoliens (Butgenbach, Waimes, Bullange, Amblève et Saint-Vith). Un cadavre a été retrouvé sous une éolienne à Amblève, et la mortalité réelle a été évaluée statistiquement à environ 1 individu par parc éolien par an, ou encore environ 0,2 individu par éolienne et par an. Au-delà de ce premier diagnostic, l'impact des éoliennes sur la population wallonne, c'est à dire le nombre d'individus tués chaque année et les conséquences de cette mortalité sur le taux de croissance de la population, est encore inconnu.

Depuis plusieurs années, par principe de précaution, une planification attentive à l'enjeu de la mortalité du milan royal a été mise en place concernant le développement des parcs éoliens. En particulier, une étude de Van Rijn et Paquet [16] a émis des recommandations pour la prise en compte de ces enjeux. Les auteurs suggéraient de ne pas installer d'éoliennes supplémentaires dans les zones de forte densité de milans royaux, de respecter une distance d'1 km entre une éolienne et le nid de milan le plus proche, et de tenir compte des sites de nourrissage et de la configuration du paysage dans l'évaluation du risque lors des études d'incidence.

Les objectifs européens et wallons en matière de développement des énergies renouvelables vont vraisemblablement conduire à une augmentation très forte et très rapide du nombre d'éoliennes sur le territoire wallon d'ici 2030, et probablement encore au-delà. La question de l'impact de cette croissance sur la population du milan royal doit donc être posée. Elle est à la base du projet MILANEOL.

1.5 Objectifs du projet MILANEOL

Le projet MILANEOL, issu d'une collaboration entre l'Université de Liège, CSD Ingénieurs et Natagora, a pour but d'étudier l'impact de l'exploitation actuelle et future des éoliennes en Wallonie sur la population nicheuse du milan royal. Nous avons tenté de répondre à trois groupes de questions distinctes :

1. Quel niveau de mortalité pourrait être considérée comme acceptable ? Cette question **éthique** est traitée en synthétisant des entretiens réalisés avec un panel d'acteurs confrontés à la question : régulateurs (à l'échelle wallonne et européenne), association anti-éolien, association de défense de l'environnement, promoteur éolien, etc.
2. Quelle est la **mortalité** du milan royal engendrée par l'exploitation des éoliennes en Wallonie en 2024 ? Quelle fut la mortalité passée, et quelle pourrait être la mortalité future ? La mesure de la mortalité a déjà débuté sur quelques parcs éoliens wallons. MILANEOL a pour but de poursuivre cet effort de terrain via la réalisation d'un suivi de mortalité supplémentaire sur deux parcs éoliens : Bütgenbach et Gouvy. Une analyse de l'ensemble des données permettra d'estimer combien de milans royaux sont tués par les éoliennes chaque année en Wallonie.
3. Quelles sont les tendances **démographiques** du milan royal en Wallonie ? Quel pourrait être l'impact de l'accroissement attendu du nombre d'éoliennes en Wallonie sur la population du milan royal ? Les scénarios envisagés de développement éolien menacent-ils la population wallonne ? Une modélisation démographique de la population a été réalisée sur base de scénarii de croissance de l'éolien et de modèles concernant les taux de croissance et la capacité d'accueil du milan royal en Wallonie.

2. Enquête qualitative sur les dilemmes éthiques qui accompagnent la cohabitation milans/éoliennes

2.1 Objectifs

L'objectif de ce volet est de saisir le contexte éthique entourant la problématique des collisions de milans royaux avec les éoliennes. Lorsque les enjeux sont incertains (par exemple, dans le cadre de questions environnementales ou technologiques), les acteurs peuvent avoir des perceptions et des attitudes divergentes quant aux risques et aux impacts possibles. L'enquête s'intéresse à la façon dont ils intègrent cette incertitude dans leur raisonnement éthique, ainsi qu'aux mesures de précaution ou de prudence qu'ils préconisent. Il s'agit également d'examiner comment la position des différents acteurs concernés est influencée par des facteurs extérieurs, notamment comment les préoccupations liées à la mortalité des milans se connectent à d'autres enjeux pour ces acteurs. Cette enquête exploratoire offre une première vue d'ensemble du paysage éthique dans lequel les solutions de gestion devront être intégrées.

2.2 Méthodes

Les différents acteurs du milieu éolien et de la conservation de la nature qui sont en contact avec cette problématique ont été cartographiés (la cartographie des acteurs consiste à identifier les parties-prenantes d'une problématique dans leur diversité) et certains acteurs clés ont été choisis afin de représenter la diversité d'opinions autour de la question : « Quelle est la mortalité acceptable du milan royal dans le cadre du développement éolien en Wallonie ? ». Notre hypothèse de départ était donc qu'il existait non seulement une diversité de points de vue en Région Wallonne sur cette question, mais également que deux acteurs peuvent avoir le même point de vue sans pour autant partager la même trajectoire, les mêmes intérêts ou encore les mêmes justifications. Beaucoup d'intervenants potentiels ont été contactés. Cependant, une partie restreinte des courriels envoyés ou des coups de téléphone passés ont abouti à un entretien. Notre hypothèse est que, le sujet étant sensible et fortement politisé, il se peut que certains acteurs préfèrent ne pas communiquer à ce propos. D'autres ont un emploi du temps tellement chargé que notre requête s'est probablement perdue dans la masse de courriels qui leur sont envoyés.

Huit entretiens ont été menés, via Microsoft Teams, suivant un guide d'entretien composé de questions principalement autour de la coexistence du milan royal et des éoliennes :

Questions ouvertes compréhensives :

- Comment avez-vous été confrontés à cette problématique de la coexistence des éoliennes et de la nature ?
- Que pensez-vous des énergies renouvelables en général et le remplacement des énergies fossiles par celles-ci ?
- Quels sont, selon-vous les avantages et les inconvénients des éoliennes à tous points de vue ?

Questions ouvertes ciblées :

- Que savez-vous des problématiques liées à l'augmentation des parcs éoliens en Wallonie ?
- Que savez-vous de la situation du milan royal à l'heure actuelle ?

- Comment voyez-vous le développement de l'énergie éolienne sur la faune et plus particulièrement le milan royal ?
- Quel serait la mortalité acceptable de milan royaux ou d'oiseaux en général, pour pouvoir continuer à exploiter l'énergie éolienne ?

Questions fermées :

- Êtes-vous confronté aux éoliennes au quotidien ? Si oui, en avez-vous une expérience positive ou plutôt l'inverse ?
- Pensez-vous que l'augmentation des populations de milan royal en Wallonie entraîne une diminution de l'intérêt qu'on devrait porter aux quelques collisions recensées par an ?
- Doit-on, selon vous, impliquer davantage l'opinion publique dans cette problématique ?

Ce guide d'entretien est une structure de base qui a été adaptée pour chaque intervenant selon leur domaine d'activité et les différents thèmes ont été abordés dans l'entretien suivant un ordre qui respectait le discours et les réflexions des acteurs.

2.3 Experts contactés

Afin de comprendre la problématique du milan royal en cohabitation avec les éoliennes dans son ensemble, il est important d'analyser le contexte dans lequel celle-ci s'installe ainsi que les différentes visions et enjeux pour chaque acteur impliqué.

C'est dans ce but qu'un panel d'experts aux compétences et intérêts variés a été contacté et interviewé pour que chaque partie prenante puisse partager son opinion, ses enjeux et ses attentes concernant le présent et le futur de la cohabitation milans/éoliennes. Ces personnes sont des ornithologues, scientifiques, acteurs du monde politique, membres d'organisations (pro ou anti éolien, naturalistes). Nous explorons ici à travers cette enquête leurs postures, ce qui les différencie et ce qui les rapproche malgré leurs postures différentes. Les huit intervenants interviewés sont :

- **Jean-Yves Paquet**, directeur du département études de Natagora et docteur en biologie, a été interviewé pour sa grande expérience en tant qu'ornithologue ainsi que pour son implication dans l'organisation de protection de l'environnement Natagora.
- **Gerhard Reuter**, secrétaire de AVES-Ostkantone, a été interviewé pour sa grande expérience en tant qu'ornithologue, participant à des études d'impact sur le terrain ainsi que pour son implication dans l'organisation de protection de l'environnement AVES-Ostkantone.
- **Fawaz Al-Bitar**, directeur général d'Edora (Fédération des énergies renouvelables) et ingénieur agronome, a été interviewé pour ses connaissances pointues de l'industrie éolienne et les réglementations qui l'encadrent.
- **Patrice Doultrimont**, président de l'Asbl Vent de Raison et docteur en physique, a été interviewé en tant que représentant d'une association ayant pour but de venir en aide aux riverains lors de projets d'implantation d'un parc éolien.
- **Frank Vassen**, responsable des politiques environnementales à la Commission Européenne et docteur en biologie, a été interviewé pour ses connaissances en ornithologie ainsi que son expérience de l'institution européenne, ses projets et ses réglementations environnementales.

- **Yves Storder**, ex-administrateur de Lucéole (coopérative citoyenne pour la production d'énergie renouvelable) et botaniste, a été interviewé pour sa grande expérience dans le développement de projets éoliens citoyens mais également pour ses connaissances en sciences environnementales.
- **Antoine Mertens**, vétérinaire (ULiège, service de santé et pathologies de la faune sauvage), a été interviewé pour son expérience au niveau des autopsies d'animaux sauvages ainsi que pour ses connaissances en ornithologie.
- **Anne-Laure Geboes**, ornithologue et assistante au département Biologie, Ecologie et Evolution de l'ULiège et **Arnaud Collignon**, spécialiste en sciences politiques, ont été interviewés pour leur expérience en tant que chargés de mission à Canopea (fédération des associations environnementales belges).

2.4 Résultats

Chacun de ces intervenants a fait montre de discernement et d'un regard critique et éclairé sur le thème de la cohabitation du milan royal et des éoliennes. Même si certains, comme Monsieur Al-Bitar (Edora) ou Monsieur Doultrimont (Vent de Raison) n'ont pas de connaissances étendues sur l'écologie du milan royal et sa biologie, ils étaient tous deux bien conscients de la problématique et ont pu donner un avis éclairant sur l'opinion des organisations qu'ils représentaient. Les six autres intervenants soit sont ornithologues, soit bénéficient de connaissances biologiques pointues dans le domaine.

À la suite de ces entretiens exploratoires, il ressort que le contexte général de cette confrontation entre l'industrie éolienne et le milan royal reste très débattu de par les différents enjeux parfois contradictoires et empreints de nombreuses incertitudes.

2.4.1 Environnement

Situation actuelle

Un des premiers points à souligner est le manque de données objectives déplorées par tous les intervenants. Personne ne nie la réalité des collisions. Cependant, l'étendue de la problématique reste une donnée incertaine. Effectivement, Frank Vassen, à l'origine du projet Eurokite [9], souligne que les résultats préliminaires (non publiés à ce jour) de cette étude montrent une prédominance de la prédation naturelle et de l'empoisonnement (indirect pour la plupart) en tant que causes majeures de mortalité pour le milan royal. Si le projet Eurokite montre, à l'échelle européenne, la contribution limitée de l'éolien dans les causes de mortalité de milans [13], certains experts soulignent que ce constat général n'exclut pas des problèmes accusés à un niveau local, ce qui souligne l'intérêt de produire des connaissances à l'échelle de la région wallonne voire même des sites spécifiques de développement éoliens et en fonction de l'évolution de la population de milans, mais également de valoriser les connaissances existantes détenues par les nombreux acteurs de terrain qui suivent le dossier. Il pourrait aussi être pertinent que les mesures prises à une échelle européenne soient éventuellement adaptées et/ou complétées par des mesures plus locales.

Evolution future

L'hypothèse selon laquelle le suivi des milans à une échelle locale reste un enjeu est contrebalancée par le constat partagé par tous les interviewés selon lequel les populations de milans se portent bien en Wallonie. D'autres espèces plus sensibles pourraient dès lors être visées prioritairement par les efforts d'étude et de suivi. Néanmoins, plusieurs intervenants, s'ils reconnaissent que la population de milans royaux se porte bien en Wallonie, soulèvent en parallèle le constat des incertitudes qui entourent l'ampleur et la forme que prendra le

développement éolien dans le futur. Ainsi, malgré les moyens limités actuellement pour étendre les suivis scientifiques des espèces protégées, certains acteurs affirment qu'un suivi régulier de la population et une planification stratégique de développement éolien en concertation avec les experts de la protection de la nature est une condition « *sine qua non* » pour éviter une future catastrophe. Ils s'appuient pour cela sur le constat que le milan royal était en grande difficulté démographique il y a quelques années. Pour plusieurs de ces acteurs et pour des raisons variées, le milan doit rester sous surveillance et doit rester un enjeu.

Jeu d'échelles

Comme nous venons de l'évoquer, plusieurs acteurs se positionnent sur ces questions en invoquant un changement d'échelle temporelle : leur avis ne tient pas seulement compte des données et des observations sur la situation actuelle, mais ils se réfèrent tantôt à un passé compliqué pour le milan, tantôt à un futur inquiétant en ce qui concerne le développement éolien. En effet, un regard posé sur la trajectoire longue du milan et du développement éolien soulève d'autres risques et d'autres incertitudes ou précautions à prendre que si l'on s'en tient à constater la mortalité actuelle avérée. Cet élargissement du problème proposé par les acteurs s'applique également en termes d'échelle spatiale. Les ornithologues s'accordent pour insister sur l'importance de la population belge qui sert de « réservoir » d'expansion vers les pays limitrophes. Selon eux, cela renforce la responsabilité de la Wallonie quant à la surveillance de cette espèce emblématique. Plus largement, plusieurs acteurs soulignent que si la problématique de la mortalité d'origine anthropique des milans en Europe n'est pas répartie uniformément sur le territoire européen, ce qui pourrait être interprété comme une invitation à focaliser notre attention sur certains points chauds, a contrario, le caractère migrateur du milan implique une prise en charge transfrontalière. De plus, Frank Vassen explique que, selon ses sources, la plupart des collisions de milans royaux ont lieu lors de leur trajet migratoire au sein de régions qu'ils connaissent moins bien.

2.4.2 Acteurs et ressources

Au-delà de la considération énergétique et écologique, le facteur humain entourant les discussions est souvent évoqué. Que ce soit au niveau politique, économique ou encore entre les institutions de protection de la nature ou même au sein de celles-ci, les opinions s'entrechoquent. Parfois, même, ces différentes visions sont diamétralement opposées. Jean-Yves Paquet explique, par exemple, chez les naturalistes, il existe tout un gradient d'opinions entre les membres absolument « pro-nature » qui sont très méfiants à propos de toute modification du territoire, et les environmentalistes qui mettent la priorité sur les énergies renouvelables. Une des limites de notre échantillon et de notre enquête est de ne pas avoir pu rencontrer d'acteurs défendant cette vision “pro-nature” dure pour comprendre leur posture et leurs arguments. Gerhard Reuter rapporte également certains désaccords au sein d'Aves Ostkantonen sur les compromis envisageables lorsqu'il s'agit de problématiques telles que celle du milan royal et des éoliennes. Anne-Laure Geboes et Arnaud Collignon, de leur côté, expliquent que CANOPEA fait souvent face à des difficultés lorsqu'il faut rassembler les différents acteurs autour d'une table et faire avancer le débat dans une direction. Yves Storder, fort de son expérience avec LUCEOLE explique le changement de position des autorités locales concernant leur projet d'éolienne citoyenne à Habay, suite à la pression de citoyens contre le projet.

Alors qu'eux-mêmes reconnaissent faire face à de nombreuses incertitudes, les acteurs rencontrés mentionnent les réactions qualifiées d'émotionnelles qui imprègnent les débats autour de la cohabitation des milans royaux et des éoliennes. Que ce soit du côté des

ornithologues ou des citoyens pour ou contre les éoliennes, d'après les acteurs interviewés, les débats ne sont pas toujours basés uniquement sur des faits concrets mais parfois des certitudes, des impressions, de fausses informations, des biais divers... D'après certains acteurs, les médias diffusent généralement des informations parcellaires et orientées qui ne facilitent guère une opinion publique raisonnable et éclairée. Ainsi, s'il n'existe pas de controverse publique et socialement vive, des acteurs dans la société civile se posent des questions, interprètent la situation actuelle et tentent de prendre position tandis que les scientifiques déplorent un manque de données objectives. Les associations comme Vent de Raison se battent également pour obtenir des données concrètes sur l'efficacité des éoliennes en Wallonie. Tous les acteurs insistent cependant sur l'intérêt de l'implication des citoyens, à la condition expresse que cette implication soit motivée par des faits et non de l'émotionnel, souvent lié à la nuisance paysagère provoquée par l'implantation des parcs éoliens à proximité de leur habitation. Encore faudrait-il que les citoyens impliqués dans un tel processus de participation soient avertis que les experts eux-mêmes – contrairement à l'image qu'ils s'en font souvent - n'ont pas de certitudes quant à la solution à adopter et doivent travailler avec de nombreuses incertitudes.

2.4.3 Transformations

Quel est le futur souhaitable ?

Tous les intervenants souhaitent que le développement en matière d'énergie soit le plus respectueux de l'environnement possible. Ce développement doit se baser sur des études sérieuses tant au niveau de la légitimité de la source d'énergie quant à son efficacité qu'au niveau de son impact sur l'environnement. Patrice Doultrimont souligne que Vent de Raison demande ces preuves à l'État mais n'a à ce jour reçu aucun retour. L'idéal serait de pouvoir compter sur des sources d'énergie à l'impact neutre, mais comme le souligne Fawaz Al-Bitar, toute activité humaine a un impact sur son environnement. Il faut donc poursuivre la recherche pour atténuer le plus possible cet impact. Le futur souhaitable est également un futur qui laisse une place aux populations de milans pour se développer librement en évitant les pertes autant que possible.

Les projets et incertitudes liées au futur

Le repowering de la région Wallonne à venir risque d'accentuer la problématique de l'éolien et de la biodiversité. Dans le cas des milans royaux, la situation actuelle semble montrer que l'impact sur leur population est minime, mais l'augmentation du nombre d'éoliennes ou de leur taille risque de changer la donne. Jean-Yves Paquet argumente aussi que si l'éolien n'a pas ou peu d'impact sur la population d'un pays, il pourrait très bien en avoir sur une population locale. Il ajoute également que les impacts, aussi petits soient-ils, s'accumulent avec d'autres, l'évolution du climat et du paysage ayant aussi un impact sur les populations de milans royaux.

2.4.4 Visions du monde

Problématiques écologiques

Dans la plupart des conversations, la problématique du milan royal et des éoliennes fait resurgir d'autres problématiques similaires. Frank Vassen remarque que, dans le cadre des énergies renouvelables, l'exploitation de l'hydroélectricité occasionne davantage de troubles pour la faune aquatique que les éoliennes pour le milan. Il insiste sur le fait que de nombreuses rivières sont endommagées par des barrages ou des centrales hydroélectriques et que certaines espèces de poissons sont en danger d'extinction du fait de ces pratiques. Cependant, Frank Vassen relate un autre exemple d'impact de l'éolien pour une autre espèce ; la pie-grièche grise qui semble déserte les endroits où les éoliennes s'implantent. Il explique que si le milan royal ne

semble pas être impacté autre mesure, ce pourrait ne pas être le cas pour d'autres espèces d'oiseaux ou encore de chauve-souris.

Problématiques énergétiques

La discussion autour des impacts de l'énergie éolienne fait également ressurgir d'autres considérations sur la production d'énergie en général. Tous les acteurs interviewés sont conscients qu'aucune énergie, renouvelable ou non, ne constitue en soi une solution idéale. Beaucoup d'entre eux reviennent sur le nucléaire, la consommation de l'énergie en soi ainsi que sur les divers enjeux de l'éolien (durée d'exploitation, recyclage...).

2.4.5 Mortalité

Typologies de mortalité

Que ce soit par les enjeux politiques, économiques ou plus locaux impliquant les susceptibilités des différents protagonistes, l'implantation des éoliennes fait couler beaucoup d'encre, divise, déchaîne les passions... Surtout lorsque la biodiversité est en jeu. Malgré les mesures de compensation, les divers moyens techniques et la planification responsable, on ne peut éviter la mortalité accidentelle comme le rappelle Fawaz Al-Bitar. Néanmoins, si celle-ci doit être évitée et diminuée tant que possible, il souligne également que le développement des énergies renouvelables ne peut être stoppé par cette mortalité non-intentionnelle car toute activité humaine a un impact non nul sur notre environnement. Il faut néanmoins en limiter l'impact autant que possible. Fawaz Al-Bitar rappelle également que la mortalité intentionnelle n'est pas acceptable. Yves Storder et Gerhard Reuter, de leur côté, introduisent une nuance dans les typologies de la mortalité qui est celle de la tranche d'âge des victimes. En effet, ils remarquent que selon le stade juvénile, reproducteur ou « sénile » de l'animal victime de la collision, l'impact sur la population sera différent.

Quelle est la mortalité acceptable (pour le futur) ?

Comme nous l'avons vu, bien qu'ils partagent un certain nombre de constats par rapport à la situation, les acteurs rencontrés ont souvent des intérêts variés (économiques, sociaux, politiques) qui peuvent entrer en conflit avec les valeurs d'autres parties prenantes. L'enquête explore ces tensions et examine comment les acteurs les arbitrent, que ce soit par la négociation, le compromis, ou en priorisant certains intérêts par rapport à d'autres. L'ensemble des éléments apportés précédemment contribuent à la compréhension de la posture et de la position de chaque acteur face à la question suivante : « Quelle est la mortalité acceptable du milan royal dans le cadre du développement éolien en Wallonie ? »

Voici les réponses individuelles de chaque acteur interviewé :

- **Jean-Yves Paquet** suppose que si la question était posée au sein de Natagora, les réponses données iraient de la non-acceptation de la perte d'un milan à l'acceptation d'une certaine mortalité tant que celle-ci n'entraîne pas une diminution significative de la population. Lui-même se situe également dans cette optique où une certaine mortalité du milan est acceptable si elle est maîtrisée et surtout atténuée au maximum. Pour Jean-Yves, il faut combiner un monitoring régulier de l'espèce avec la mise en place de tous les moyens techniques disponibles pour diminuer la mortalité. Il insiste également sur le fait que ces moyens techniques ne doivent pas rendre inutile l'existence même des éoliennes et qu'elles doivent pouvoir avoir un rendement raisonnable.
- **Gerhard Reuter** souligne le fait que certains membres d'Aves Ostkantone ne toléreraient pas une seule victime. Lui-même peine à se prononcer, par manque de

chiffres. Toutefois, il remarque que la population de milans royaux est en pleine expansion et que malgré l'augmentation du nombre d'éoliennes, cette population ne cesse de croître. Gerhard pense qu'il y a un impact, mais recherche toujours des chiffres pour se faire une opinion tranchée. Il cite notamment l'exemple de l'Allemagne où certaines régions affichent des chiffres inquiétants. Néanmoins, il remarque que la population wallonne est différente.

- **Fawaz Al-Bitar** est un peu embarrassé par cette question car il ne sait pas y répondre. Il a envie de dire que la mortalité acceptable est « 0 » dans les sens où on parle de mortalité intentionnelle. Il ne peut accepter que des dégâts soient intentionnellement créés alors qu'il existe des moyens pour les éviter et que ceux-ci ne soient pas mis en place. Pour lui, il est évident que cette mortalité doit tendre vers « 0 ». D'un autre côté, il remarque qu'il existe la mortalité non-intentionnelle qui reste dans le cadre du règlement européen. Il cite le programme « Repower EU » qui, dans une publication de début 2023, explique que la mortalité non-intentionnelle ne peut être un frein au développement des énergies renouvelables. Il ne trouve pas acceptable que, par pure précaution et sans chiffres prouvant une menace significative, les installations prévues ne soient pas réalisées. D'un autre côté, il n'accepte pas non plus qu'un projet ne mette rien en place pour éviter une mortalité potentielle signalée par l'étude d'incidence.
- Pour **Patrice Doultrimont**, la réponse est qu'il n'y a pas de mortalité acceptable ! Tout simplement parce que toute mortalité est illégale. Il souligne que le cadre de base est très clair à ce propos : on interdit de tuer les oiseaux. Il explique que la loi wallonne l'interdit, et que la directive oiseaux l'interdit et qu'il n'y a pas à discuter. Vent de Raison en reste à ce niveau car, pour l'association, l'industrie éolienne ne prouve aucunement son efficacité à réduire l'intensité de carbone au kilowattheure consommé. Dans le cas de figure où ceci serait prouvé, l'association changera peut-être d'opinion, mais ce n'est pas le cas à l'heure actuelle.
- **Frank Vassen** explique que l'Europe ne fixe pas de seuils de mortalité pour une espèce en disant que ce serait acceptable. Cependant, pour lui, à partir du moment où la population est visiblement en excellente santé (ce qui est le cas du milan royal en Wallonie), il n'y a pas de problème concernant le développement éolien. Il souligne également que l'Europe a une très bonne vue générale de l'état de la population.
- **Yves Stordeur** ne sait pas répondre. Il note qu'actuellement, la mortalité n'a pas l'air d'être un frein au développement du milan royal, mais qu'il faut toutefois différencier les typologies de mortalité ; la mortalité d'un adulte n'a pas les mêmes conséquences que la mortalité d'un juvénile.
- **Antoine Mertens** trouve la question compliquée, mais pense que s'il est prouvé que les populations se portent très bien, il faut voir ces quelques mortalités comme un mal pour un bien. Il pense aussi que le bénéfice écologique sera quand-même plus grand, même si l'éolien ne constitue pas une solution idéale sur le long terme.
- Pour **Anne-Laure Geboes**, cette mortalité ne doit pas impacter la croissance de la population. La mortalité potentiellement acceptable doit être justifiée sur base de données. Si celles-ci montrent une croissance négative, cette mortalité n'est plus acceptable.

2.5 Conclusions

Cette enquête qualitative met en lumière la complexité éthique de la cohabitation entre les milans royaux et les parcs éoliens en Wallonie. Malgré un consensus sur l'importance de réduire au maximum la mortalité des oiseaux, les opinions divergent quant à l'ampleur acceptable de cette mortalité. Les positions des acteurs sont façonnées non seulement par leurs préoccupations environnementales, mais aussi par des considérations économiques, politiques et sociales.

L'empathie des acteurs vis-à-vis du milan est limitée par d'autres priorités. Ainsi, la manière dont les acteurs envisagent le sort des milans est indissociable de la manière dont ils envisagent l'éolien : leur position sur l'éolien n'est pas déterminée par leur position sur les oiseaux, mais l'inverse bien. Comme si la problématique du milan était subordonnée à d'autres : protection du cadre de vie pour les uns, réduction empreinte carbone pour les autres, inquiétudes pour d'autres espèces plus menacées mais négligées pour d'autres encore.

La population de milans royaux, bien que prospère actuellement, reste un indicateur privilégié pour la gestion future de la coexistence entre avifaune et développement éolien. Dans ce contexte dynamique et incertain, un cadre de dialogue entre experts en biodiversité dans leur diversité, autorités locales, et industries énergétiques pourrait être proposé afin d'ajuster les stratégies de gestion à mesure que de nouvelles données émergent.

Il apparaît nécessaire que les arbitrages locaux entre enjeux de biodiversité et enjeux de développement des énergies renouvelables se fassent dans un cadre de normes adaptatives, permettant d'ajuster les mesures de protection en fonction des évolutions démographiques des espèces concernées et de l'expansion du parc éolien.

Cette enquête met en lumière l'importance des jeux d'échelles, tant spatiales que temporelles, dans la gestion de la cohabitation entre les milans royaux et les parcs éoliens en Wallonie. Les acteurs interviewés soulignent que les enjeux liés à la mortalité des milans ne peuvent être compris qu'en élargissant la perspective au-delà des seules observations locales et actuelles. En effet, les trajectoires passées de l'espèce, marquées par des difficultés démographiques, et les incertitudes futures quant à l'expansion du parc éolien doivent être prises en compte pour anticiper les impacts potentiels à long terme.

Sur le plan spatial, il apparaît également crucial de penser à différentes échelles géographiques, depuis le niveau local, où des mesures spécifiques peuvent être prises, jusqu'à une échelle transfrontalière, notamment en raison des mouvements migratoires du milan royal. Cette approche multiscalaire renforce la responsabilité des gestionnaires wallons vis-à-vis de cette espèce, considérée comme un réservoir pour d'autres régions d'Europe.

3. Estimations de la population de milans royaux en Wallonie en 2024

AVES-Natagora nous a fourni une estimation de la population de milans royaux en Wallonie en 2023-2024 entre 500 et 600 territoires (Jean-Yves Paquet, communication personnelle).

Cette estimation est prudente et se fonde sur la compilation cartographique des données existantes dans les bases de données, sans qu'une enquête systématique n'ait été réalisée sur l'ensemble du territoire wallon, comme pour l'enquête 2015-2016. Toutefois, l'extension évidente du Milan royal en dehors de la région occupée en 2015-2016 et l'évolution connue de la population du noyau d'Ardenne orientale ne laisse que peu de doute quant à une poursuite de l'augmentation de la population nicheuse du Milan royal en Wallonie. Une analyse plus fine des données (incluant une enquête auprès de certains experts locaux) sera réalisée dans le cadre du Rapportage Article 12 pour la Directive oiseaux en 2025 et permettra d'affiner le chiffre donné ici, qui peut cependant être utilisé en toute hypothèse dans le cadre des présentes analyses (Jean-Yves Paquet, comm. pers.). Rappelons qu'il s'agit ici d'une estimation des adultes reproducteurs actifs (couples reproducteurs) et que cette estimation ne tient pas compte des adultes non reproducteurs présents sur le territoire (« *floaters* »).

Avant cela, deux estimations ont été publiées, une pour la période 2001-2007 (150 à 180 territoires [17]), et une pour la période 2015-2016 (360 à 410 territoires [12]).

De façon intéressante, si on considère que la population correspond à la fin des périodes (2007, 2016 et 2024), comme recommandé par AVES, et qu'on prend la moyenne des valeurs de territoire (165, 385, 550), on obtient une croissance presque linéaire de la population (Figure 3).

Table 1 : Évolution du nombre de couples reproducteurs de milan royal en Wallonie au XXI^e siècle..

Période	Nombre de territoires	Source
2001-2007	150-180	Jacob et al. 2010
2015-2016	360-410	De Broyer et al. 2019
2023-2024	500-600	Paquet, comm. pers.

Cependant, de façon contre-intuitive, cette croissance linéaire signifie que les taux de croissance diminuent. En effet, à taux de croissance constant, la population se développerait de façon exponentielle. Cependant, il est normal que les taux de croissance diminuent au fil du temps, lorsque le territoire se remplit et que l'on se rapproche progressivement de la capacité de charge.

En considérant ces valeurs, on obtient une moyenne des taux de croissance annuel de 9,8% sur la période 2007-2016, et de 4,6% sur la période 2016-2024, pour une moyenne globale de 7,3% sur l'ensemble de la période 2007-2024.

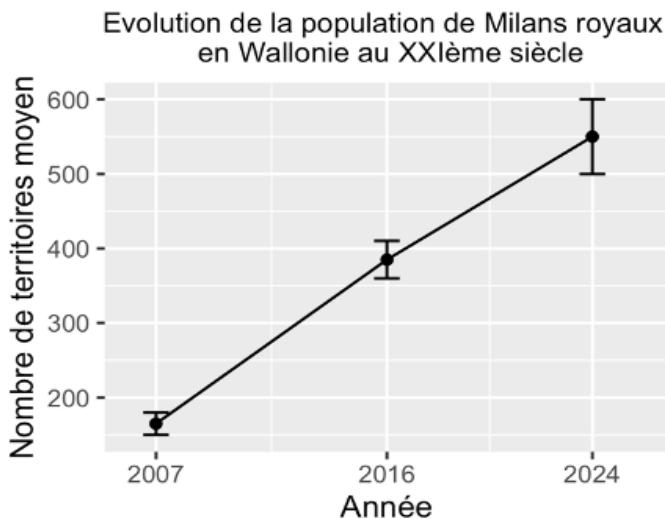


Figure 3 : Évolution du nombre de territoires de milan royal en Wallonie d'après trois estimations réalisées par AVES.

Dans la littérature, deux estimations différentes permettent d'estimer la population totale sur base du nombre de couples :

- *Pfeiffer et al., 2022 [11]* : cette étude prend en compte un ratio de 0,51 d'individus non-reproducteurs. Pour la population wallonne en 2023, ceci donne une fourchette de valeur entre 1.000 individus reproducteurs (+ 510 non-reproducteurs) et 1.200 individus reproducteurs (+ 612 non-reproducteurs). Ce qui donne entre 1.510 et 1.812 milans royaux au total.
- *Katzenberger et al., 2021 [6]* : selon la structure de population de cette étude, il y aurait 48% d'individus non-reproducteurs. Pour la population wallonne en 2023, ceci donne une fourchette de valeur entre 1.000 individus reproducteurs (+ 923 non-reproducteurs) et 1.200 individus reproducteurs (+1.108 non-reproducteurs). Ce qui donne entre 1.923 et 2.308 milans royaux au total.

En prenant la moyenne des deux estimations, on arrive donc à une estimation entre 1.716 et 2.060 milans. Il y a donc une multiplication par 3,43 entre le nombre de couples (500 à 600) et la population totale. Cette moyenne sera appliquée pour estimer la population totale à partir du nombre de couples reproducteurs dans le reste de notre étude.

4. Évaluation de la mortalité du milan royal par les éoliennes en Wallonie

4.1 Estimation de la mortalité sur deux parcs éoliens (Butgenbach et Gouvy)

4.1.1 Prospection de deux parcs éoliens

Méthodes

Nous avons réalisé une recherche de cadavres sur les parcs éoliens de Bütgenbach – Windpark Roderhöhe, et Halconreux, dans la commune de Gouvy.

Ceux-ci sont situés dans des zones de fortes densités de milans. Une collaboration a été mise en place avec les exploitants de ces parcs (Eneco et Engie). La méthode choisie au départ était la prospection via drone. Néanmoins, les limites de cette méthode sur le terrain ayant été plusieurs fois observées, il a été décidé d'opérer les recherches à pied avec, en complément,

l'utilisation du drone lorsque celui-ci s'avérait plus pratique. Les prospections ont eu lieu une fois par semaine sur chaque parc, depuis le mois de mars 2023 jusqu'au mois d'octobre 2023.

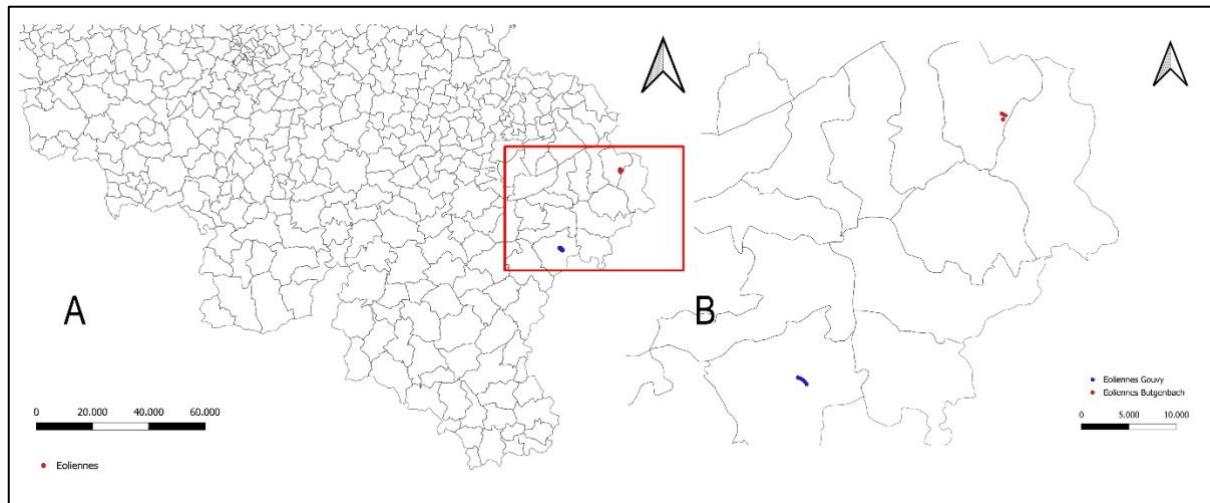


Figure 4 : A : situation des deux parcs en Wallonie et. B : Grossissement de la zone encadrée en rouge sur A, avec en bleu, le parc éolien de Gouvy et en rouge, le parc éolien de Bütgenbach. Echelle : mètres.

Les parcs

Le parc de Bütgenbach comprend quatre éoliennes de 2 MW (Figure 5), installées en 2003, situées dans une région de haute densité des milans (10 couples reproducteurs par rectangle de 40 km², découpage utilisé lors de l'enquête 2015-2016, soit 25 couples reproducteurs/100 km², voir figure 2).

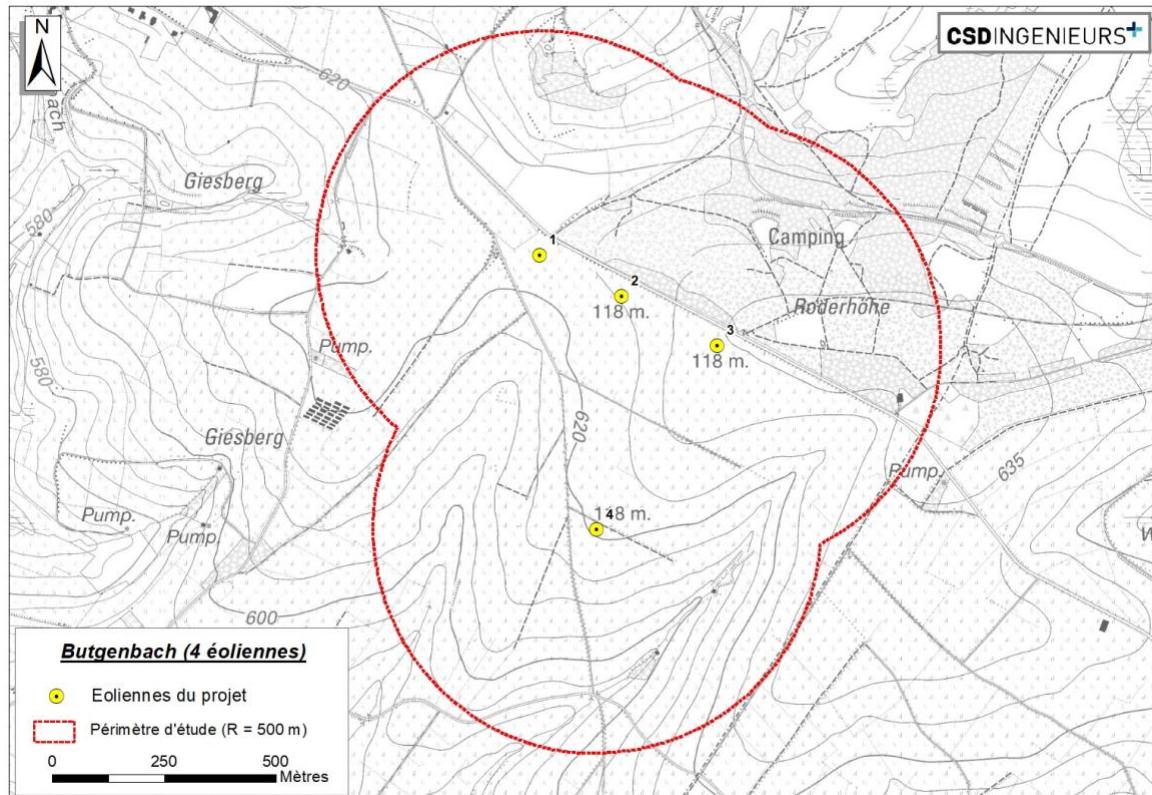


Figure 5 : Carte du parc éolien de Bütgenbach.

Le parc d'Halconreux, lui, comprend cinq éoliennes de 2,5 MW (Figure 6), installées en 2011, situées dans une zone de moyenne à haute densité de milans (4 couples reproducteurs par rectangle de 40 km² lors de l'estimation de 2015-2016, soit 10 couples reproducteurs/100 km², voir Figure 2).

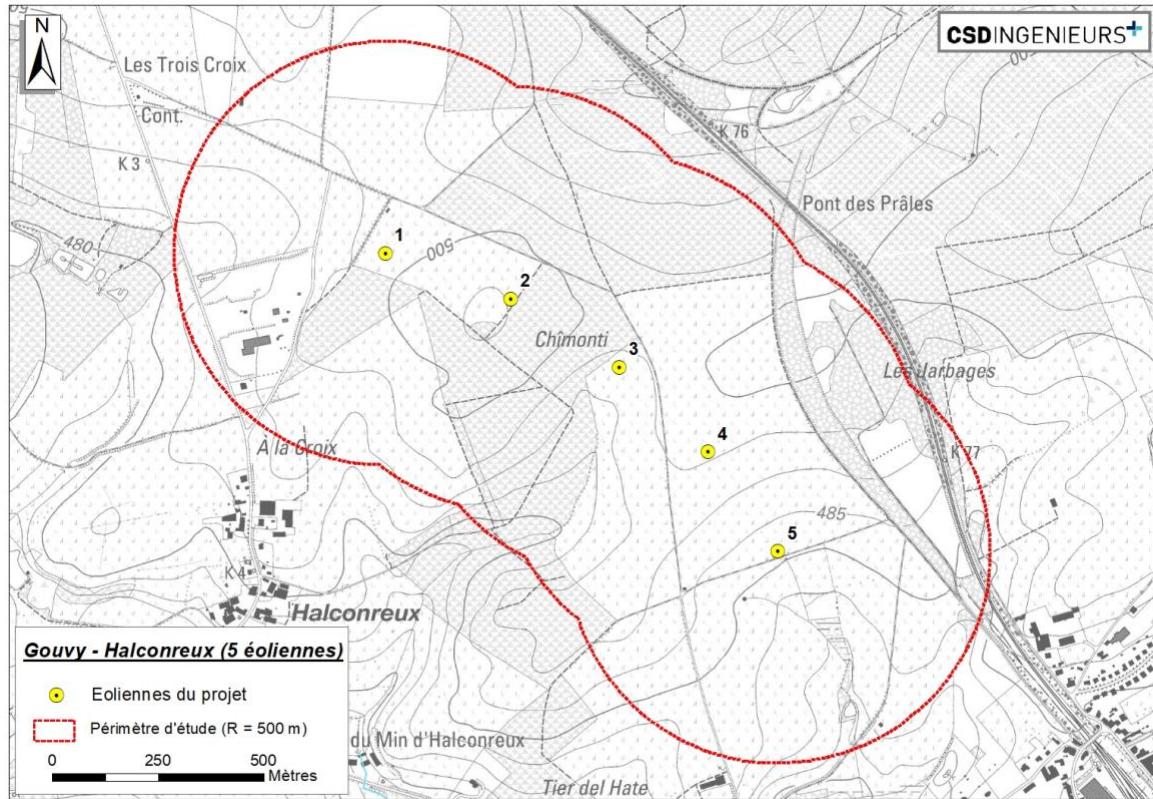


Figure 6 : Carte du parc éolien d'Halconreux.



Figure 7 : Vue du parc éolien de Bütgenbach. (A. Beckers, 2017). **Figure 8 :** Vue du parc éolien d'Halconreux (A. Beckers, mars 2023).

Comparaison du mode de prospection : drone avec caméra vs observateur à pied

- **Prospection avec drone :**

Un rayon de 100 mètres a été défini autour de chaque éolienne de chaque parc. Une étude de Hull et Muir en 2012 [18] estime qu'après une collision, 95% des oiseaux de grande taille vont tomber dans un rayon de ± 100 m du mat dans un parc avec des éoliennes de petite taille. Bien sûr, tous les cadavres ne tombent pas dans ce rayon de 100 m établi.

Un trajet spécifique à chaque éolienne a été programmé dans l’application Fly Litchi [19], utilisée pour piloter le drone. Les obstacles tels que les haies, les arbres, les mâts, etc. ont été pris en compte et le trajet a été optimisé afin que la surface prospectée soit maximale. Le drone parcourt cet itinéraire programmé à une hauteur moyenne de 5 m et l’observateur suit la prospection sur la tablette où la vue de la caméra peut être affichée, ainsi que la position du drone.



Figure 9 : Utilisation du drone sur le terrain à Gouvy (gauche, mars 2023) et à Butgenbach (droite, mai 2023, photos A. Beckers).

Les avantages de cette méthode sont d’avoir une vue aérienne de la zone à prospecter, de pouvoir accéder à la zone de prospection lorsque les prairies sont occupées par du bétail, ou que le terrain est peu praticable (boue, hautes herbes, cultures, ...). Cependant, quelques inconvénients ont rendu son utilisation difficile :

- La météo : le drone est sensible au vent lorsque celui-ci dépasse les 20-25 km/h et ne supporte pas bien la pluie. Le drone n’a pas pu être utilisé lorsque ces conditions météorologiques ont été rencontrées.
- Les obstacles : si le drone permet d’avoir une vue aérienne de la zone, le trajet qu’il opère pour la prospection de celle-ci doit être bien dégagé et assez éloigné des arbres, des mâts d’éoliennes etc. pour ne pas les percuter.
- Visibilité : un compromis doit être trouvé entre la hauteur de vol, l’angle de la caméra et la vitesse de défilement de l’image sur la tablette. Jongler avec ces paramètres prend du temps et demande de l’expérience, mais est aussi dépendant de la luminosité sur le terrain et de la végétation. Par exemple, lorsque l’herbe est haute et que le soleil est brillant, les réflexions de lumière sur le couvert végétal rendent la prospection par drone très difficile et lacunaire.
- Les bugs : si le système fonctionne très bien la plupart du temps, plusieurs problèmes de programme ont perturbé la prospection. Un arrêt de la caméra, un gel du programme ou encore des problèmes de communication entre le drone et le programme ont plusieurs fois été source de pertes de temps. Quelques soucis de respect de la hauteur de vol programmée ont été observés sur certains parcours.
- Les batteries : les batteries du drone fonctionnent pour une durée limitée et souvent, lorsque plusieurs arrêts ont été nécessaires pour vérifier un élément sur le terrain, un

changement de batterie a dû être opéré pour une même prospection ; ce qui rallonge le temps de prospection et nécessite des manœuvres du drone en manuel qui sont parfois dangereuses, selon l'endroit où se trouve le drone.

- *Prospection à pied*

Tout comme pour le drone, un rayon de 100 m autour des éoliennes a été délimité. La prospection de cette zone a été opérée par l'observateur en transects espacés de 20 m. Des repères visuels ont été utilisés par l'observateur afin de s'assurer de la prospection complète de chaque zone.

L'avantage de ce mode de prospection est la flexibilité au niveau de l'observation, l'autonomie de mouvement, la flexibilité par rapport aux conditions météorologiques, ainsi que la couverture de la zone plus étendue car moins d'obstacles. Par exemple, plusieurs plumes de divers oiseaux et une aile complète de buse variable (*Buteo buteo*) ont été retrouvées dans un chemin séparant deux parties d'une même zone de prospection où le drone ne peut pas passer, car bordé d'arbres et arbustes.

Les inconvénients par rapport à la méthode avec drone, c'est un angle de vue plus restreint depuis la terre ferme, une prospection restreinte lorsque les prairies sont occupées par du bétail ou lorsque les cultures ou la végétation deviennent trop hautes.

Zones prospectées

La zone théorique à prospecter de chaque éolienne n'a pas pu être prospectée dans son entiereté pour chacune d'entre elles. Certaines de ces zones croisent des parcelles de forêt, des routes, ou encore des terrains privés inaccessibles. Les surfaces prospectées par éoliennes sont reprises dans le tableau suivant :

Table 2 : Pourcentage du rayon autour du mât d'éolienne réellement prospecté pour chaque éolienne.

Eolienne	Pourcentage du rayon de 100m prospecté
Bütgenbach 1	80%
Bütgenbach 2	80%
Bütgenbach 3	80%
Bütgenbach 4	100%
Halconreux 1	75%
Halconreux 2	55%
Halconreux 3	60%
Halconreux 4	100%
Halconreux 5	100%

Résultats

Soixante jours de recherche, représentant trente prospections par parc ont été répartis entre mars et octobre 2023.

En termes de cadavres entiers, seuls deux cadavres ont pu être retrouvés à proximité des éoliennes :

- 02/06/2023 : un cadavre de buse variable (*Buteo buteo*) à Bütgenbach.
- 28/06/2023 : un cadavre de corneille noire (*Corvus corone*) à Halconreux.

Un cadavre de jeune corvidé a été retrouvé à Halconreux le 20/06/2023, mais celui-ci ne pouvait pas avoir été tué par l'éolienne qui était à l'arrêt depuis plusieurs semaines.

Table 3 : Restes significatifs retrouvés lors de la période de prospection sur les deux parcs (voir Annexe 1 pour les photos).

Date	Espèce	Reste	Lieu	Distance du mat
05/04/2023	<i>Columbidae</i>	Plumes	Halconreux	40 m
05/04/2023	Bergeronnette grise (<i>Motacilla alba</i>)	Plumes	Halconreux	40 m
14/04/2023	Faucon crécerelle (<i>Falco tinnunculus</i>)	Aile	Bütgenbach	40 m
14/04/2023	Mésange bleue (<i>Cyanistes caeruleus</i>)	Plumes	Bütgenbach	40 m
08/05/2023	Buse variable (<i>Buteo buteo</i>)	Aile complète	Bütgenbach	50 m
25/05/2023	Juvénile non-identifié	Plumes	Halconreux	40 m
02/06/2023	Buse variable (<i>Buteo buteo</i>)	Cadavre entier	Bütgenbach	50 m
14/06/2023	Oiseau non-identifié	Plumes	Halconreux	160 m
20/06/2023	<i>Corvidae</i> juvénile	Cadavre entier	Halconreux	45 m
28/06/2023	Corneille noire (<i>Corvus corone</i>)	Cadavre entier	Halconreux	65 m
03/07/2023	Milan royal (<i>Milvus milvus</i>)	Aile complète	Bütgenbach	250 m
04/07/2023	Milan royal (<i>Milvus milvus</i>)	Plumes	Halconreux	50 m
26/09/2023	Oiseau non-identifié	Plumes	Bütgenbach	75 m

Ensuite, d'autres restes significatifs ont été retrouvés : une aile presque complète de faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) le 14/04/2023, une aile complète de buse variable le 08/05/2023 et une aile complète de milan royal retrouvée le 07/07/2023 à ± 250 m du mat, par hasard.

Concernant les restes de milan royal, nous avons considéré que l'aile retrouvée à Bütgenbach ainsi que le plumage retrouvé à Halconreux représentent chacun une victime de l'éolienne près de laquelle ils ont été retrouvés.

4.1.2 Tests de persistance de cadavres

Méthodes

Un paramètre important pour éviter un biais dans le comptage des cadavres pour l'estimation de la mortalité est le temps durant lequel un cadavre va rester à l'emplacement de sa mort [20]. En effet, selon les régions et les caractéristiques du paysage, il va y avoir plus ou moins de prédateurs susceptibles d'enlever les cadavres des oiseaux après une collision. Afin de tenir compte des mortalités qui seraient advenues après un passage, mais dont la carcasse aurait disparu avant le passage suivant, un test de persistance des cadavres a été organisé à proximité de chaque parc. Des cadavres de plusieurs espèces de rapaces ont été utilisés en tant que proxy pour évaluer la persistance d'un cadavre de milan royal qui serait tombé près d'une éolienne.

Test 1

Pour ce test débutant le 10/08/2023, neuf cadavres de rapaces ont été disposés autour du parc éolien de Bütgenbach et dans des habitats similaires ailleurs autour des Hautes-Fagnes comme suit :

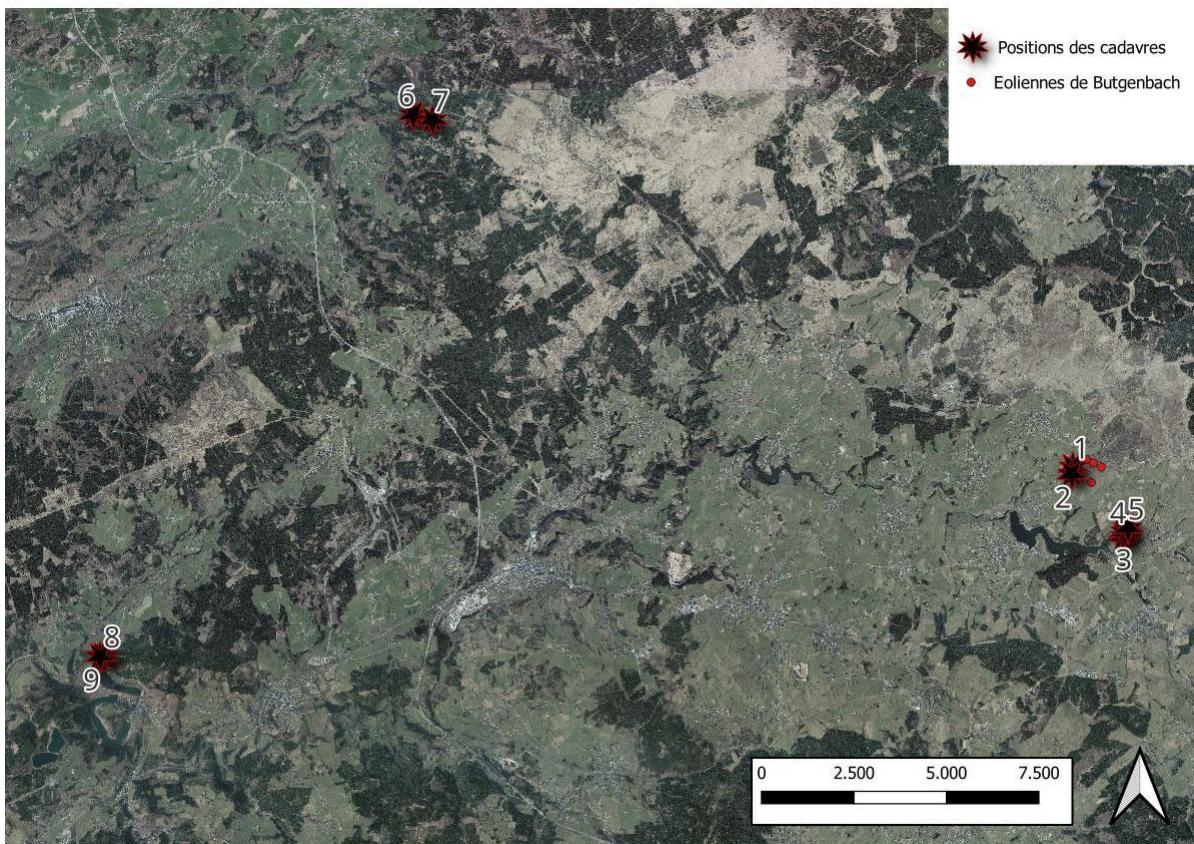


Figure 10 : Test de persistance des cadavres pour la région de Bütgenbach. Disposition des 9 cadavres pour le premier test de persistance des cadavres. De 1 à 5 : Bütgenbach, 6 et 7 à Jalhay, 8 et 9 à Roanne-Coo.

Les cadavres 1 et 2 ont été posés dans une parcelle mise à disposition par l'agriculteur Eric Halmes qui exploite également la prairie où sont installées les éoliennes 1, 2 et 3. Le cadavre 1 se trouve à 415 m de la première éolienne afin d'éloigner les prédateurs éventuels d'un danger de collision et à 200 m du cadavre 2, afin de ne pas constituer une accumulation de nourriture à un seul endroit pour ces mêmes prédateurs.

Les cadavres 3, 4 et 5 ont été disposés sur une parcelle mise à disposition par Natagora à plus de 1500 m du parc éolien (Figure 11). Il y avait une distance de 130 m entre les cadavres 3 et 4, ainsi qu'entre les cadavres 4 et 5.

Il était important d'avoir des parcelles qui ne seraient pas exploitées pendant toute la durée du test afin de garantir l'intégrité des cadavres et éviter les influences humaines dans le test.

Il a également été décidé de faire, en parallèle, une comparaison de persistance dans deux autres endroits. Deux autres cadavres ont donc été disposés à Jalhay, dans une grande parcelle mise à disposition par l'agriculteur François Hendricks (Figure 12), située à 19 km à vol d'oiseau du parc éolien de Bütgenbach. Les cadavres 6 et 7 ont été installés à 540 m l'un de l'autre.

Enfin, deux autres cadavres ont été disposés à Roanne-Coo (Figure 13), dans une parcelle de l'agriculteur Theo Steffens. Celle-ci se trouve à 27 km à vol d'oiseau du parc éolien de Bütgenbach.



Figure 11 : Test de persistance des cadavres autour du parc éolien de Bütgenbach. 1 : busard Saint-Martin, 2 : buse variable, 3 : milan royal, 4 : chouette effraie, 5 : buse variable.



Figure 12 : Test de persistance des cadavres à Jalhay. 6 : buse variable, 7 : faucon crécerelle.



Figure 13 : Test de persistance des cadavres à Roanne-Coo. 8 : buse variable, 9 : faucon crécerelle.

Test 2

Un test a été organisé avec deux cadavres supplémentaires à partir du 13/10/2023. Cette fois, les deux cadavres ont été installés dans la région autour du parc d'Halconreux comme suit :



Figure 14 : Test de persistance des cadavres à Gouvy. 1 : buse variable, 2 : faucon crécerelle.

Le cadavre 1 était à plus de 1,6 km de l'éolienne la plus proche (l'éolienne n°2) et à 3,6 km du deuxième cadavre qui lui était déposé à la bordure d'un champ à Ourthe. Les deux parcelles utilisées ont été mises à disposition par Natagora.

Lors des deux tests, pour chaque cadavre de rapace déposé, une caméra-trap a été installée à proximité afin de garder une trace des activités autour de celui-ci.

Inspiré de la méthodologie d'une étude américaine de 2000 [21], le test de persistance a été contrôlé tous les jours pendant les quatre premiers jours et ensuite aux jours 7, 11, 14, 18, 24, 35, 46, et 61. Le contrôle consistait à vérifier si le cadavre était toujours en place et dans quel état, mais aussi à vérifier les batteries et l'espace de stockage de la caméra.

Résultats

Le tableau suivant (Table 4) présente les résultats obtenus pour chaque cadavre, tandis que la figure illustre l'évolution au cours du temps du nombre de cadavres encore présents.

Table 4 : Résultats des deux tests de persistance avec la date d'installation du test, la date à laquelle le cadavre a été vu pour la dernière fois (dernière présence), la date à laquelle son absence a été détectée pour la première fois (première absence) et le nombre de jours de persistance du cadavre sur le terrain. Les « / » indiquent que les cadavres n'ont jamais été absents au cours du test. Tous les détails pour chaque cadavre se trouvent en Annexe 2.

Cadavres	Date de début du test	Dernière fois aperçu	Première absence	Persistance
BUTGENBACH				
1. Busard Saint-Martin	10/08/2023	11/10/2023	/	61 jours (fin du test)
2. Buse variable	10/08/2023	15/09/2023	16/09/2023	37-38 jours
3. Milan royal	10/08/2023	11/10/2023	/	61 jours (fin du test)
4. Chouette effraie	10/08/2023	17/08/2023	21/08/2023	7-11 jours
5. Buse variable	10/08/2023	11/08/2023	12/08/2023	2-3 jours
JALHAY				
6. Buse variable	10/08/2023	11/10/2023	/	61 jours (fin du test)
7. Faucon crécerelle	10/08/2023	14/08/2023	21/08/2023	4-11 jours
ROANNE-COO				
8. Buse variable	10/08/2023	11/09/2023	/	31 jours (fin du test)
9. Faucon crécerelle	10/08/2023	13/08/2023	14/08/2023	3-4 jours
GOUVY				
1. Buse variable	13/10/2023	15/11/2023	/	33 jours (fin du test)
2. Faucon crécerelle	13/10/2023	14/10/2023	18/10/2023	1- 5 jours

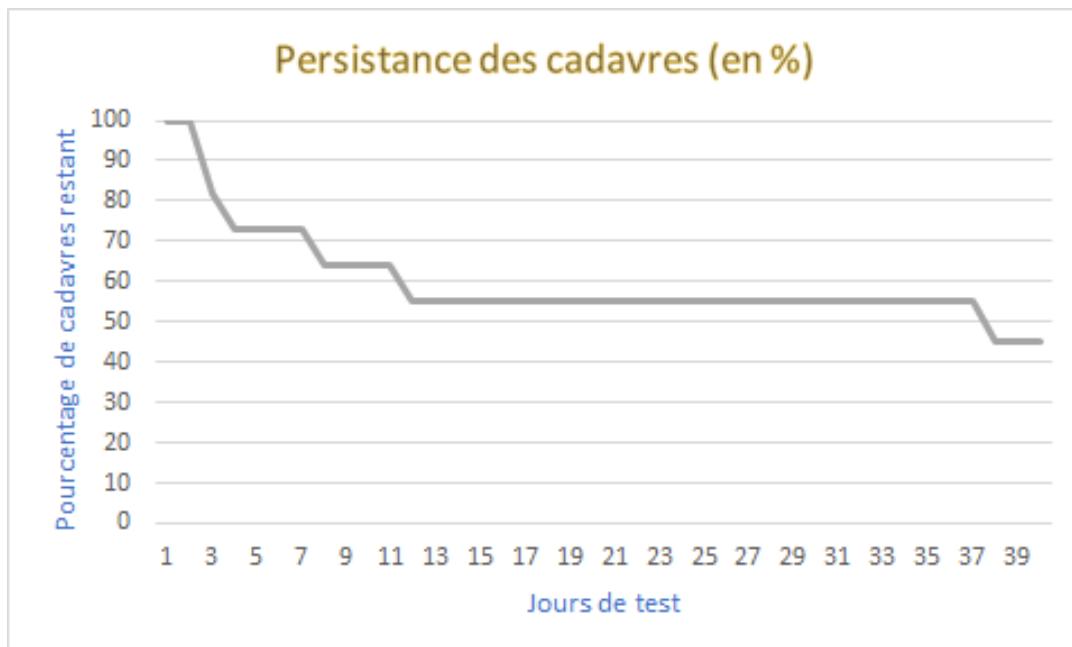


Figure 15 : Persistance des cadavres (en % du total) pendant une période de test de 40 jours.

Le test de persistance de cadavres montre d'abord une diminution rapide du nombre de cadavres, pour arriver à environ 63% de cadavres restants la première semaine, puis un plateau avec peu de cadavres qui disparaissent après 10 jours.

Un suivi des cadavres par pièges-photo a montré que beaucoup de cadavres étaient partiellement ou entièrement consommés sur place par les charognards suivants : milan royal, renard, corneille noire, buse variable, blaireau et chat domestique. Concernant les charognards responsables de la disparition des carcasses, il est difficile de se prononcer car si les charognards listés ont été enregistrés (soit par photo ou vidéo) en train d'interagir avec le cadavre, aucun n'a été observé emmenant le cadavre.

4.1.3 Tests d'efficacité de l'observateur

Méthodes

Afin de prendre en compte le biais de l'observateur lors de l'analyse statistique, c'est-à-dire les carcasses présentes sur le site que l'observateur ne trouvera pas, l'efficacité de celui-ci doit être mesurée. A l'insu de l'observateur, des leurres en bois ont été placés sur les différents terrains de prospection à Bütgenbach ainsi qu'à Halconreux.

Les leurres sont des représentations de milans royaux (Figure 16), en bois et peintes aux couleurs orange-brun du milan royal. Ceux-ci sont d'une longueur approximative de 70 cm et d'une largeur entre 20 et 30 cm dépendant du modèle. L'épaisseur de ceux-ci ne dépasse pas les 7-10 cm. Afin de simuler des restes incomplets, certains de ces leurres sont coupés en deux. Les leurres sont placés jusqu'à ce que l'observateur les trouve. Quatre tests ont été organisés tout au long de la période de prospection.



Figure 16 : Photos d'un leurre utilisé lors des tests d'efficacité du chercheur.

Résultats

Test 1 - 21/04/2023 – Parc éolien d'Halconreux (nombre de leurres : 5)

Table 5 : Résultats du premier test d'efficacité du chercheur. Code couleur : vert = trouvé dès la première recherche, orange = trouvé dans une recherche ultérieure et rouge = jamais retrouvé.

Leurre n°	Eolienne	Végétation	Trouvé le
1	2	15cm	21/04
2	2	15cm	03/05 (drone)
3	4	10cm	21/04
4	4	10cm	21/04
5	4	10cm	21/04

Test 2 – 05/06/2023 – Parc éolien de Bütgenbach (nombre de leurres : 3)

Table 6 : Résultats du deuxième test d'efficacité du chercheur. Code couleur : vert = trouvé dès la première recherche, orange = trouvé dans une recherche ultérieure et rouge = jamais retrouvé.

Leurre n°	Eolienne	Végétation	Trouvé le
1	4	50cm	09/06
2	4	10cm	09/06
3	2	25cm	Passé sous faucheuse : restes trouvés le 23/06

Test 3 - 28/07/2023 – Parc éolien d'Halconreux (nombre de leurres : 5)

Table 7 : Résultats du troisième test d'efficacité du chercheur. Code couleur : vert = trouvé dès la première recherche, orange = trouvé dans une recherche ultérieure et rouge = jamais retrouvé.

Leurre n°	Eolienne	Végétation	Trouvé le
1	1	15cm	04/08
2	1	15cm	25/08
3	3	30cm	Disparu (travaux)
4	3	20cm	04/08
5	3	20cm	Jamais retrouvé

Test 4 - 13/10/2023 – Parc éolien d'Halconreux (nombre de leurres : 3)

Table 8 : Résultats du quatrième et dernier test d'efficacité du chercheur. Code couleur : vert = trouvé dès la première recherche, orange = trouvé dans une recherche ultérieure et rouge = jamais retrouvé.

Leurre n°	Eolienne	Végétation	Trouvé le
1	3	15cm	13/10
2	4	15cm	13/10
3	4	15cm	13/10

Au total, seize leurres ont été utilisés et onze ont été retrouvés directement à la première prospection, ce qui représente une efficacité de 69%, mais ne prend pas en compte les leurres qui ont été enlevés, ni ceux que qui ont été retrouvés plus tard.

4.1.4 Calcul de la mortalité des milans royaux sur les deux parcs éoliens

Afin d'estimer la mortalité réelle totale des milans royaux sur base des observations de terrain, le modèle statistique GenEst a été utilisé. Le développement de GenEst (Generalized Estimator) [22] a été motivé par la nécessité d'estimer avec précision le nombre total de cas de mortalité d'oiseaux et de chauves-souris survenant au cours d'une période donnée dans les installations d'énergie éolienne et solaire, mais il peut également être utilisé dans d'autres contextes. Le simple comptage des carcasses n'est pas une mesure précise de la mortalité réelle, car certaines carcasses sont manquées lors des recherches. Ce logiciel utilise les données collectées lors des recherches de carcasses et les estimations des taux de détection pour estimer le nombre de carcasses et une mesure de la précision associée à l'estimation [22].

Les principales différences entre GenEst et les autres estimateurs [23] [24] [25] [26] [27] [28] sont les suivantes : GenEst est, à bien des égards, beaucoup plus souple que les autres et fournit des estimations plus précises en ce qui concerne le biais et les probabilités de couverture pour les intervalles de confiance, car moins d'hypothèses contraignantes sont formulées et des techniques plus précises sont utilisées pour incorporer les incertitudes de l'estimateur [22].

GenEst fonctionne à partir du programme de statistiques R. GenEst utilise les données de l'efficacité de l'observateur pour la recherche de cadavres, les données de persistance de carcasses, le planning des recherches sur toute la durée de l'étude, les données sur la proportion de surface recherchée et les données des cadavres retrouvés pour estimer un nombre total de cadavres.

Le niveau de confiance a été défini à 90 % et le nombre d’itérations de calcul à 1.000. La persistance des cadavres a été modélisée par une loi lognormale, sur base d’une comparaison des scores AIC (Akaike Information Criterion) de quatre modèles. Nous avons décidé de regrouper l’ensemble de nos données sur les deux parcs afin de réaliser une seule estimation de mortalité plus robuste.

Résultats:

La mortalité médiane annuelle des milans royaux sur le site considéré (les neuf éoliennes des deux parcs sont considérées ici comme un seul parc) est de **3,35** milans par an pour les neuf éoliennes (intervalle de confiance **2,0 – 6,6** ; Figure 17).

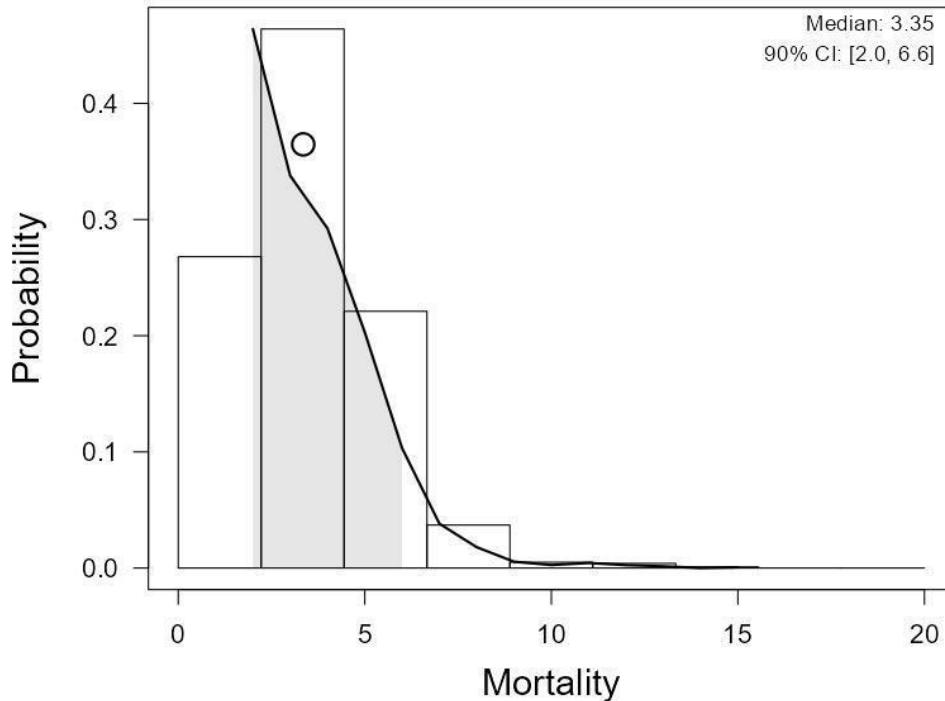


Figure 17 : Mortalité médiane annuelle des milans royaux par les neuf éoliennes des deux parcs prospectés. Histogramme : valeurs probables de mortalité estimée ; zone grise : intervalle de confiance ; rond blanc : valeur médiane de mortalité estimée.

Cela représente 0,37 individu par éolienne et par an. Pour comparaison, l’étude menée dans la même région en 2018 avait estimé la mortalité à environ 0,2 individu par éolienne et par an [15]. Durant cette étude dont la phase de terrain avait été réalisée en 2018 un seul cadavre avait été retrouvé sous dix éoliennes contre deux sous neuf éoliennes dans la présente étude. La différence de résultats entre les deux études pourrait simplement résulter du caractère très rare et aléatoire des événements de collision, mais aussi de l’augmentation de la population de milans royaux dans la région entre 2018 et 2024 (estimée à environ + 23 % sur base des estimations disponibles à l’échelle de la Wallonie entière pour 2015-2016 et 2024, voir partie 3).

4.2 Généralisation de la mortalité à l’ensemble de la Wallonie

4.2.1. Méthode

Nous avons utilisé l’estimation de la mortalité annuelle sur les parcs de Butgenbach et Gouvy en 2023 pour estimer la mortalité dans l’ensemble de la Wallonie.

Il est évident que la mortalité dépend du nombre d’éoliennes. Il apparaît aussi très probable que la mortalité dépende directement de la densité de milans à l’endroit où se trouve chaque éolienne, par les données empiriques (davantage de cadavres de milans trouvés dans les parcs dans les zones de forte densité), et par l’avis d’expert (Thierry Chambert, comm. pers.). Il

semble aussi raisonnable de considérer qu'il n'y a pas de mortalité de milans en période de nidification en dehors de l'aire de nidification wallonne. La relation entre la mortalité et le nombre d'éoliennes d'une part, et la densité de population de milans d'autre part n'est sans doute pas linéaire, mais nous l'avons considérée comme telle dans nos modèles car il n'existe pas à notre connaissance de données permettant de lier ces paramètres de manière plus précise.

On notera que d'autres paramètres que le nombre d'éoliennes et la densité de territoires de milans royaux auraient pu être intégrés pour tenter d'estimer plus précisément la mortalité induite actuellement par chaque parc éolien wallon :

- l'occupation du sol autour des éoliennes : une éolienne en forêt engendre théoriquement un risque plus faible qu'une éolienne implantée dans une prairie de fauche intensive attractive pour le milan [16] ;
- le diamètre du rotor et la garde au sol : le risque de collision est proportionnel au diamètre du rotor et diminue quand la garde au sol augmente [29] ;
- la configuration du parc : des éoliennes isolées ou disposées en une seule ligne engendrent théoriquement un risque plus grand que des éoliennes rassemblées en plusieurs lignes, car les éoliennes en centre seront moins survolées [30] ;
- l'existence de mesures d'atténuation, par exemple la fauche séquentielle, appliquée sur deux parcs éoliens en Ardenne à notre connaissance.

Deux éléments justifient de le fait de ne pas avoir inclus ces facteurs dans l'estimation :

1. l'effet de ces facteurs sur le taux de mortalité est difficile à évaluer en l'absence d'études empiriques sur le sujet ;
2. en sélectionnant les parcs de Butgenbach et Gouvy, nous avons privilégié une approche maximaliste, en particulier car ces parcs sont situés dans une zone de forte densité, dans des habitats très attractifs (majoritairement des prairies de fauche intensives et des prairies mixtes) et qu'ils n'ont fait l'objet d'aucune mesure spécifique ni d'évitement ni d'atténuation en faveur du milan royal, l'espèce n'ayant pas été observée sur ces sites durant les études d'incidences menées en 1999-2000 et 2008-2009 respectivement.

4.2.2 Taux de mortalité pour les densités de 2016

En densités de 2016, le parc de Butgenbach se trouvait dans une zone avec 10 territoires/40 km², et celui de Gouvy avec une densité de 4 territoires/40 km². On peut donc considérer une moyenne de densité de 7 territoires/40 km² pour l'ensemble des deux parcs en 2016, ce qui donnerait :

$$\text{Taux de mortalité} = \text{Mortalités} / (\text{nombre éoliennes} * N\text{territoires}/40 \text{ km}^2)$$

$$\text{Taux de mortalité} = 3,3 / (9 * 7) = 0,05 \text{ mortalité/éolienne/territoire en densité de 2016}$$

Or, comme nous l'avons vu plus haut, la population de milans royaux a bien augmenté depuis 2016 (d'environ 385 à 550 territoires sur la période, soit une augmentation de +43%). Nous avons donc réalisé une projection du nombre de territoires en 2024 pour adapter le taux de mortalité à ces nouvelles densités estimées.

4.2.3 Evolution des densités sur le territoire wallon (2016-2024)

Nous avons réalisé des projections des densités de population sur le territoire wallon, en repartant des densités de la carte de De Broyer et al. (2019) [12]. Ne disposant pas de données précises d'occupation du territoire rectangle par rectangle pour 2024, il s'agit d'une projection statistique à partir des données de 2016, sans apport de données empiriques. Cette carte n'a donc pas pour but de représenter la répartition réelle du milan royal en 2024 mais une répartition possible pour affiner les paramètres de notre modèle.

D'après les estimations d'AVES, la population a augmenté de 43% entre 2016 et 2024. Pour notre modélisation, nous avons considéré 12 territoires/rectangle de 40km² comme la densité maximale. La carte de De Broyer et al. (2019) [12] contenait, pour 2016, 356 territoires répartis sur 163 rectangles de 40 km², soit une moyenne de 2,18 territoires par rectangle occupé.

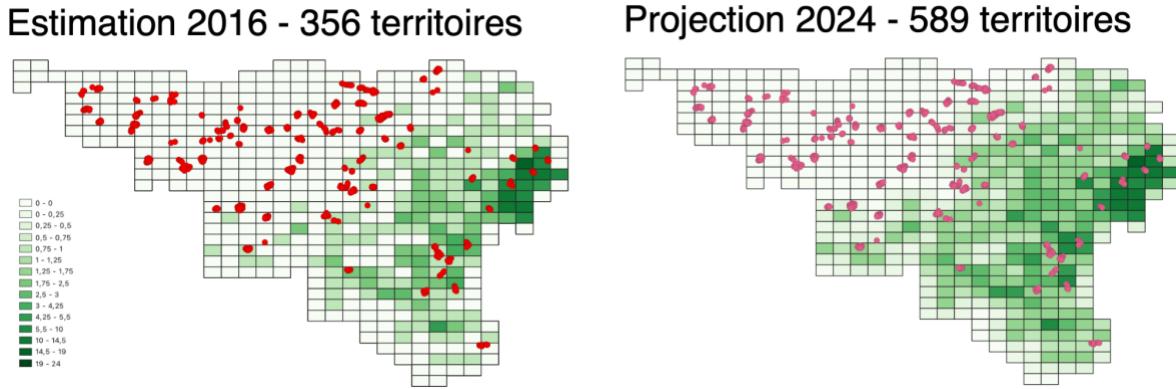


Figure 18 : A gauche, carte de répartition des territoires de milans royaux en 2016 d'après De Broyer et al. (2019)[12]. A droite, projection de 589 territoires pour 2024 selon la méthodologie décrite plus haut. Les points rouges représentent les éoliennes présentes en 2024.

Pour notre modèle, nous avons réparti environ 50% des nouveaux territoires dans l'aire de répartition de 2016, et 50% des nouveaux territoires dans une zone d'expansion. Nous avons procédé à l'expansion par vagues successives de diffusion, en ajoutant 0,5 territoire dans les rectangles inoccupés adjacents aux rectangles de densité supérieure ou égale à 1 (et 1 territoire dans les rectangles jouxtant au moins deux rectangles occupés), puis 0,25 territoires dans les rectangles jouxtant ceux à 0,5, puis en faisant augmenter la population proportionnellement sur le territoire existant jusqu'à ce que de nouveaux rectangles obtiennent une densité de 0,5, etc.

La projection pour 2023/2024 que nous avons utilisée pour établir notre taux de mortalité correspond à 589 territoires de milans, avec 487,75 territoires répartis sur l'aire de répartition de 2016, et 91,25 dans une zone d'expansion (Figure 18). Les densités dans l'aire de répartition de 2016 ont été augmentées de 50%, jusqu'à atteindre un maximum de 12 territoires/rectangle. L'aire de répartition projetée se répartit sur 299 rectangles, avec une moyenne de 1,97 territoires/rectangle dans l'aire de répartition de 2024.

4.2.4 Taux de mortalité pour les densités de 2024

En répétant le calcul de la section 4.2.1 avec les densités de notre projection des territoires pour 2023/2024 (voir Figure 18), on obtient un taux de mortalité annuel :

$$\text{Taux mortalité} = 3,3 (9*8,33) = \mathbf{0,044 \text{ mortalité}/éolienne/territoire (en densité 2024)}.$$

Ce taux de mortalité sera utilisé dans le reste de l'étude pour estimer la mortalité des milans par les éoliennes.

A titre de comparaison, si on considère, plus simplement, que l'augmentation de la population entre 2016 et 2024 s'est répartie entre 50% d'augmentation de densité, homogène sur le aire de répartition de 2016 et 50% d'expansion, on passerait de 385 à 468 territoires sur la zone historique, soit une augmentation de 21,5%, ce qui donnerait une moyenne de densité de 8,5,

$$\text{Taux mortalité} = 3,3 (9*8,5) = \mathbf{0,043 \text{ mortalité}/éolienne/territoire}.$$

Si les densités de territoires avaient augmenté proportionnellement à la population (aucune expansion de territoire), on aurait une augmentation de 43% de la population, soit une moyenne de densité de 10 territoires/40 km².

$$\text{Taux mortalité} = 3,3 (9*10) = \mathbf{0,037 \text{ mortalité}/éolienne/territoire}.$$

Enfin, si les densités sur nos deux parcs n'avaient pas évolué depuis 2016, on aurait un taux de mortalité de 0,05 mortalité/éolienne/territoire, comme pour 2016.

Avec cette gamme de taux de mortalité, un parc de cinq éoliennes dans une zone de très forte densité de milans (par exemple 10 territoires/40km²) engendrerait environ deux mortalités de milans chaque année ; un parc de cinq éoliennes dans une zone de forte densité (4-5 territoires/40 km²) engendrerait environ une mortalité chaque année, un parc de cinq éoliennes dans une zone de présence du milan (1 territoire/40 km²) une mortalité tous les cinq ans.

Il serait intéressant de réaliser des prospections de carcasses sur des parcs dans des zones de faible densité pour vérifier ces estimations, mais il s'agirait d'un exercice très couteux en temps avec peu de chance de trouver une carcasse sur l'année. A titre d'exemple, trois éoliennes du parc de Fauvillers (sud-est de l'Ardenne) ont ainsi été suivies pendant deux ans (2023-2024), sans qu'aucun cadavre de milan n'ait été trouvé (CSD Ingénieurs, données non publiées). La densité moyenne 2015-2016 au niveau de ce parc, situé à cheval sur deux rectangles, est de 2,5 territoires / 40 km².

Notre taux de mortalité est assez élevé par rapport à, par exemple, une étude galloise [31] qui a déterminé par une approche statistique différente qu'un milan royal dans une zone de présence d'éoliennes avait une chance sur 400 d'être victime d'une collision chaque année. En utilisant le taux de l'étude galloise et en considérant que l'ensemble de la population wallonne (environ 2.000 individus) était soumis à un risque de collision, on estimerait alors la mortalité à 5 individus par an. Ce chiffre nous semble faible et peu réaliste pour la Wallonie puisque nous avons déjà trouvé deux carcasses en prospectant deux parcs en 2023. Ce taux de 0,044 nous semble assez prudent pour nos projections démographiques.

Nous estimerons donc les mortalités des différents scénarios de développement éolien sur base de ce taux de 0,044 mortalité/éolienne/territoire par rectangle de 40km². Pour être encore plus prudents, nous réaliserons aussi un deuxième jeu de projections avec un taux de mortalité rehaussé de 50%, à 0,066 mortalité/éolienne/territoire par rectangle de 40km².

4.2.5 Estimation de la mortalité en 2023.

Sur base des densités de milans et du nombre d'éoliennes présentes sur le territoire, nous avons estimé la somme des mortalités, pour chaque catégorie de densité par rectangle de 40 km²,

$$\text{Mortalité} = 0,044 \times N_{\text{Eoliennes}} \times N_{\text{Territoires}}$$

Nous obtenons une mortalité de **20,6 milans** en 2023, pour un total de 234 éoliennes réparties dans des rectangles de densité variant entre 0,5 et 14 territoires/40 km².

Avec l'estimation d'AVES d'environ 550 territoires en 2023, et en considérant (voir section 3) que chaque couple reproducteur équivaut à environ 3,43 individus dans la population (en comptant les juvéniles etc.), on estime alors la population de milans à environ 1.887 individus.

Le taux de mortalité par les éoliennes représente alors environ **1,1%** de la population totale chaque année.

5. Estimation des taux de croissance et capacité de charge

La réalisation de projections démographiques est un exercice complexe dont les résultats sont fortement dépendants d'un ensemble d'hypothèses de départ. Parmi ces hypothèses, le taux de croissance de la population et la capacité de charge maximale sont deux paramètres clés. Les sections qui suivent évaluent ces deux paramètres à la lumière, notamment, des trois estimations de la population wallonne disponibles pour le XXI^e siècle (Table 1).

5.1 Quatre modèles de taux de croissance et capacité de charge

Revenons à nos estimations d'évolution de la population de milans royaux en Wallonie. Nous avons considéré quatre modèles dérivés des trois estimations de population réalisées au XXIème siècle (voir section 3). Dans notre premier modèle, nous avons considéré des valeurs de 165, 375 et 550 territoires pour les années 2007, 2016 et 2024. On obtient une moyenne des taux de croissance de 9,5% sur la période 2007-2016, et de 4,9% sur la période 2016-2024 (représentés par l'évolution de la ligne rouge sur la Figure 19A), pour une moyenne de 7,3% sur la période 2007-2024 (ligne verte). Cependant, il est biologiquement peu réaliste d'avoir des taux de croissance constants sur une période longue de 8-9 ans, puis diminuant brusquement, pour rester constant pendant 8 ans (ligne rouge sur les graphes). Il est plus réaliste que les taux de croissance diminuent progressivement d'année en année au fur et à mesure que la population se rapproche de la capacité de charge du territoire. Nous avons donc appliqué un lissage des taux de croissance en introduisant une constante Z qui diminue le taux de croissance (TC) chaque année selon la formule

$$TC_{n+1} = TC_n \times Z.$$

Nous avons calculé pour nos données que cette constante valait 0,995 (le taux de croissance diminue environ d'un demi-pourcent chaque année). Selon ce modèle, le taux de croissance aurait été d'environ 11,7% en 2007, pour atteindre 6,8% en 2016, et 3,1% en 2023.

Évidemment, ce modèle est simplifié car l'évolution du taux de croissance réel ne suit vraisemblablement pas une trajectoire aussi linéaire. Faute d'informations précises, nous partons également du principe que les diminutions des taux de croissance depuis 2007 sont le fruit de l'augmentation de la population et de la saturation progressive du territoire, et non d'autres facteurs biotiques ou abiotiques. Ces nouveaux taux de croissance annuels sont représentés par les bâtonnets gris sur la Figure 19A.

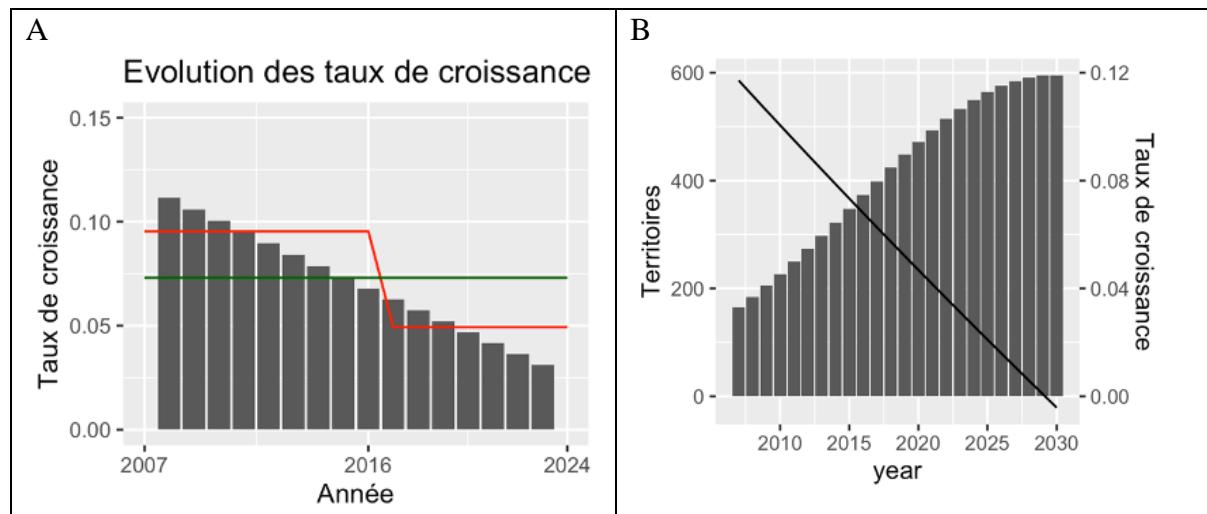


Figure 19 : A. Gauche : Évolution des taux de croissance au fil du temps. La ligne verte représente la moyenne de taux de croissance sur la période 2007-2024, la ligne rouge les moyennes sur les périodes 2007-2016 puis 2016-2024. Les bâtonnets gris représentent des taux de croissance diminuant de façon linéaire pour arriver aux mêmes populations. B. Droite : projection théorique de l'évolution du nombre de territoires (bâtonnets gris) jusqu'en 2030 en fonction des taux de croissance représentés par la ligne noire (et correspondant aux valeurs des bâtonnets gris dans la Figure 19A).

En projetant cette diminution des taux de croissance dans le futur, nous serions en fait en présence d'un modèle où la capacité de charge est presqu'atteinte. En effet, les taux de croissance seraient passés de 11,7% en 2007 à 3,1 % en 2023, et on atteindrait une capacité de charge de 595 territoires en 2029 (Figure 19B). Ceci correspondra à notre **modèle 1**, avec une capacité de charge minimale, presque atteinte. Ce scénario d'une capacité de charge presqu'atteinte semble peu vraisemblable de l'avis des spécialistes interrogés.

D'une part, notre modèle est très simple, d'autre part, les estimations de nombre de territoires par AVES sont des approximations, soumises à des incertitudes et données avec une marge d'erreur assez importante (par exemple entre 500 et 600 territoires pour 2023/2024), pour une période de plusieurs années (en particulier la première estimation qui concerne la période 2001-2007). Pour rappel, dans notre modèle 1, nous avons considéré les années de fin de l'estimation (2007, 2016 et 2024) et pour des estimations de nombre de territoires de 165, 375, 550.

Il suffit de modifier légèrement le modèle, par exemple considérer que l'estimation de 165 territoires correspond à l'année 2004 au lieu de 2007 (période couverte 2001-2007), et que l'estimation 2024 a été un peu sous-évaluée (considérer 600 territoires au lieu de 550) pour obtenir un taux de croissance moyen pour la période 2004-2016 de 7,1%, et sur la période 2016-2024 de 6,1%, avec un taux de croissance qui diminue alors beaucoup moins que dans notre modèle 1. Ceci correspondra à notre modèle de capacité de charge maximale (**modèle 4**). Nous pourrions considérer des centaines de modèles, mais nous avons décidé d'en considérer 4, en ajoutant les modèles 2 et 3, intermédiaires (Table 9).

Table 9 : Détails des valeurs des dates et nombres de territoires pris en compte pour établir les quatre modèles de croissance de la population wallonne de milans royaux

	Début 1 ^{ère} période	N territoires départ	N territoires 2016	N territoires 2024	Moyenne taux croissance 1 ^{ère} période	Moyenne taux croissance 2016-2024
Modèle 1	2007	165	375	550	9,5%	4,9%
Modèle 2	2007	180	340	550	7,3%	6,2%
Modèle 3	2007	180	385	600	8,8%	5,7%
Modèle 4	2004	165	375	600	7,1%	6,1%

En appliquant la même logique de lissage des taux de croissance, nous pouvons estimer le taux de croissance actuel, et la population totale au moment où le taux de croissance atteindrait 0, ce qui pourrait donc correspondre à une estimation théorique (très approximative) de la capacité de charge. Nous considérons aussi la population totale comme équivalente à 3,43 fois le nombre de territoires, en faisant la moyenne entre les estimations de Katzenberger et al. et Pfeiffer et al. [6][11].

Ces quatre modèles seront considérés dans nos analyses de viabilité de populations (PVA) et nos projections démographiques, en utilisant le nombre de territoires quand le modèle atteint l'équilibre comme valeur de capacité de charge, et le taux de croissance sans mortalité éolienne.

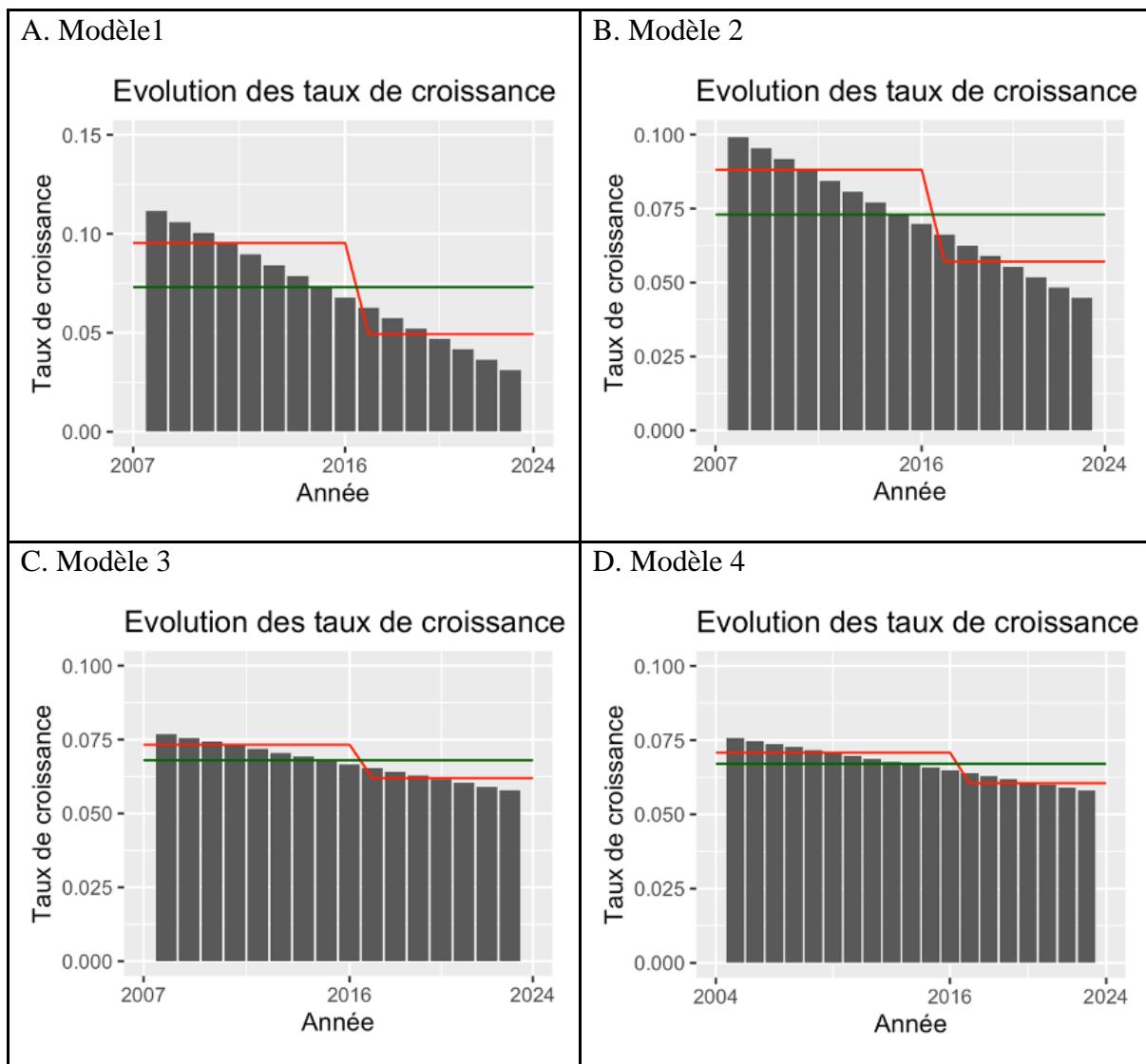


Figure 20 : Évolution des taux de croissance dans nos quatre modèles. La ligne verte représente la moyenne sur l'ensemble de la période, la ligne rouge montre les moyennes avant et après 2016. Les bâtonnets gris représentent une évolution linéaire des taux de croissance pour atteindre les mêmes valeurs d'évolution de population.

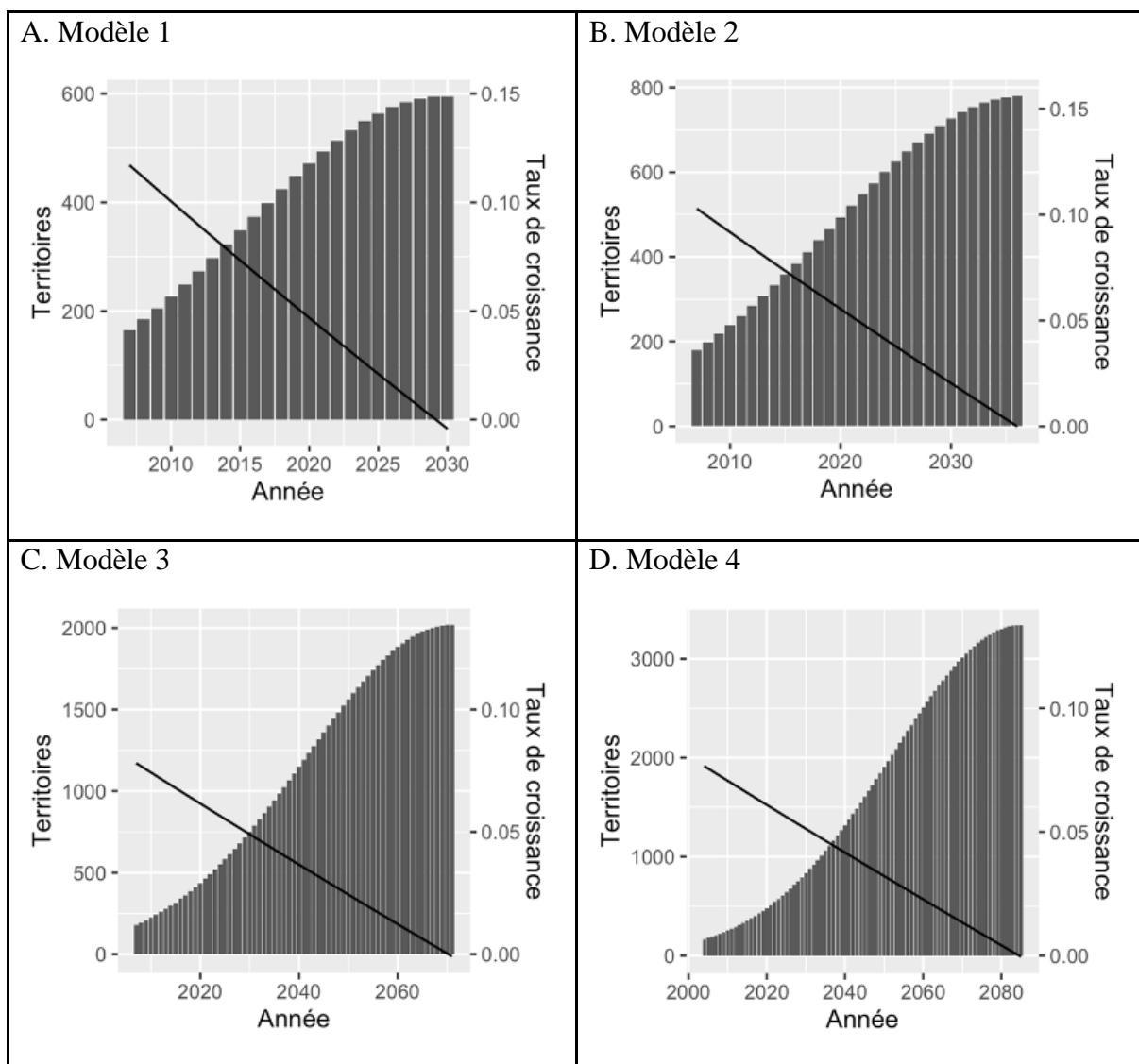


Figure 21 : Évolution du nombre de territoires selon les quatre modèles jusqu'à l'année où l'équilibre de la population serait atteint. Les bâtonnets gris représentent le nombre de territoires (échelle de gauche), et la ligne noire le taux de croissance (échelle de droite).

Table 10 : Taux de croissance (avec et sans mortalité éolienne), année où la population atteindrait un équilibre, et nombre de territoires et population totale à cet équilibre, pour les quatre modèles considérés pour l'évolution de la population des milans royaux en Wallonie

	Taux croissance 2023	Taux croissance sans mortalité éolienne*	Année plateau population	N territoires équilibre	Population équilibre
Modèle 1	3,1%	4,2%	2030	595	2041
Modèle 2	4,5%	5,6%	2036	780	2676
Modèle 3	5,8%	6,9%	2070	2019	6930
Modèle 4	5,7%	6,8%	2085	3341	11470

* en estimant une contribution des éoliennes au taux de mortalité à 1,1%, voir section 4.2.5

5.2 Comparaison avec une approche géographique de la capacité de charge

Pour mettre en perspective les valeurs de capacité de charge ci-dessus considérées comme le nombre de territoires quand le modèle arrive à un plateau, nous avons aussi estimé la capacité de charge du milan royal en Wallonie par une approche de densités de territoires dans des rectangles de 40 km², suivant le découpage utilisé par De Broyer et al. (2019).

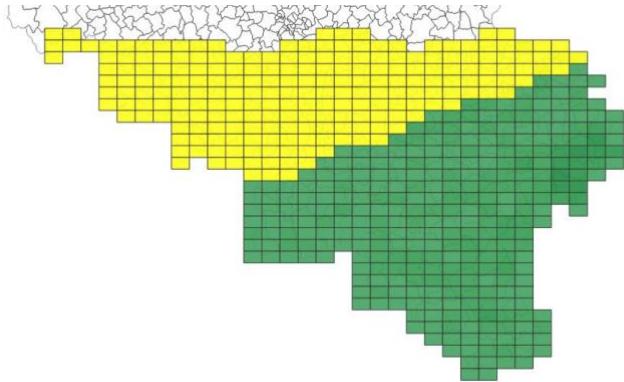


Figure 22 : Découpage de la Wallonie en deux catégories de densité (en vert : l'aire de répartition du milan en 2016 et les zones adjacentes, en jaune : le reste de la Wallonie)

La Wallonie a été divisée en deux zones : une zone « ardennaise » correspondant à l'aire de répartition du milan royal en 2016 selon l'estimation de De Broyer et al. (2019)[12] et les zones adjacentes (en vert sur la Figure 22) et une zone d'où le milan était absent en 2016, correspondant au reste de la Wallonie (en jaune sur la Figure 22). Afin d'évaluer une gamme de valeurs pour la capacité d'accueil maximale de la Wallonie pour la population de milans royaux, nous avons fait varier les densités de couples reproducteurs dans ces deux zones. Dans De Broyer et al. (2019)[12], la Wallonie est séparée en 512 rectangles de 40 km². La zone « Ardenne » considérée contient 298 de ces rectangles et le reste de la Wallonie, les 214 restants. Pour chaque zone, une densité a été attribuée en nombre de couples reproducteurs par rectangle (Table 11).

Le nombre de couples reproducteurs total est obtenu en multipliant la densité respective de chaque zone par le nombre de rectangles qu'elle contient. Pour la taille de la population, nous avons multiplié le nombre de couples reproducteurs par 3,43 (moyenne des estimations de Katzenberger et al. et Pfeiffer et al. [6][11]).

En comparant les deux approches, on voit que pour les capacités de charge de nos modèles 1 et 2 (595 et 780 couples respectivement) correspondent à des scénarios où le milan royal ne se développerait pas sur l'ensemble de la Wallonie (Table 11 ; à moins pour le modèle 2 que la moyenne de densité en Ardenne ne dépasse pas 2 territoires/40 km², par exemple seconde ligne, 810 couples).

Le modèle 3, avec environ 2018 couples, correspondrait par exemple à une densité moyenne en Ardenne de 5-6 territoires/40 km² (densité uniquement présente en 2016 dans l'est de l'Ardenne) et de 2-3 territoires/40 km² sur le reste de la Wallonie. Le modèle 4, avec 3341 couples, correspondrait à une moyenne d'environ 8 territoires/40 km² en Ardenne et 5 territoires/40 km² sur le reste de la Wallonie, ou à une densité homogène d'environ 6,5 territoires/40 km² sur l'ensemble du territoire (densités uniquement présentes dans l'est de l'Ardenne en 2016)

Table 11 : Tableau reprenant différentes hypothèses de capacité de charge pour les milans royaux sur le territoire wallon. Les densités de chaque zone sont exprimées en nombre de couples reproducteurs par rectangle de 40 km². La population est exprimée en nombre d'individus, contenant les individus reproducteurs, les juvéniles ainsi que les individus non-reproducteurs des différentes classes d'âge.

Densité zone « Ardenne »	Densité reste Wallonie	Nombre de couples	Population
2	0	596	2.046
2	1	810	2.778
4	1	1.406	4.822
5	2	1.918	6.578
6	3	2.430	8.335
7	4	2.942	10.091
8	5	3.454	11.847
9	6	3.966	13.603
10	7	4.478	15.360

Au Pays de Galles, la population de milans royaux est estimée à 2.117 couples pour une surface de 20.761 km² (densité de 10,2 couples/100 km²), ce qui équivaut à 3 à 4 fois la population wallonne actuelle (550 couples soit 3,3 couples/100 km²), pour une surface 23% plus grande que la Wallonie (16,844 km²) [31]. La population humaine du Pays de Galles est de 3,1 millions contre 3,6 millions en Wallonie, ce qui équivaut à une densité humaine correspondant à 70% de la densité humaine wallonne. La population de milans est toujours en expansion au Pays de Galles ce qui laisse à penser que notre capacité de charge est loin d'être atteinte (bien que notre structure de territoire ne soit pas directement comparable à celle du Pays de Galles).

Une étude de Biver en 2013 [32] avance le chiffre de 66 couples reproducteurs en 2009 au Luxembourg (2.586 km²) avec une densité moyenne de 2,6 couples reproducteurs par 100 km². Bellebaum et ses collègues, en 2013 [14], estiment la population du milan royal au Brandenburg en Allemagne (19.433 km²) entre 1.650 et 1.900 couples reproducteurs, ce qui correspond à une densité moyenne de 5,8 couples par 100 km². Les densités wallonnes actuelles se trouvent donc dans une gamme intermédiaire, et assez basse par rapport à ce qu'on peut retrouver dans certaines régions.

Vu le peu d'informations disponibles, il est très difficile d'estimer une capacité de charge réaliste pour la Wallonie, mais nos modèles 2 et 3 représentent à notre avis une fourchette réaliste entre une estimation prudente et une estimation optimiste, les modèles 1 et 4 représentant quant à eux des estimations minimalistes et maximalistes, à notre avis moins réalistes.

6. Contribution des éoliennes aux taux de mortalité passés

Sur base de l'estimation de la mortalité de milans par les éoliennes en 2023 (20,6 milans tués, voir section 4.2.5), nous avons reconstitué la mortalité passée, pour la période 2007-2023 pour le modèle 1, et 2004-2023 pour le modèle 4 qui représentent les deux modèles les plus divergents. En considérant toujours que la mortalité est proportionnelle à la densité de milans royaux et au nombre d'éoliennes sur une zone donnée (avec un taux de 0,044 milan tué/éolienne/densité de territoires de milan, voir section 4.2.4), nous avons reconstitué l'évolution de la population de milans (voir section 3) et du nombre d'éoliennes présentes sur le territoire du milan (données compilées par CSD Ingénieurs) en utilisant la même formule que ci-dessus, avec le nombre d'éoliennes et la densité qui augmentent au fil du temps.

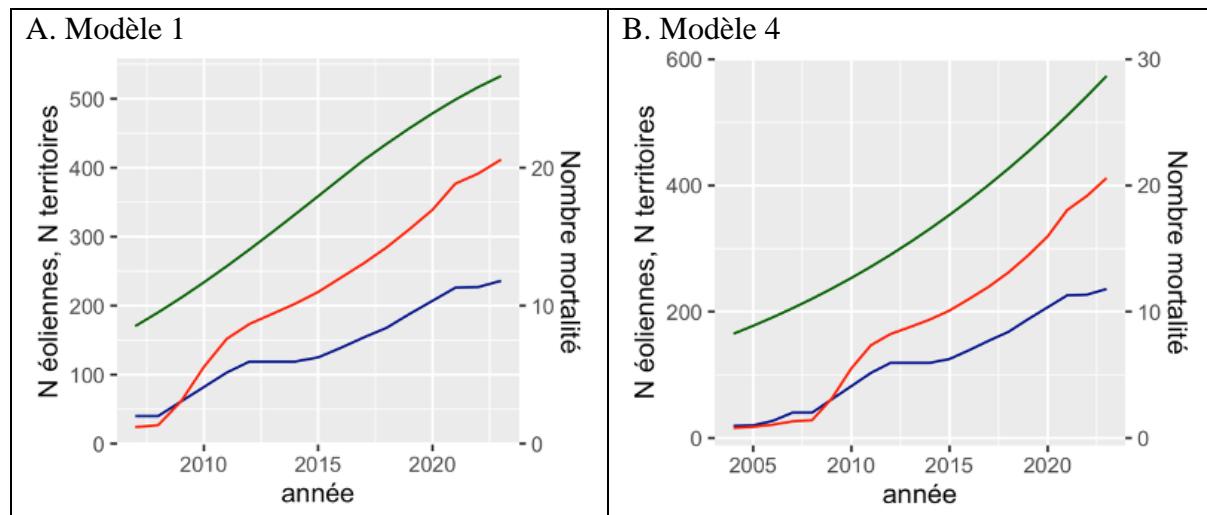


Figure 23 : Reconstruction statistique de l'évolution de la mortalité des milans royaux (en rouge, échelle à droite), par rapport au nombre de territoires total (en vert, échelle à gauche) et au nombre d'éoliennes sur le territoire (en bleu, échelle à gauche). A : modèle 1 ; B : modèle 4.

On estime que la mortalité de milans royaux était très faible (autour d'un milan par an tué sur l'ensemble de la Wallonie, Figure 23) jusqu'en 2008. Ensuite, la mortalité connaît une augmentation rapide (7-8 milans tués par an vers 2011) avec l'augmentation du nombre d'éoliennes et de la population de milans, et ne cesse d'augmenter depuis, pour atteindre environ 20 milans tués par an actuellement.

Selon ces estimations, on aurait eu pour le modèle 1, **210 milans tués sur la période 2007-2024**, mais **la moitié de ceux-ci sur la période 2019-2024**. Pour le modèle 4, on aurait 203 milans tués sur la période 2004-2024, avec également la moitié de cette mortalité sur la période 2019-2024. On voit donc que la mortalité augmente fortement dans les dernières années, suite à l'effet combiné de l'augmentation du nombre d'éoliennes et du nombre de milans.

On peut alors calculer l'impact de cette mortalité sur le taux de croissance de la population. On voit que l'impact de la mortalité sur le taux de croissance était négligeable jusqu'en 2008, puis qu'elle augmente pour atteindre environ 1,1% du taux de croissance (Figure 24). Pour rappel, il est normal que les taux de croissance diminuent après la forte augmentation du début du XXI^e siècle à mesure que le milieu se sature progressivement en milans royaux. Ici, il s'agit d'observer la différence entre les deux courbes. Toujours selon nos estimations, la mortalité par les éoliennes ne dépassait pas 0,2% de la population avant 2008 (Figure 24).

Nous pouvons aussi estimer la population actuelle s'il n'y avait aucune mortalité par les éoliennes sur le territoire. En tenant compte des taux de croissance recalculés sans l'impact des éoliennes, en repartant de la population de 2007, nous estimons une différence de 40 territoires en 2023 (532 vs 572, 7,5% de différence) pour le modèle 1, et de 82 territoires (573 vs 655, 14,3% de différence) pour le modèle 4 (Figure 24).

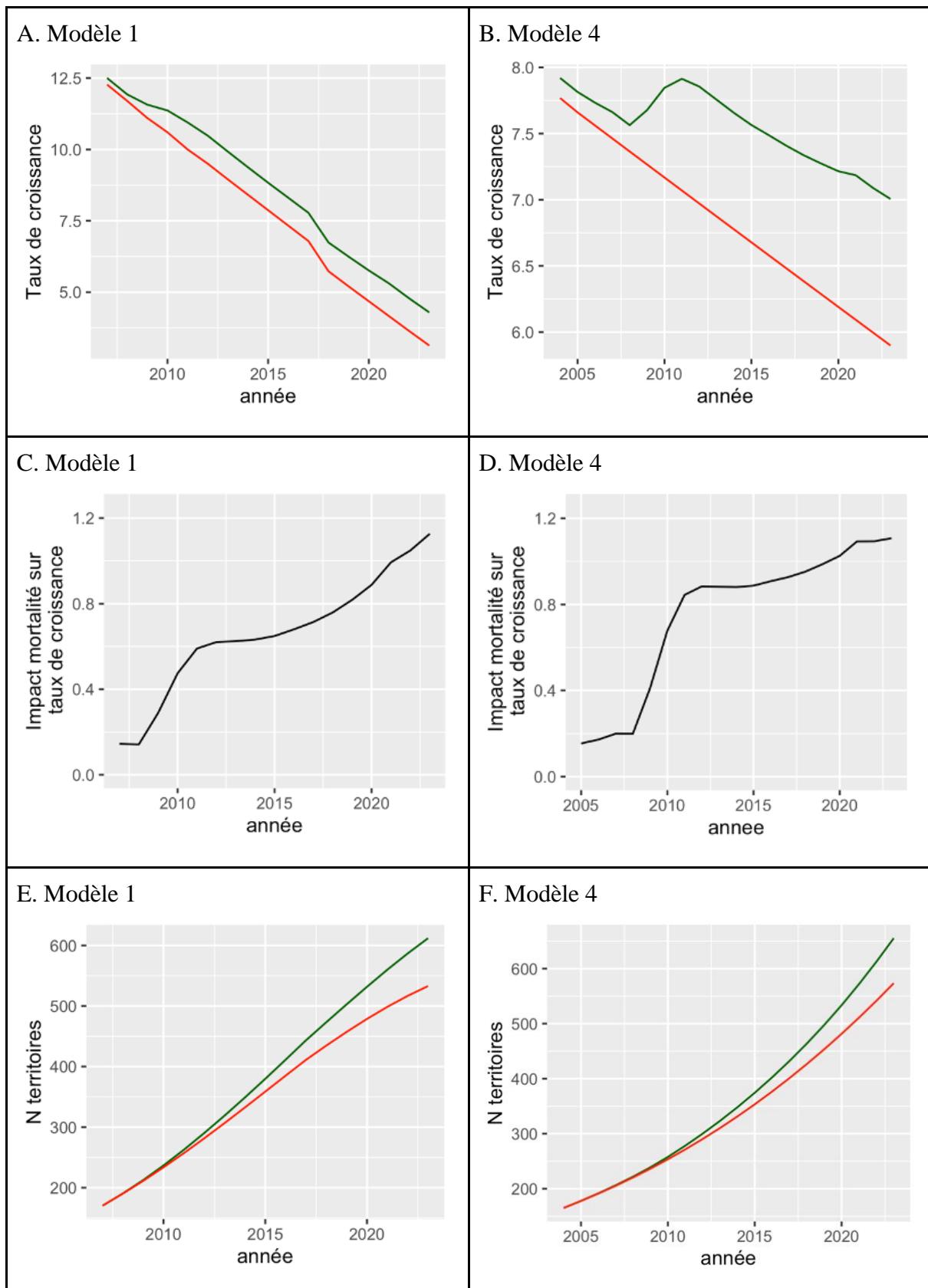


Figure 24 : Ligne du haut : Impact de la mortalité éolienne sur le taux de croissance. Ligne du bas : Impact de la mortalité éolienne sur le nombre de territoires. En rouge, évolution de la population d'après notre modèle, incluant la mortalité éolienne. En vert, croissance de la population sans mortalité éolienne, en retirant l'impact de la mortalité éolienne sur le taux de croissance (en ajoutant les milans tués dans la population totale pour calculer le taux de croissance). Ligne du milieu : impact de la mortalité éolienne sur le taux de croissance. Colonne de gauche : modèle 1. Colonne de droite : modèle 4.

7. Projections des populations de milan royal en Wallonie 2024-2054

7.1 Évolution de la population et des densités sur le territoire (projections 2016-2024 et 2024-2054)

Nous avons réalisé des projections des densités de population sur le territoire wallon, en repartant des densités de la carte de De Broyer et al. (2019) [12]. Nous avions déjà réalisé une projection pour 2024 (voir section 4.2.2) pour affiner le calcul de mortalité des milans par les éoliennes). Nous avons aussi réalisé une projection pour chacun des quatre modèles en 2054, pour tester si l'expansion du milan dans de nouvelles zones avec plus ou moins d'éoliennes aurait un impact sur le taux de mortalité. Nous considérons dans notre modèle que la mortalité est proportionnelle au nombre d'éoliennes et à la densité de milans. Le taux de mortalité n'évoluera alors avec l'expansion de l'aire de répartition du milan que si la densité en éoliennes est différente dans les zones d'expansion ; si la densité est homogène, l'expansion territoriale n'aura pas d'impact sur le taux de mortalité, car le nombre d'éoliennes augmente mais la densité de milans diminue (dans notre modèle, un milan aurait la même probabilité de mortalité dans 1 Ha avec une éolienne ou dans 2 Ha avec deux éoliennes). L'augmentation de la population aura un impact sur la mortalité totale, mais pas sur le taux de mortalité.

Pour nos projections de territoire, pour les modèles 1-2, nous avons considéré 12 territoires/rectangle de 40 km^2 comme la densité maximale. Pour les modèles 3 et 4 qui ont une capacité de charge plus importante, nous avons considéré un maximum de 16 et 24 territoires par rectangle respectivement.

La carte de De Broyer et al. (2019) [12] contenait, pour 2016, 356 territoires répartis sur 163 rectangles, soit une moyenne de 2,18 territoires par rectangle occupé. A nouveau, en l'absence de données précises de densités sur le territoire en 2023/2024, nos projections se basent uniquement sur un modèle statistique.

Pour chaque modèle, nous avons réparti environ 50% des nouveaux territoires dans le territoire existant, et 50% des nouveaux territoires dans une zone d'expansion. Nous avons procédé à l'expansion par vagues successives, en ajoutant 0,5 territoire dans les rectangles inoccupés adjacents aux rectangles de densité supérieure ou égale à 1 (et 1 territoire dans les rectangles inoccupés jouxtant au moins deux rectangles), puis 0,25 territoires dans les rectangles jouxtant ceux à 0,5, puis en faisant augmenter la population proportionnellement sur le territoire existant jusqu'à ce que de nouveaux rectangles obtiennent une densité de 0,5, avant de procéder à une nouvelle expansion.

La projection pour 2024 correspond à 589 territoires de milans, avec 487,75 territoires répartis sur la zone historique, et 91,25 dans une zone d'expansion. Les densités en zone historique ont été augmentées de 50%, jusqu'à atteindre un maximum de 12 territoires/rectangle. L'aire de répartition projetée se répartit sur 299 rectangles, avec une moyenne de 1,97 territoires/rectangle dans la zone d'occupation.

Pour les modèles 1-4, nous avons réparti le nombre de territoires projetés pour 2054 selon nos projections statistiques (voir Figure 21, section 5.1)

Pour le modèle 1, nous avons conservé la projection de 2024, qui a une capacité de charge similaire.

Pour le modèle 2, nous avons projeté 771 territoires, avec 614 territoires sur l'aire de répartition de 2016, et 157 dans une zone d'expansion. Les densités dans l'aire de répartition de 2016 ont été doublées jusqu'à atteindre un maximum de 12 territoires/rectangle. Le territoire du milan comprend 347 rectangles, soit une moyenne de 2,2 territoires/rectangle dans la zone occupée.

Pour le modèle 3, nous avons projeté 1707 territoires, avec 1115,5 sur l'aire de répartition de 2016 et 591,5 dans une zone d'expansion. Les densités dans l'aire de répartition de 2016 ont été triplées jusqu'à obtenir une densité de 16 territoires maximum par rectangle. Le territoire s'étend sur 414 rectangles, avec une moyenne de 4,12 territoires par rectangle.

Pour le modèle 4, nous avons projeté 2.148,75 territoires, avec 1.489,5 sur l'aire de répartition de 2016 et 659,25 sur une zone d'expansion. Les densités de l'aire de répartition de 2016 ont été multipliées par 5 jusqu'à atteindre une densité de 24 territoires/rectangle maximum. Le territoire s'étend sur 439 rectangles, avec une moyenne de 4,9 territoires/rectangle.

A noter que la capacité de charge de 3.341 territoires en Wallonie du modèle 4, correspondrait à une moyenne de 6,5 territoires par rectangle sur l'ensemble de la Wallonie, ce qui est une densité qu'on ne trouvait qu'à l'est de la Belgique en 2016.

7.2 Calcul de la mortalité par éolienne selon les différents modèles d'expansion

Dans la projection de 2024 et le modèle 1 en 2054, 234 éoliennes sont présentes dans l'aire de répartition du milan (589 territoires). La mortalité est estimée à 21,2 milans sur une population de 1877 soit 1,1%.

Dans le modèle 2, 280 éoliennes sont présentes sur la zone du milan (777 territoires). La mortalité est estimée à 28,9 milans sur une population de 2.667 milans, soit 1,1%.

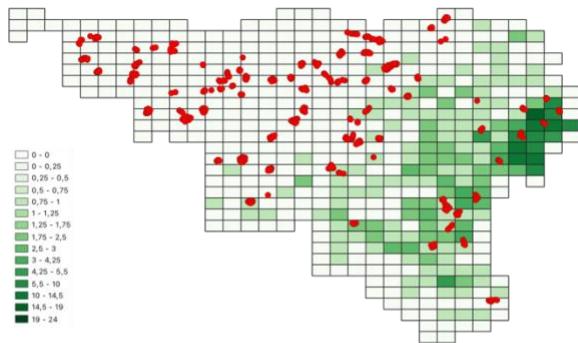
Dans le modèle 3, 409 éoliennes sont présentes sur la zone du milan (1.707 territoires). La mortalité est estimée à 64 milans sur une population de 5.860 milans, soit 1,1%.

Dans le modèle 4, 427 éoliennes sont présentes sur la zone du milan (2.149 territoires). La mortalité est estimée à 80,4 milans sur une population de 7.181 milans, soit 1,1%.

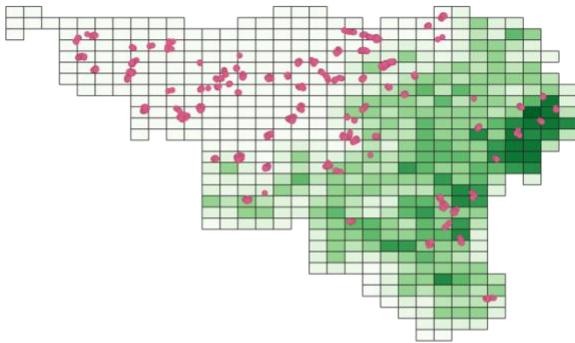
On voit donc que l'augmentation de la population de milans et son expansion territoriale projetée en 2054 selon nos modèles n'a pas d'effet sur le taux de mortalité à l'échelle de la population (bien qu'elle en ait un sur les valeurs absolues de mortalité). Ceci a conforté notre approche de travailler avec des taux de mortalité relatifs constants dans le temps pour nos PVA avec l'outil EolPop (voir ci-après).

Si le milan royal était présent dans l'ensemble de la Wallonie, 564 éoliennes seraient présentes sur son aire de répartition. En imaginant par exemple une densité de 2 territoires/40km² sur l'ensemble de la Wallonie, on aurait une mortalité de 49,6 milans, pour une population de 1.024 territoires, ou 3.515 milans, soit une mortalité de 1,4%. Le taux de mortalité augmenterait alors, vu la densité plus élevée d'éoliennes dans l'ouest de la Wallonie, mais de 0,3% seulement.

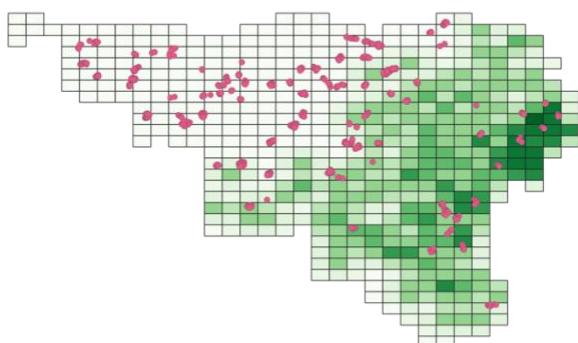
Estimation 2016 - 356 territoires



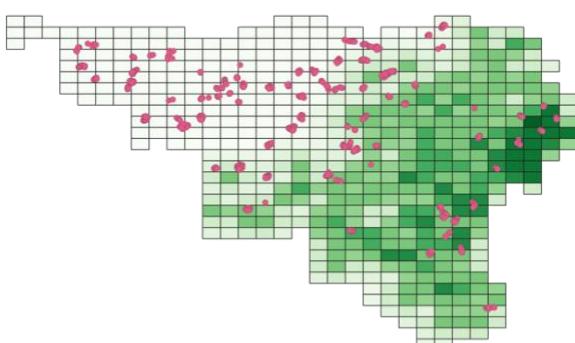
Projection 2024 - 589 territoires



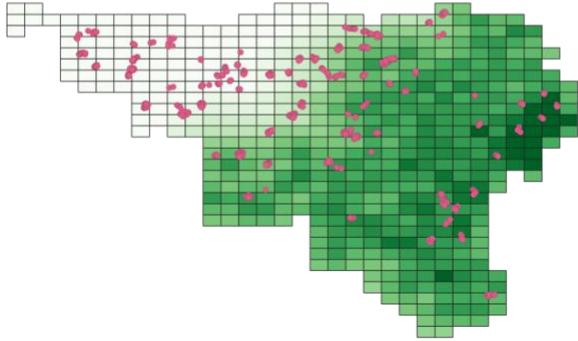
Modèle 1 - 2054 - 589 territoires



Modèle 2- 2054 - 777 territoires



Modèle 3 - 2054 - 1707 territoires



Modèle 4 - 2054 - 2149 territoires



Figure 25 : Estimation de la répartition des territoires de De Broyer et al. (2019), et dans le cadre de notre étude, des projections réalisées à partir de ces territoires, pour 2024 et pour 2054 selon le nombre de territoires projetés pour chaque modèle. Le niveau de vert correspond au nombre de territoires tandis que les points roses correspondent aux éoliennes présentes en 2024.

7.3 Scénarios de développement éolien (2024-2054)

Afin d'évaluer l'impact futur des éoliennes sur la population wallonne du milan royal, plusieurs scénarios potentiels sur 30 ans ont été développés prenant en compte :

- Le nombre d'éoliennes actuellement présentes en Wallonie
- Les projets de parcs qui sont en passe d'être construits
- Le remplacement progressif des éoliennes existantes par des éoliennes de plus grande taille via le processus de repowering
- L'objectif du gouvernement wallon de produire au moins 6.200 GWh d'électricité d'origine éolienne par an à partir de 2030
- L'avis d'experts quant à l'évolution du développement éolien en Belgique

Les scénarios sont décrits ci-dessous. Pour chacun, la mortalité annuelle est présentée sur base du nombre total d'individus présents en 2024 et du nombre maximum d'éoliennes attendues

sur la période 2024-2054. Dans nos projections démographiques, nous travaillerons avec un taux de mortalité constant, comme si l'ensemble de ces éoliennes étaient construites dès 2025. Cela permet d'être le plus prudent possible (plus tard les éoliennes sont construites, moins elles contribuent à la mortalité), et de garder un modèle le plus simple possible.

Scénario 1a :

Aucune nouvelle éolienne n'est construite en Wallonie à partir de 2025.

Pour ce premier scénario minimaliste, nous émettons l'hypothèse que le nombre d'éoliennes n'augmentera pas d'ici 2054. Le territoire wallon comporterait donc 596 éoliennes avec la même répartition spatiale qu'aujourd'hui, soit 234 éoliennes (39% du nombre total wallon) présentes dans l'aire de répartition du milan royal de notre projection 2024 réparties comme suit au regard des densités de territoires cartographiées par De Broyer et al. (2019) [12] :

Table 12 : Résumé chiffré du scénario éolien 1a.

Densité (/40km ²)	Éoliennes actuelles	Éoliennes supplémentaires	Total éoliennes	% Total	Mortalité
0,25	28	0	28	12	0,31
0,5	60	0	60	25,6	1,32
1	15	0	15	6,4	0,66
1,5	87	0	87	37,2	5,74
3	8	0	8	3,4	1,06
4,5	7	0	7	3	1,39
6	8	0	8	3,4	2,11
10,5	16	0	16	6,8	7,39
11,25	2	0	2	0,8	0,99
14	3	0	3	1,3	1,85
Total	234	0	234	100	22,81

Pour calculer la mortalité, le nombre d'éoliennes a été multiplié par 0,044 (mortalité moyenne par éolienne par an et par territoire) et par le nombre de territoires présents dans le rectangle où se trouve l'éolienne. La mortalité calculée pour ce scénario avec la population 2024 est de 23 milans morts par an au total, ce qui équivaut à un taux de mortalité de **1,17%** (prenant en compte une population actuelle de 1.973 individus correspondant à 575 couples reproducteurs).

Scénario 1b :

Aucune nouvelle éolienne n'est construite en Wallonie à partir de 2025, mais une partie du parc est renouvelé par le repowering (199 éoliennes sont remplacées).

Dans ce scénario, le nombre d'éoliennes sur le territoire wallon reste le même qu'actuellement, cependant, les éoliennes sont remplacées à leur vingtième année d'exploitation par des éoliennes plus grandes (hauteur totale passant de 150-180 m à 200-230 m, bas de pale considéré comme stable en moyenne). A l'horizon 2054, 33% des éoliennes (199 éoliennes) vont être remplacées par des éoliennes de nouvelle génération (repowering). Pour ce scénario, le postulat est que le repowering va s'opérer de manière homogène sur tout le territoire wallon. Il peut donc être estimé que 39% de ces 199 éoliennes vont se trouver dans l'aire de répartition des milans, c'est-à-dire 78 éoliennes disposées comme suit :

Table 13 : Résumé chiffré du scénario éolien 1b

Densité (/40km ²)	Éoliennes ancienne génération	Éoliennes nouvelle génération	Total éoliennes	% Total	Mortalité
0,25	19	9	28	12	0,33
0,5	40	20	60	25,6	1,43
1	10	5	15	6,4	0,72
1,5	58	29	87	37,2	6,22
3	5	3	8	3,4	1,16
4,5	5	2	7	3	1,49
6	5	3	8	3,4	2,31
10,5	11	5	16	6,8	7,97
11,25	1	1	2	0,8	1,11
14	2	1	3	1,3	2
Total	156	78	234	100	24,73

Pour ce scénario, la mortalité est calculée de la même manière que pour le scénario 1a, cependant, pour les éoliennes remplacées, la mortalité est multipliée par un facteur 1,25 pour considérer l'augmentation du risque induit par l'augmentation de la taille des rotors [29] (voir tableau en annexe 3). La mortalité calculée pour ce scénario avec la population 2024 est de 25 milans morts par an (un taux de mortalité de **1,27%**).

Scénario 2a :

L'objectif de production de 6.200 GWh/an d'énergie éolienne est atteint en 2030, puis la croissance se poursuit selon un taux plus faible:

Dans ce scénario, l'hypothèse est que la Wallonie a atteint l'objectif de 6.200 GWh/an en 2030. Cette croissance jusqu'en 2030 est réalisée d'une part par le repowering des éoliennes existantes de plus de 20 ans, et d'autre part par la construction de 215 nouvelles éoliennes de nouvelle génération (hauteur totale 200-230 m, bas de pale moyen 35 m). Après 2030, il est hypothétisé une croissance plus lente de 5 éoliennes par an ($24 * 5 = 120$ éoliennes). Au total, entre 2024 et 2054, le parc éolien wallon s'accroît de 335 éoliennes de nouvelle génération ; ce qui donne un total de 931 éoliennes en 2054.

Pour le calcul de mortalité, le facteur 1,25 n'est appliqué que sur les éoliennes du repowering (au sens large = les éoliennes de nouvelle génération). La mortalité calculée pour ce scénario avec la population 2024 est de 41 milans morts par an (un taux de mortalité de **2,1 %**).

Dans ce scénario, l'augmentation des éoliennes se produit de la même manière sur l'ensemble de la Wallonie. Aucune restriction spécifique n'est imposée dans l'aire de répartition du milan royal. Si on reprend les pourcentages précédents, les nouvelles éoliennes par rapport au scénario 1b vont être réparties comme suit :

Table 14 : Résumé chiffré du scénario éolien 2a

Densité (/40km ²)	Eoliennes ancienne génération	Eoliennes nouvelle génération	Total éoliennes	% Total	Mortalité
0,25	19	25	44	12	0,55
0,5	40	54	94	25,6	2,36
1	10	13	23	6,4	1,16
1,5	58	78	136	37,2	10,26
3	5	7	12	3,4	1,82
4,5	5	6	11	3	2,48
6	5	7	12	3,4	3,63
10,5	11	14	25	6,8	13,17
11,25	1	2	3	0,8	1,73
14	2	3	5	1,3	3,54
Total	156	209	365	100	40,70

Scénario 2b :

Même scénario que 2a, mais en évitant la construction de nouvelles d'éoliennes dans les zones à haute densité de milans.

Pour ce scénario, l'évolution du nombre d'éoliennes à l'échelle de la Wallonie est la même que dans le scénario 2a, mais leur répartition change pour prendre en compte l'impact potentiel de l'éolien sur le milan royal. Il a été décidé de positionner ~80% des nouvelles éoliennes qui seront dans l'aire de répartition du milan (calculé dans le scénario 2a), dans les zones de faible densité (0,25 à 0,5 territoires par 40 km²) et ~20% dans les zones de plus forte densité.

Table 15 : Résumé chiffré du scénario éolien 2b.

Densité (/40km ²)	Eoliennes ancienne génération	Eoliennes nouvelle génération	Total éoliennes	% Total	Mortalité
0,25	19	62	81	12	1,06
0,5	40	70	110	25,6	2,81
1	10	12	22	6,4	1,1
1,5	58	36	94	37,2	6,8
3	5	10	15	3,4	2,31
4,5	5	9	14	3	3,22
6	5	3	8	3,4	2,31
10,5	11	5	16	6,8	7,97
11,25	1	1	2	0,8	1,11
14	2	1	3	1,3	2
Total	156	209	365	100	30,69

La mortalité calculée pour ce scénario avec la population 2024 est de 31 milans morts par an (taux de mortalité de **1,60%**).

Scénario 3a :

L'objectif RepowerEU de production de 6.200 GWh/an d'énergie éolienne est atteint en 2030, puis la croissance se poursuit selon un taux élevé.

Dans ce scénario, un hypothétique objectif de 10.000 GWh/an d'énergie éolienne en 2050 a été fixé. Nous considérons un total de 1.108 éoliennes en 2054 avec 711 éoliennes de nouvelle génération (repowerings et nouvelles implantations) et 397 éoliennes d'ancienne génération actuellement en place. Les nouvelles éoliennes sont donc réparties sans tenir compte de la présence ou non de milans royaux.

Au total, il y a donc 512 nouvelles éoliennes depuis le scénario 1b. Si on reprend les mêmes pourcentages de localisation d'éoliennes, on va avoir 39% de ces nouvelles éoliennes dans l'aire de répartition du milan = 200, disposées comme suit :

Table 16 : Résumé chiffré du scénario éolien 3a.

Densité (/40km ²)	Eoliennes ancienne génération	Eoliennes nouvelle génération	Total éoliennes	% Total	Mortalité
0,25	19	33	52	12	0,66
0,5	40	71	111	25,6	2,83
1	10	18	28	6,4	1,43
1,5	58	103	161	37,2	12,33
3	5	10	15	3,4	2,31
4,5	5	8	13	3	2,97
6	5	10	15	3,4	4,62
10,5	11	18	29	6,8	15,48
11,25	1	3	4	0,8	2,35
14	2	4	6	1,3	4,31
Total	156	278	434	100	49,29

La mortalité calculée pour ce scénario avec la population 2024 est de 50 milans morts par an (un taux de mortalité de **2,53%**).

Scénario 3b :

Même scénario que 3a mais en évitant la construction de nouvelles d'éoliennes dans les zones à haute densité de milans.

Pour ce dernier scénario, avec le même nombre de nouvelles éoliennes que pour le scénario 3a (200), il a été décidé de mettre 80% de ces nouvelles éoliennes qui seront dans l'aire de répartition du milan (160), dans les rectangles de densité 0,25, 0,5 et 1 territoire/40 km²:

Table 17 : Résumé chiffré du scénario éolien 3b

Densité (/40 km ²)	Eoliennes ancienne génération	Eoliennes nouvelle génération	Total éoliennes	% Total	Mortalité
0,25	19	89	108	12	1,43
0,5	40	100	140	25,6	3,63
1	10	15	25	6,4	1,27
1,5	58	39	97	37,2	7,05
3	5	13	18	3,4	2,81
4,5	5	12	17	3	3,96
6	5	3	8	3,4	2,31
10,5	11	5	16	6,8	7,97
11,25	1	1	2	0,8	1,11
14	2	1	3	1,3	2
Total	156	278	434	100	33,53

La mortalité calculée pour ce scénario avec la population 2024 est de 34 milans morts par an (un taux de mortalité de **1,72%**).

Le tableau récapitulatif de tous ces scénarios est visible en annexe (annexe 3).

7.4 Analyses de viabilité de la population

7.4.1 Échelles spatiales et temporelles

Nous avons réalisé des analyses de viabilité de population (Population Viability Analysis, PVA) pour le milan royal sur l'ensemble du territoire wallon. Nous avons réalisé des projections sur une période de 30 ans, soit entre 2024 et 2054. Afin de faire ces projections statistiques, il a été décidé d'utiliser le logiciel EolPop du Projet Mape [33], qui utilise un modèle spécifiquement conçu pour calculer l'impact démographique des collisions d'oiseaux dans les parcs éoliens. Ce logiciel utilise des informations telles que la population et le taux de croissance actuelle, la capacité de charge de l'espèce sur le territoire, ainsi que des paramètres de structures d'âge et de démographie propres à l'espèce, et un taux de mortalité induit par les éoliennes. Il calcule alors l'impact de la mortalité des éoliennes sur la population, ainsi que des projections de trajectoires démographiques pour cette population.

Vu l'incertitude sur les estimations de ces différents paramètres, nous avons décidé de réaliser les analyses sur quatre combinaisons de taux de croissance et capacité de charge et correspondant aux quatre modèles décrits dans la section 5.1. Pour chacun de ces modèles, nous avons réalisé deux analyses. La première a été réalisée avec les six taux de mortalités correspondant aux différents scénarios de développement éolien défini dans la section 7.3 en utilisant l'option “multiples scénarios”. Ensuite, une analyse “extra-prudente” avec ces mêmes mortalités rehaussées de 50% a été réalisée. Les scénarios ne permettent pas une évolution progressive des éoliennes au cours du temps. Ces éoliennes sont ajoutées toutes en même temps à partir de 2024 et ce nombre ne varie pas jusqu'en 2054, date de fin de simulation. Ceci renforce la prudence de nos estimations puisque la mortalité est maximale dès le début.

Les taux de croissance insérés dans les projections correspondent aux taux de croissance tels qu'estimés sans impact éolien (voir Table 10). Les taux de croissance estimés pour 2024 avec

mortalité éolienne dans les section 3 et 5.1 correspondent donc à la différence entre les taux de croissance sans mortalité éolienne, insérés dans EolPop, et la mortalité du scénario 1a (exemple pour le modèle 1, taux de croissance estimé 3,1% + mortalité éoliennes 1,1% = taux de croissance sans éolienne de 4,2%). Nous avons utilisé les mortalités sous forme d'un taux de mortalité fixe, et non sous forme d'une mortalité fixe en valeur absolue, considérant que la mortalité par les éoliennes était corrélée à la population totale (plus la population augmente, plus la mortalité augmente). Il s'agit de l'option la plus réaliste dans la plupart des cas (Chambert, communication personnelle). La taille de la population a été indiquée en termes de nombre de couples. Toutes les simulations ont été faites pour une population entre 525 et 600 couples reproducteurs, correspondant aux estimations d'AVES. Un nombre de 50 simulations a été choisi pour chaque analyse. Une fourchette de taux de croissance a été incorporée dans le modèle (Table 18).

Les valeurs utilisées dans les différentes analyses sont reprises ci-dessous :

Table 18 : Valeurs considérées pour chaque modèle de croissance de population.

	Taux croissance	Capacité de charge (couples)
Modèle 1	3,7-4,2%	615
Modèle 2	5,2-5,6%	780
Modèle 3	6,6-6,8%	2.020
Modèle 4	6,6-6,8%	3.340

Table 19 : Valeurs de mortalité considérées pour chaque scénario de développement éolien.

Scénario	Taux de mortalité dû aux éoliennes (scénarios principaux)	Taux de mortalité dû aux éoliennes (scénarios "extra-prudents")
Scénario 0	0%	0%
Scénario 1a	1,17%	1,76%
Scénario 1b	1,27%	1,91%
Scénario 2a	2,1%	3,15%
Scénario 2b	1,6%	2,4%
Scénario 3a	2,53%	3,8%
Scénario 3b	1,72%	2,58%

7.4.2 Résultats

Tout d'abord, nous présentons les résultats d'EolPop concernant l'impact relatif des éoliennes sur la population de milans royaux au cours du temps (2024-2054), qui correspond à la différence relative (en %) de population entre le scénario de mortalité considéré et un scénario sans mortalité due aux éoliennes (Figure 26).

Ensuite, nous présentons les trajectoires démographiques de la population de milans royaux (en nombre de couples) au cours du temps (2024-2054). Ces trajectoires sont présentées de manière graphique à titre informatif mais ne représentent en aucun cas l'évolution future précise de la population, de très nombreux autres facteurs rentrant en jeu et étant imprévisibles (Figure 27). Chacun des graphiques affiche les six différents scénarios de développement

éolien (1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b) avec, en plus, un scénario 0 qui représente une situation s'il n'y avait aucune collision.

Evolution de l'impact relatif au cours du temps (2024-2054)

Nous pouvons observer que l'impact des éoliennes sur la population dépend fortement du modèle considéré en termes de taux de croissance et surtout de capacité de charge. Dans le modèle 1, où nous sommes proches de la capacité de charge, les éoliennes ont un impact assez faible (moins de 5% en 2054 pour l'ensemble des scénarios) car la population atteint la capacité de charge et ne peut plus augmenter.

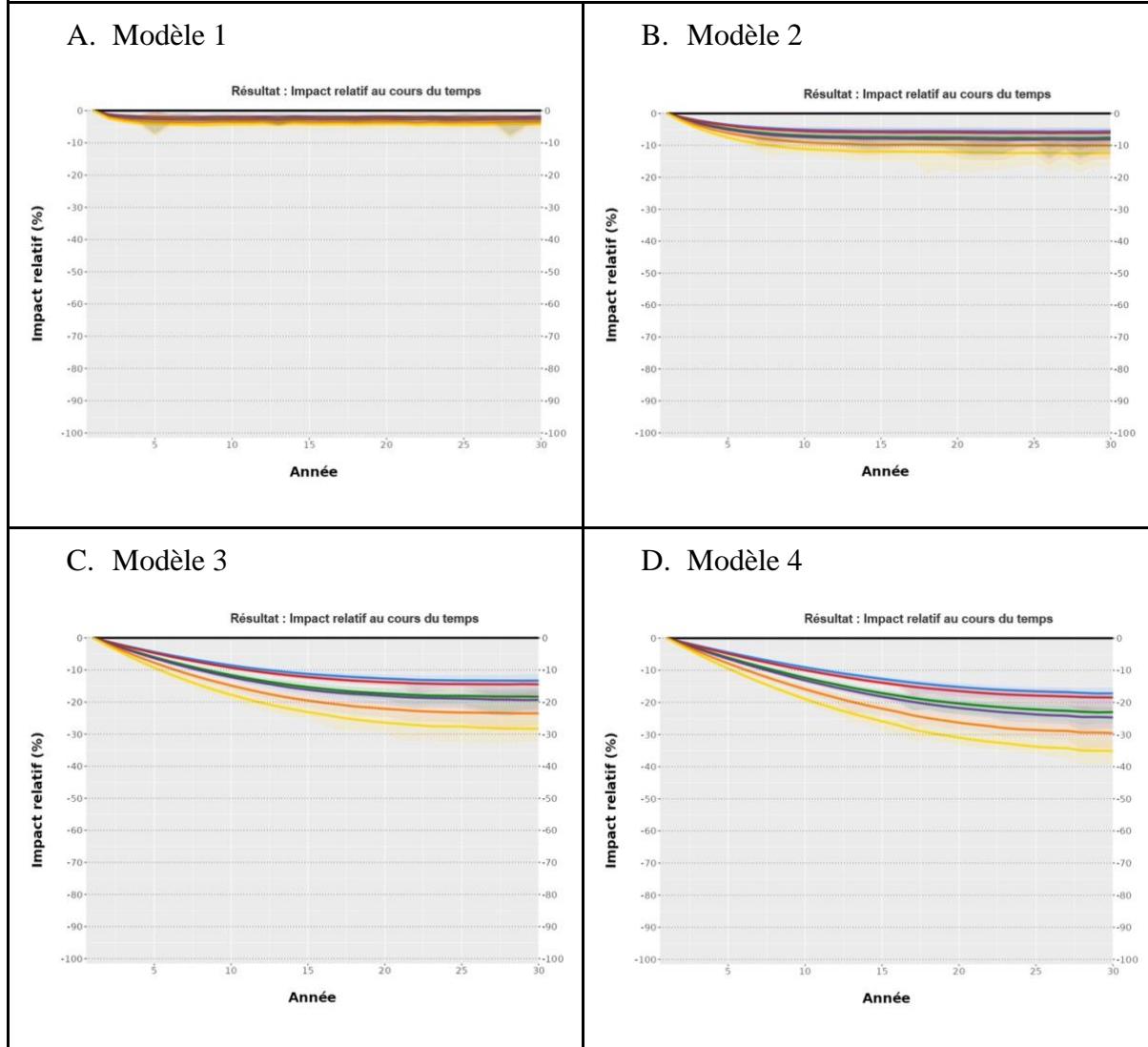


Figure 26 : Impact relatif de la mortalité par les éoliennes sur la population de milans royaux en Wallonie pour les modèles 1 à 4 (Figures 26A-D respectivement). Code couleur : **scénario 0** (sans collision), **scénario 1a**, **scénario 1b**, **scénario 2a**, **scénario 2b**, **scénario 3a**, **scénario 3b**.

Dans les trois autres modèles où la population de milans peut encore augmenter significativement, l'impact relatif à 30 ans du scénario 1a (pas de changements par rapport à la situation actuelle) varie entre 5 et 18% par rapport à un scénario sans éoliennes, et l'impact relatif à 30 ans du scénario 3a (mortalité maximale parmi nos scénarios) varie entre 15 et 35% par rapport à un scénario sans éoliennes. La différence entre l'impact du scénario 3a (maximal) et le scénario 1a (nombre d'éoliennes actuel) varie entre 7 et 18% selon les modèles.

Trajectoires démographiques selon chaque scénario

Les trajectoires démographiques comprennent un scénario de référence sans collision (scénario 0) qui n'est donc pas un scénario réaliste. Ces trajectoires montrent l'évolution prédictive de la taille de population (en nombre de couples reproducteurs) au cours du temps (2024-2054).

A nouveau, l'évolution de la population de milans royaux dépend fortement du modèle, et en particulier de la capacité de charge maximale du territoire. Dans les modèles 1 et 2, la capacité de charge est atteinte assez rapidement pour le scénario sans éoliennes, alors que dans les modèles 3 et 4, la capacité de charge n'est pas encore atteinte en 2054.

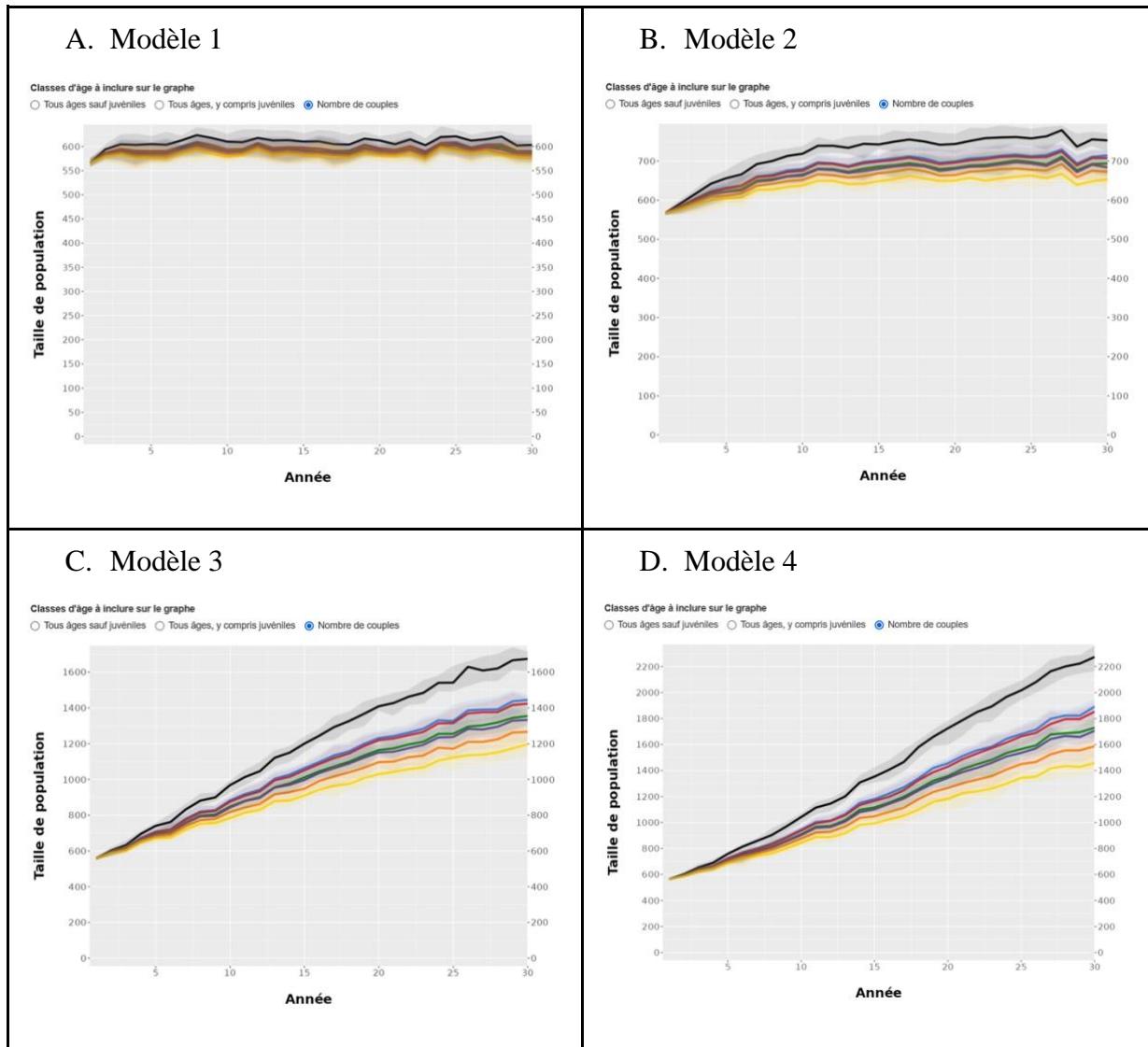


Figure 27 : Trajectoires démographiques de la population de milans royaux en nombre de couples en Wallonie pour les modèles 1 à 4 (Figures 27A-D respectivement). Code couleur : **scénario 0** (sans collision), **scénario 1a**, **scénario 1b**, **scénario 2a**, **scénario 2b**, **scénario 3a**, **scénario 3b**.

Dans les modèles 1 et 2, la population de milans royaux se stabiliseraient assez rapidement, avec un nombre de couples légèrement inférieur à la capacité de charge, et dépendant de l'ampleur du scénario de développement éolien. Dans le modèle 2, la population se stabiliseraient vers 700 couples dans les scénarios 1a et 1b (mortalités minimales), et vers 650 couples dans le scénario 3a (mortalité maximale). Dans les modèles 3 et 4 à capacité de charge plus élevée, la population continuerait à augmenter jusqu'en 2054 dans l'ensemble des scénarios de développement éolien, mais à un rythme différent. Par exemple, dans le modèle 3, on arriverait à environ 1.400 couples dans les scénarios 1a et 1b; et à environ 1.200 couples avec le scénario 3a, soit une différence de 200 couples, ou de 400 couples par rapport à une situation sans mortalité éolienne

vers 1.600 couples. On aurait donc une différence d'environ 200 couples dans la population totale à l'horizon 2054 selon qu'on construise l'ensemble des éoliennes prévues dans le scénario 3a ou que l'on n'en construise aucune supplémentaire.

La mortalité éolienne a donc un impact sur l'évolution de la population, mais l'évolution de la population reste positive (ou stable dans les cas où la capacité de charge est atteinte) à l'horizon 2054 dans l'ensemble des modèles et des scénarios de développement éolien. Il y a donc une évolution positive de la population de milans royaux malgré la mortalité éolienne, et la population de milans royaux en Wallonie n'apparaît menacée dans aucun des scénarios. Cependant, l'ampleur du développement éolien influencera le rythme d'évolution de la population, et la taille de la population au moment où celle-ci se stabilisera.

Il convient aussi de faire la différence entre l'évolution démographique et la mortalité occasionnée. En effet, la mortalité actuelle est évaluée à 20-21 milans par an, et dans nos modèles intermédiaires elle pourrait atteindre en 2054 dans le scénario maximal de développement éolien (scénario 3a, 2,53% de mortalité), 56 milans tués (modèle 2, 2,53% d'une population de 650 couples soit environ 2.230 animaux) à 104 milans tués (modèle 3, 2,53% d'une population de 1.200 couples soit environ 4.115 animaux). La population serait également plus importante si les éoliennes n'étaient pas présentes. Même si l'évolution de la population reste positive, les scénarios maximalistes de développement éolien limiteront l'expansion de la population à moyen terme et occasionneront la mort de plusieurs dizaines de milans royaux supplémentaires chaque année. Les résultats des modèles suggèrent que la population pourrait être 15% (modèle 2) à 42% moins élevée (modèle 3) avec le scénario maximal éolien (scénario 3a), par rapport à un scénario sans éoliennes (scénario 0, Figure 27B-C), et 8% (modèle 2) à 20% (modèle 3) moins élevée par rapport à un scénario où on garderait le même nombre d'éoliennes qu'actuellement (sans repowering, scénario 1a).

Scénarios “extra-prudents”

Les analyses ont également été effectuées sur les six scénarios de développement éolien dont les mortalités ont été augmentées de 50%.

Dans nos scénarios “extra-prudents” où la mortalité a été augmentée de 50%, nous observons de façon attendue un impact relatif sur la population augmenté de 50% (Figure 28). Cependant, même dans ces scénarios où la mortalité a été augmentée de 50%, l'évolution de la population à l'horizon 2054 reste positive (Figure 29C-D, modèles 3 et 4 avec une capacité de charge qui est loin d'être atteinte) ou stable (Figure 29A-B modèles 1 et 2 où on se rapproche de la capacité de charge, Figure 29A-B) dans l'ensemble des scénarios de développement éolien considérés. Ceci peut être lié au fait que la mortalité maximale (3,18% dans le scénario 3a, version extra-prudente) est toujours inférieure au taux de croissance de départ (3,7-4,2% dans le modèle 1).

Il nous semble que nous avons fait preuve d'une grande prudence dans le choix de nos paramètres à plusieurs niveaux :

- Taux de mortalité par éolienne élevé par rapport à d'autres études, voir section 4.2.4.
- Taux de croissance pris comme le minimum de la période 2016-2024 plutôt que comme une moyenne de la période, voir section 5.1
- Mortalité maximale des différents scénarios mis en place dès 2025 plutôt que progressivement sur la période 2025-2054, voir section 7.4.1
- Scénarios supplémentaires avec une mortalité augmentée de 50%, voir section 7.4.1

Malgré cela, aucun des scénarios de développement éolien étudié ne résulte en une baisse de la population du milan royal en Wallonie, même dans les scénarios où la mortalité a été augmentée de 50%. Nous pouvons donc être confiants quant au fait que le développement éolien, dans la limite des scénarios imaginés actuellement par le secteur, ne menace pas la population de milans royaux à moyen terme. Il aura toutefois un impact sur le nombre

d'animaux tués (plusieurs dizaines de milans par an selon les scénarios), et sur la taille totale de la population.

Ceci n'est bien sûr valable que si les taux de croissance continuent de suivre la même trajectoire et que de nouveaux facteurs de mortalité ne viennent pas s'ajouter, remettant alors en cause la survie de l'espèce.

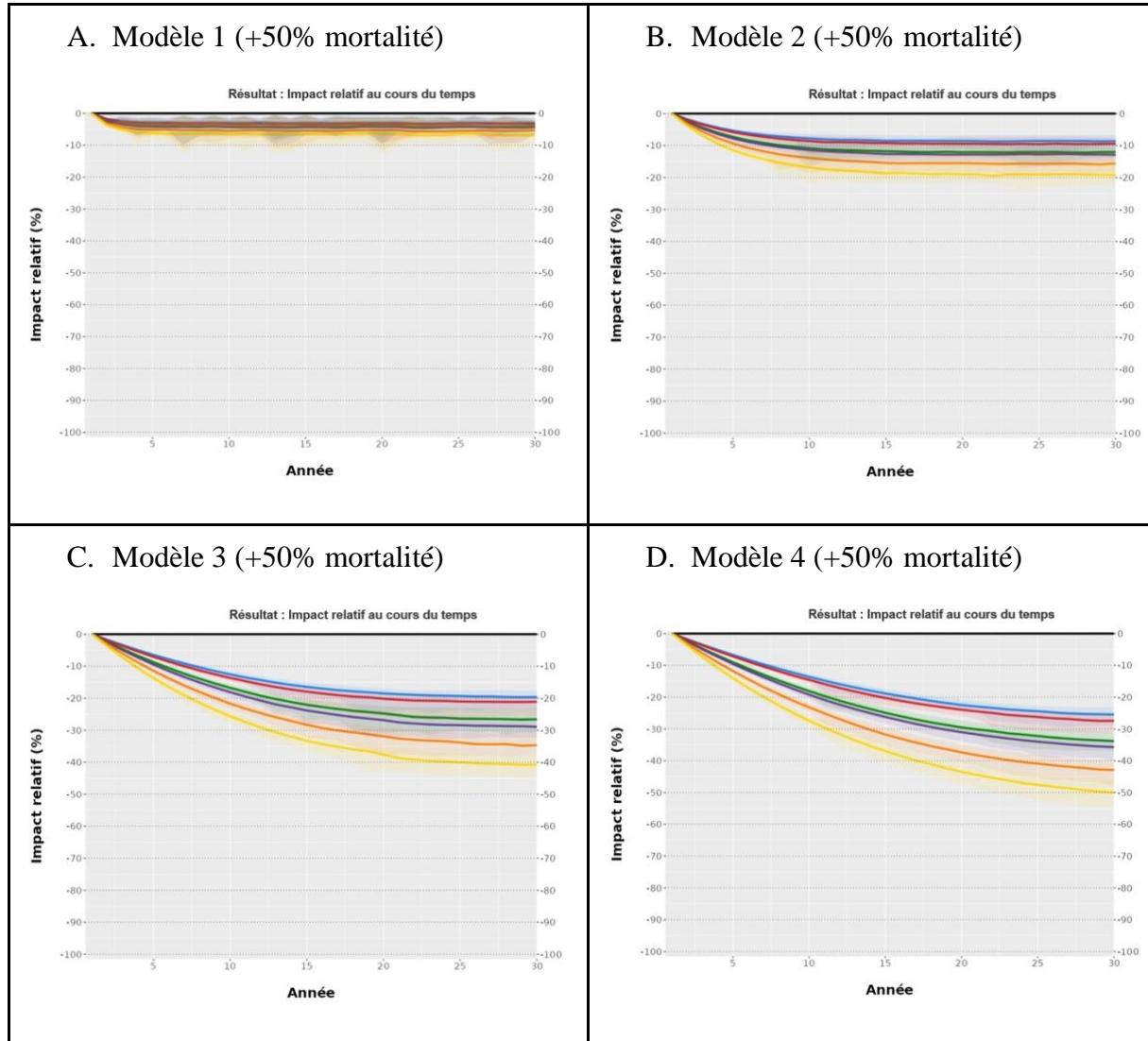
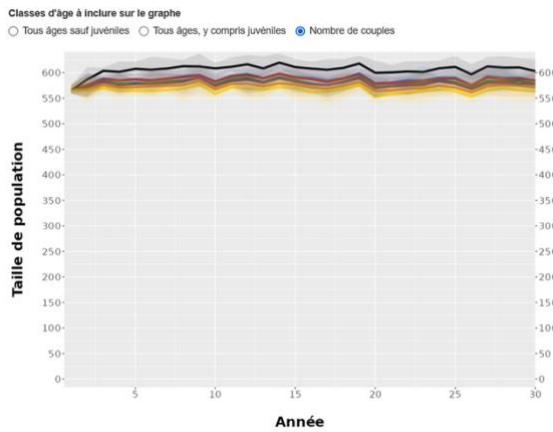
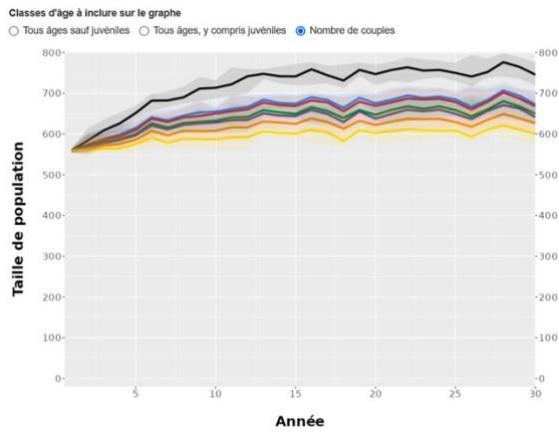


Figure 28 : Impact relatif de la mortalité par les éoliennes sur la population de milans royaux en Wallonie pour les modèles 1 à 4 avec +50% de mortalité additionnelle (Figures 28A-D respectivement). Code couleur : **scénario 0** (sans collision), **scénario 1a**, **scénario 1b**, **scénario 2a**, **scénario 2b**, **scénario 3a**, **scénario 3b**.

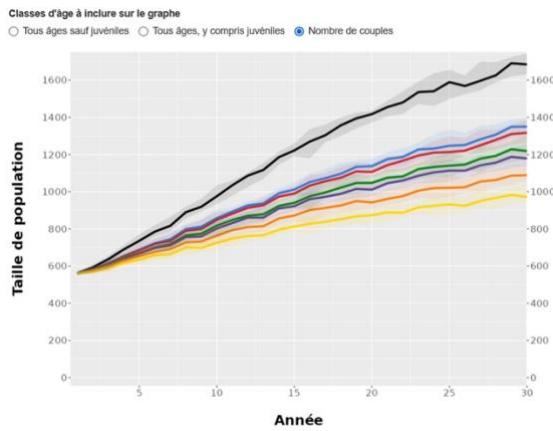
A. Modèle 1 (+50% mortalité)



B. Modèle 2 (+50% mortalité)



C. Modèle 3 (+50% mortalité)



D. Modèle 4 (+50% mortalité)

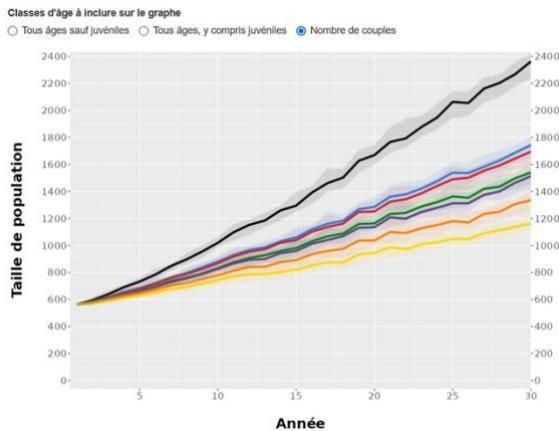


Figure 29 : Trajectoires démographiques de la population de milans royaux en Wallonie. Pour les modèles 1 à 4 avec +50% de mortalité additionnelle (Figures 29A-D respectivement). Code couleur : **scénario 0** (sans collision), **scénario 1a**, **scénario 1b**, **scénario 2a**, **scénario 2b**, **scénario 3a**, **scénario 3b**.

8. Conclusion

Les différents éléments réunis lors de cette étude tendent à démontrer l'absence d'impact des collisions avec les éoliennes sur l'évolution positive de la population de milan royal en Wallonie dans les conditions actuelles d'habitat et sans modification des autres facteurs influant le taux de croissance de l'espèce, bien qu'elles causent un ralentissement de cette augmentation. En effet, le peu de cadavres trouvés sur un an en prospectant deux parcs éoliens (un cadavre par parc), les modélisations basées sur ces résultats et sur les données démographiques, ainsi que les différents avis d'experts suggèrent que la mortalité des milans royaux due aux collisions avec les éoliennes n'impacte pas la tendance générale d'évolution positive de la population wallonne. En particulier, aucune de nos simulations ne montre une diminution de la population des milans royaux dans les trente années à venir. Il semble que la mortalité due aux éoliennes (estimée à 1,1% de la population par an) ne soit pas suffisante pour contrebalancer la dynamique positive de la population, selon nos simulations. Il convient toutefois de noter que notre étude se penche uniquement sur l'effet des parcs éoliens sur l'espèce via la mortalité due aux collisions. D'autres effets des parcs éoliens sont possibles. Par exemple, la productivité des couples nicheurs pourrait être moindre à proximité des éoliennes dans le cas où un des adultes d'un couple est tué par une éolienne durant la période critique de couvaison ou de nourrissage des jeunes (S. Van Rijn, comm. pers.).

De plus, il faut également nuancer les résultats à la fois du point de vue éthique et du point de vue démographique, car si la mortalité actuelle ne menace pas l'évolution positive de la population, elle résulte tout de même en des mortalités importantes, d'environ 20 milans royaux par an, qui augmenteront encore avec l'augmentation de la population et du nombre d'éoliennes. Cette mortalité a aussi un impact sur la taille de la population actuelle et future. Le débat éthique reste donc bien présent : cette mortalité est-elle acceptable, même si elle ne menace pas la tendance positive de la population ? Tous les experts interviewés insistent sur l'importance du monitoring permanent de l'état de la population, qui peut changer rapidement.

En ce qui concerne les modélisations, il est important de noter que, si l'impact sur la population est limité, cela est dû en bonne partie aux taux de croissance importants actuels. Cependant, si pour des raisons telles que des modifications de l'aménagement du territoire, de nouvelles causes de mortalité du milan etc., les taux de croissance diminuaient, la mortalité éolienne pourrait devenir un problème en représentant une cause de mortalité supplémentaire combinée à d'autres facteurs. L'espèce se porte bien en Wallonie (triplement de la population en 20 ans), et cela est dû au moins en partie à l'évolution des pratiques agricoles en Ardenne. Les taux de croissance élevés actuels semblent liés à la présence de prairies intensives fréquemment fauchées qui fournissent une ressource alimentaire importante en micromammifères, combinée à une abondance de certaines espèces proies comme les jeunes turdidés [4]. Les pratiques agricoles semblent peu amenées à changer dans un futur proche, et le milan royal devrait donc continuer à bien se porter dans son aire de répartition actuelle. A long terme, une érosion des pratiques agricoles, avec la disparition des prairies remplacées par des espaces urbanisés ou des forêts, ou une intensification des pratiques (intensification supplémentaire avec transformation des prairies en culture de maïs par exemple), ou encore une diminution des populations de proies (diminution des turdidés déjà observée ces dernières années, Jean-Yves Paquet comm. pers. ; [34]) pourraient constituer des menaces sur la dynamique de l'espèce.

Il est en revanche particulièrement difficile de prévoir si le milan royal pourra s'adapter à d'autres types de milieux, tels que les milieux de grande culture, où la buse variable a pu se développer. De cette adaptation ou non dépendra l'étendue de son aire de répartition future en Wallonie, et donc la capacité de charge globale, qui influence fortement les modèles démographiques.

9. Perspectives et recommandations

Notre étude rappelle que les modèles démographiques sont très sensibles aux valeurs des paramètres considérés, et qu'une grande incertitude demeure sur l'estimation de ces paramètres (population, taux de croissance, mortalité, capacité de charge), même pour une espèce très bien étudiée comme le milan royal. Concernant le calcul de la mortalité, deux parcs éoliens ont été prospectés durant cette étude, et cinq autres lors d'études antérieures ou en cours. Pour avoir une vision plus précise, une prospection d'un plus grand nombre de parcs éoliens, situés dans une plus large gamme de densités de couples nicheurs, pourrait être utile. Nous recommandons donc de compléter l'acquisition de données par la prospection de parcs supplémentaires. Cependant, cette activité est très chronophage.

Il apparaît également essentiel de poursuivre le monitoring de la population du milan royal, c'est-à-dire continuer à estimer, à intervalles réguliers, la taille de la population, les taux de croissance, mais aussi la productivité (nombre moyen de jeunes à l'envol par couple nicheur). Ce dernier paramètre est très important car en cas d'atteinte de la capacité de charge, lui seul permettra d'évaluer si la population est probablement encore en croissance (c'est-à-dire que la Wallonie représente une source d'individus pour les régions voisines) ou stagne voire régresse. Ces monitorings devraient être étendus à la buse variable et au faucon crécerelle, deux espèces elles aussi fréquemment retrouvées sous les éoliennes. Vu la taille considérable des populations wallonnes de ces trois espèces de rapaces, un monitoring de la population totale par transects, à l'instar de ce qui se fait en Bourgogne ou en Grande Bretagne, pourrait s'avérer plus efficient qu'un inventaire exhaustif des territoires. Mieux connaître localement la répartition de la population au sein de la Wallonie permettra aussi d'affiner les modèles en fonction de la densité de rapaces sur les emplacements de parcs éoliens actuels et futurs.

Pour éviter que les taux de mortalité par les éoliennes n'augmentent, nous recommandons de continuer à minimiser l'impact des éoliennes en évitant autant que possible les sites les plus problématiques (respecter une distance d'1 km entre une éolienne et le nid de milan le plus proche et tenir compte des sites de nourrissage et de la configuration du paysage [16]) et en atténuant si besoin le risque de collision par des mesures adaptées, en particulier les systèmes détection/bridge avifaune (SDA). Ces systèmes détectent automatiquement l'arrivée de rapaces à proximité des éoliennes à l'aide de caméras et déclenchent un arrêt ou un ralentissement temporaire des rotors.

L'amélioration dans le futur de l'efficacité des SDA, et le fait que les repowerings des vieux parcs éoliens pourraient être des opportunités pour installer ces systèmes sur les parcs les plus impactants pourrait même diminuer la mortalité par éolienne et atténuer l'impact de l'éolien sur la population wallonne du milan royal dans les décennies à venir. Ce changement est déjà en cours actuellement. En effet, les parcs éoliens les plus anciens (15-20 ans) n'ont fait l'objet d'aucune mesure d'évitement ni d'atténuation en faveur du milan royal, parfois simplement parce que l'espèce n'était pas nicheuse sur ces sites au moment de l'évaluation des projets. C'est notamment le cas de tous les parcs actuellement en exploitation en Ardenne orientale. Depuis lors, les études d'incidences sur l'environnement ont mis en avant des mesures adaptées, si bien que les projets développés depuis un peu moins de 10 ans (dont les permis ont été délivrés ou refusés depuis environ 5 ans) font l'objet de ces mesures. Les parcs autorisés dans l'aire de nidification wallonne du milan royal depuis environ 5 ans devraient donc théoriquement avoir un impact moindre.

Même si les résultats de cette étude sont rassurants, le principe de gestion adaptative des mesures d'atténuation pourrait être envisagé au vu de l'incertitude qui demeure sur le taux de croissance futur de la population nicheuse du milan royal en Wallonie. Plutôt que d'imposer dans certains permis éoliens des conditions d'exploitation fixes (comme des bridages avec des paramètres fixes pour réduire les cas de collision), on pourrait prévoir une certaine flexibilité

dans les systèmes d'atténuation, pour tenir compte d'une éventuelle chute de la population non prédictive à ce stade. Concrètement, suivant un principe de précaution, il pourrait être envisagé d'installer systématiquement des systèmes de détection/bridage avifaune dans les zones de forte densité de milan, là où les cas de collision sont les plus probables. Les distances de réaction, c'est-à-dire les distances en deçà desquelles un signal d'arrêt (ou d'avertissement sonore/lumineux) est envoyé par le système à l'éolienne (paramètre qui influence le niveau de l'atténuation et l'importance des pertes de production) pourraient être ajustées au cours du temps suite à des recommandations d'un comité d'experts. La définition de ces distances de réaction dépasse l'objectif de cette étude, mais on pourrait imaginer de la doubler (par exemple passer de 200 à 400 m) si la population commençait à décliner, régionalement ou même localement. Au vu de nos résultats, de telles mesures ne sont pas nécessaires actuellement pour éviter un déclin de l'espèce à court terme si les autres paramètres démographiques restent stables, mais permettraient de réduire l'impact de l'éolien sur le taux de croissance. Ce principe est un vrai changement de paradigme pour les exploitants car il implique que les pertes de production pourraient augmenter à l'avenir. Pour que ce soit applicable pour eux, il sera important que cette augmentation potentielle soit estimée et prévue dans les business plans des nouvelles éoliennes, dès la phase de demande de permis.

Plusieurs questions restent en suspens quant au choix des sites à privilégier pour que le développement éolien en Wallonie ne se fasse pas aux dépens de la biodiversité. Cette étude apporte des éléments nouveaux au sujet du milan royal, mais il nous semble maintenant crucial d'étudier l'impact cumulatif de l'éolien sur des espèces qui se portent moins bien, par exemple en raison de taux de croissance ou de capacités de charge plus faibles (busards, cigognes noires), ou de taux de mortalité par les éoliennes plus importants (chauve-souris).



10. Bibliographie

- [1] J. K. Katzenberger, “Habitat use and population viability of the Red Kite (*Milvus milvus*) in Germany,” Georg-August-University Göttingen, 2021. doi: 10.53846/goediss-8583.
- [2] I. Carter, *The Red Kite*. Arlequin Press, 2007.
- [3] M. E. Orros and M. D. Fellowes, “Supplementary feeding of the reintroduced Red Kite *Milvus milvus* in UK gardens,” *Bird Study*, vol. 61, no. 2, pp. 260–263, 2014.
- [4] M. Bordes, R. Libois, S. Van Rijn, P. Voskamp, and J.-Y. Paquet, “Régime alimentaire du Milan royal *Milvus milvus* dans les cantons de l’Est (Belgique): impact sur la reproduction,” *AVES*, vol. 56, no. 1, 2019.
- [5] B. J. Mattsson *et al.*, “Enhancing monitoring and transboundary collaboration for conserving migratory species under global change: The priority case of the red kite,” *J. Environ. Manage.*, vol. 317, p. 115345, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115345.
- [6] J. Katzenberger, E. Gottschalk, N. Balkenhol, and M. Waltert, “Density-dependent age of first reproduction as a key factor for population dynamics: stable breeding populations mask strong floater declines in a long-lived raptor,” *Anim. Conserv.*, vol. 24, no. 5, Art. no. 5, 2021, doi: 10.1111/acv.12687.
- [7] J. Katzenberger, E. Gottschalk, N. Balkenhol, and M. Waltert, “Long-term decline of juvenile survival in German Red Kites,” *J. Ornithol.*, vol. 160, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10336-018-1619-z.
- [8] J. Knott, P. Newbery, and B. Barov, “Action plan for the red kite *Milvus milvus* in the European Union,” *BirdLife Int. Eur. Union*, 2009.
- [9] “Life-Eurokite EN.” Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.life-eurokite.eu/>
- [10] BirdLife International, “Species factsheet: Red Kite *Milvus milvus*.” 2024. [Online]. Available: <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/red-kite-milvus-milvus>
- [11] T. Pfeiffer and M. Schaub, “Productivity drives the dynamics of a red kite source population that depends on immigration,” *J. Avian Biol.*, vol. 2023, no. 1–2, p. e02984, Jan. 2023, doi: 10.1111/jav.02984.
- [12] A. De Broyer *et al.*, “Développement de l’effectif et de la répartition du Milan royal *Milvus milvus* et du Milan noir *Milvus migrans* en Wallonie,” *Aves*, 2019.
- [13] R. Raab, “Mortality of the red kite in Europe,” presented at the Wingspan 2024, Brussels, Oct. 15, 2024.
- [14] J. Bellebaum, F. Korner-Nievergelt, T. Dürr, and U. Mammen, “Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population,” *J. Nat. Conserv.*, vol. 21, no. 6, Art. no. 6, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.jnc.2013.06.001.
- [15] CSD Ingénieurs, “Etude de mortalité du milan royal (*Milvus milvus*) par les éoliennes dans l’est de la Belgique. Rapport de suivi.” 2020.

- [16] S. Van Rijn and J.-Y. Paquet, “Prise en compte du risque pour l'avifaune du développement des éoliennes en Wallonie : étude de mesures appropriées concernant le Milan royal.” 2015.
- [17] J.-P. Jacob *et al.*, *Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie*. 2010. Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://wwwbabelio.com/livres/Jacob-Atlas-des-oiseaux-nicheurs-de-Wallonie/670275>
- [18] C. L. Hull and S. Muir, “Search areas for monitoring bird and bat carcasses at wind farms using a Monte-Carlo model,” *Australas. J. Environ. Manag.*, vol. 17, no. 2, pp. 77–87, Jun. 2010, doi: 10.1080/14486563.2010.9725253.
- [19] “Litchi for DJI Drones.” Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://flylitchi.com/>
- [20] W. P. Erickson, J. Jeffrey, K. Bay, J. P. Eddy, and K. Kronner, “Stateline Wind Project Wildlife Monitoring Annual Report,” Western EcoSystems Technology Inc., May 2003.
- [21] W. P. Erickson, G. D. Johnson, M. D. Strickland, and K. Kronner, “Avian and Bat Mortality Associated with the Vansycle Wind Project, Umatilla County, Oregon, 1999 Study Year,” Western EcoSystems Technology Inc., Cheyenne, Feb. 2000.
- [22] J. Simonis *et al.*, “GenEst user guide—Software for a generalized estimator of mortality,” U.S. Geological Survey, 7-C19, 2018. doi: 10.3133/tm7C19.
- [23] P. S. Shoenfeld, “Suggestions regarding Avian Mortality Extrapolation”.
- [24] M. M. Huso, N. Som, and L. Ladd, “Fatality Estimator User’s Guide,” U.S. Geological Survey, Data Series, 2018. [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/ds/729/pdf/ds729.pdf>
- [25] G. Péron, J. E. Hines, J. D. Nichols, W. L. Kendall, K. A. Peters, and D. S. Mizrahi, “Estimation of bird and bat mortality at wind-power farms with superpopulation models,” *J. Appl. Ecol.*, vol. 50, no. 4, pp. 902–911, 2013, doi: 10.1111/1365-2664.12100.
- [26] F. Korner-Nievergelt *et al.*, “Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass — a tutorial,” *Wildl. Biol.*, vol. 21, no. 1, p. wlb.00855, 2015, doi: 10.2981/wlb.00094.
- [27] R. L. Wolpert, “ACME: A Partially Periodic Estimator of Avian & Chiropteran Mortality at Wind Turbines,” Jul. 02, 2015, *arXiv*: arXiv:1507.00749. Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1507.00749>
- [28] D. Dalthorp, M. M. Huso, and D. Dail, “Evidence of Absence (v.2.0) Software User Guide,” U.S. Geological Survey, Data Series, 2017. [Online]. Available: <https://pubs.usgs.gov/ds/1055/ds1055.pdf>
- [29] T. Schaub, “Reconciling wind energy development with bird conservation: A comparative study of flight behaviour in raptors to understand and mitigate wind turbine collision risk,” 2024.
- [30] M. Schaub, “Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations,” *Biol. Conserv.*, vol. 155, pp. 111–118, 2012.

- [31] H. F. R. Hereward *et al.*, “Modelling population-level impacts of wind farm collision risk on Welsh Red Kites”.
- [32] G. Biver, “Plan d’action Milan royal,” p. 37, 2013.
- [33] T. Chambert, O. Duriez, M. Deleaux, and A. Besnard, “EolPop, a R-shiny tool for quantifying the demographic impact of species exposed to fatalities: Application to bird collisions with wind turbines,” *J. Environ. Manage.*, vol. 345, p. 118923, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118923.
- [34] A. Derouaux and J.-Y. Paquet, “L’évolution préoccupante des populations d’oiseaux nicheurs en Wallonie: 28 ans de surveillance de l’avifaune commune,” *Aves*, vol. 55, no. 1, pp. 1–31, 2018.

11. État des lieux final du projet

11.1 Les objectifs du projet qui ont été atteints et dans quelle mesure

Globalement, l'ensemble des objectifs du projet ont été atteints.

11.2 Les objectifs qui n'ont pas pu être atteints et ce qui aurait manqué pour les atteindre

N/A

11.3 Les difficultés et blocages rencontrés durant le projet

Un des blocages principaux pour obtenir des résultats fiables est l'incertitude quant aux données (population, taux de croissance, capacité de charge...). Il s'agit pourtant d'une espèce bien étudiée, mais des chiffres précis sont extrêmement difficiles à estimer. Ces chiffres influençant fortement les modèles, l'incertitude reste grande.

Cependant, nous avons suivi une approche très prudente, en essayant de toujours sélectionner des valeurs conservatrices pour les paramètres, préférant surestimer l'impact éolien plutôt que de le sous-estimer. Malgré cela, aucun scénario de développement éolien ne semble menacer la survie de l'espèce ou même la croissance de la population à moyen terme.

Un autre blocage concerne la difficulté d'obtenir des données chez les acteurs qui en disposent, pour des raisons pratiques (difficulté de rentrer en contact), ou humaines (refus de certaines personnes de collaborer avec d'autres, méfiance vis à vis de notre projet).

Enfin, un dernier blocage est la difficulté d'entrer en contact avec certains acteurs tout court. De nombreuses demandes d'entretien sont restées sans réponse, ou ont essuyé un refus.

11.4 Les perspectives à la clôture du projet

Il apparaît urgent de réaliser le même type d'études sur des espèces avec des taux de croissance moins élevés (comme les cigognes noires et les busards), et surtout sur les chauves-souris, groupe pour lequel l'éolien semble être une menace bien plus significative que pour les oiseaux (lire à ce sujet Voigt et al. 2023). Cependant, les données précises sur ces différents paramètres sont sans doute encore plus compliquées à obtenir que pour le milan royal qui est bien étudié par rapport à la plupart des autres espèces. Pour les chauves-souris, une étape préliminaire essentielle consiste donc à mieux estimer la taille des populations ainsi que les tendances démographiques des différentes espèces, à l'échelle wallonne et européenne. Une analyse plus détaillée des perspectives à la clôture du projet est par ailleurs disponible dans les sections 8 – Conclusions et 9 – Perspectives et recommandations de la présente étude.

11.5 Votre retour d'expérience sur le fonctionnement par appel à projet.

Nous avons apprécié le fonctionnement par appel à projets qui permet de proposer des projets sur mesure correspondant aux envies et compétences des partenaires. Nous avons aussi apprécié la possibilité de collaborer entre partenaires universitaires, associatifs et du privé sur un sujet transversal.

12. Annexes

- Annexe 1 : Restes retrouvés
- Annexe 2 : Détails sur le test de persistance de cadavres
- Annexe 3 : Tableau de la mortalité par année

Annexe 1 : Restes retrouvés



05/04/2023 : *Columbidae*. Halconreux à ± 40m du mat de l'éolienne 2.



05/04/2023 : *Motacilla alba*. Halconreux à ± 40m du mat de l'éolienne 3.



14/04/2023 : *Falco tinnunculus*. Bütgenbach à ± 40m du mat de l'éolienne 2.



14/04/2023 : *Cyanistes caeruleus*. Bütgenbach à ± 40m du mat de l'éolienne 1.



14/04/2023 : *Buteo buteo*. Bütgenbach à ± 50m du mat de l'éolienne 4.



25/05/2023 : Juvénile non identifié. Halconreux à ± 40m du mat de l'éolienne 2.



02/06/2023 : *Buteo buteo*. Bütgenbach à ± 50m du mat de l'éolienne 2.



14/06/2023 : Oiseau non-identifié. Halconreux à ± 160m du mat de l'éolienne 3.



20/06/2023 : *Corvidae* juvénile. Halconreux à ± 45m du mat de l'éolienne 3.



28/06/2023 : *Corvus corone*. Halconreux à ± 65m du mat de l'éolienne 2.



03/07/2023 : *Milvus milvus*. Bütgenbach à ± 250m du mat de l'éolienne 4.



04/07/2023 : *Milvus milvus*. Halconreux à ± 50m du mat de l'éolienne 1.



26/09/2023 : Oiseau non-identifié. Bütgenbach à ± 75m du mat de l'éolienne 3.

Annexe 2 : Détails sur le test de persistance de cadavres

Bütgenbach

Le cadavre n°1, un busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*) qui a été placé juste à côté d'un poteau de clôture dans le coin nord-ouest de la prairie, a été observé pendant toute la durée du test. Ses restes étaient décomposés mais toujours reconnaissables et accompagnés de beaucoup de plumes. Depuis le début du test, celui-ci a très peu bougé mais a visiblement été entamé par quelques charognards :

Date	Heure	Prédateur	Observation
14/08/2023	23h20	??? (Chat/renard ?)	Vu près du cadavre
18/08/2023	07h49	Corneille noire	Vue près du cadavre
18/08/2023	12h28	Corneille noire	Vue près du cadavre
19/08/2023	00h13	??? (chat ?)	Vu près du cadavre
20/08/2023	09h08	Corneille noire	Vue près du cadavre
22/08/2023	20h23	Corneille noire	Vue près du cadavre
03/09/2023	19h33	Chat	Vu près du cadavre
06/09/2023	08h30	Buse variable	Juste à côté du cadavre
06/09/2023	20h06	Corneille noire	Vu près du cadavre
09/09/2023	06h26	Renard	Entame le cadavre
12/09/2023	04h37	Renard	Vu près du cadavre
17/09/2023	06h37	Renard	Vu près du cadavre

Le cadavre n°2, une buse variable (*Buteo buteo*) avait été placé devant un poteau de clôture, sur le côté sud-est de la prairie. Cette prairie devait être non exploitée pendant toute la durée du test, mais malgré cela, l'agriculteur est venu faucher au moins deux fois. La première fois (le 20/08/2023), le cadavre a été retrouvé, déplacé, après le passage des machines, mais la seconde fois, le 16/09/2023, celui-ci n'a plus été observé. Plusieurs preuves photographiques ont permis d'observer les différents prédateurs potentiels :

Date	Heure	Prédateur	Observation

10/08/2023	23h46	Chat	S'approche et renifle le cadavre sans le toucher
11/08/2023	11h27	Corneille noire	Manipule le cadavre
13/08/2023	12h13	Milan royal	Entame le cadavre et le déplace
14/08/2023	11h16	Milan royal	Mange le cadavre
18/08/2023	22h00	Fouine	Vue près du cadavre
21/08/2023	00h41	Renard	Vu près du cadavre
28/08/2023	03h15	Renard	Vu près du cadavre
04/09/2023	23h12	Chat	Vu près du cadavre
05/09/2023	03h18	Renard	Vu près du cadavre
06/09/2023	21h51	Renard	Vu près du cadavre
09/09/2023	00h45	Renard	Vu près du cadavre
10/09/2023	22h46	Renard	Vu près du cadavre
12/09/2023	20h21	Renard	Vu près du cadavre
14/09/2023	09h47	Milan royal	Vu près du cadavre
14/09/2023	23h52	???	Vu près du cadavre

Le cadavre n°3, un milan royal (*Milvus milvus*) a été installé dans le coin sud-est d'une prairie au sud-est du parc éolien. Le cadavre est encore observé à la fin du test, même si celui-ci est en plusieurs morceaux. La caméra a été très souvent chargée de clichés inutiles dus aux mouvements de la végétation ou des insectes et il y a donc peu d'images d'éventuels prédateurs :

Date	Heure	Prédateur	Observation
10/08/2023	21h58	??? (Renard ?)	Vu très près du cadavre
30/08/2023	20h45	Renard	Vu très près du cadavre

Le cadavre n°4, une chouette effraie (*Tyto alba*) a été placée dans la même parcelle que le cadavre n°3, mais plus au nord-ouest de la parcelle. Selon les images prises par la caméra-trap, la majorité du cadavre aurait été emportée ou mangée (probablement par un renard) le 17/08/2023, soit une semaine après le début du test. Néanmoins, le jour de la première observation de sa disparition, le 21/08/2023, il restait encore quelques plumes et un ou deux petits os.

Date	Heure	Prédateur	Observation
11/08/2023	00h15	Renard	Vu près du cadavre
11/08/2023	10h46	Renard	Vu près du cadavre
11/08/2023	22h27	Renard	Vu près du cadavre

12/08/2023	01h50	Renard	Vu très près du cadavre
15/08/2023	21h40	Renard	Vu très près du cadavre
16/08/2023	22h01	Renard	A le cadavre dans la gueule mais ne l'emporte pas
16/08/2023	22h24	Renard	Vu très près du cadavre
17/08/2023	21h45	Renard	Mange le cadavre
17/08/2023	22h25	Blaireau	Vu très près du cadavre
20/08/2023	20h41	Renard	Vu très près du cadavre
21/08/2023	23h53	Fouine	Vu près des quelques restes du cadavre
23/08/2023	22h10	Blaireau	Vu près des quelques restes du cadavre

Le cadavre n°5, une buse variable (*Buteo buteo*) a été placé dans une parcelle jouxtant celle des cadavres 3 et 4, près d'une clôture au nord-ouest de la prairie. A proximité, il y avait de manière évidente un passage d'animaux, car le sol était creusé par le passage répétitif de ceux-ci. 2 jours après le début du test, le cadavre de cette buse était parti, probablement emporté par le renard filmé par la caméra-trap.

Date	Heure	Prédateur	Observation
11/08/2023	23h33	???	Vu près du cadavre
12/08/2023	01h16	Renard	Mange le cadavre

Jalhay

Le cadavre n°6, une buse variable (*Buteo buteo*), a été installée à l'extrême ouest de la parcelle, en dessous des arbres, à 2m de la clôture. Ce cadavre est resté observable pendant toute la durée du test. Néanmoins, après plus d'un mois, il a été séparé en plusieurs morceaux qui sont restés sur place et toujours reconnaissables, malgré le processus de décomposition.

Date	Heure	Prédateur	Observation
11/08/2023	14h18	Buse variable	Bouge le cadavre
12/08/2023	04h42	???(Fouine ?)	Vue très près du cadavre
13/08/2023	21h33	Renard	Interagit avec le cadavre
15/08/2023	16h01	Buse variable	Vue très près du cadavre
16/08/2023	21h47	Renard	Vu près du cadavre
17/08/2023	02h52	Blaireau	Interagit avec le cadavre
18/08/2023	23h32	Renard	Vu près du cadavre
21/08/2023	22h45	Renard	Vu près du cadavre

22/08/2023	23h00	Renard	Vu près du cadavre
23/08/2023	01h01	Blaireau	Vu près du cadavre
23/08/2023	01h13	Blaireau	Vu près du cadavre

Le cadavre n°7, un faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*), a été déposé à l'est de la parcelle, à ± 2m d'une rangée d'arbustes. Lors de la vérification du test le 17/08/2023, le cadavre du faucon était parti. Il restait quelques plumes et des os éparpillés qu'on a encore vu le 21/08/2023. La caméra n'a enregistré que des mouvements de cervidés, insectes et végétation.

Roanne-Coo

Le cadavre n°8, une buse variable (*Buteo buteo*) a été placée à l'est de la parcelle, près d'un poteau où la caméra était placée. Ce cadavre est resté intouché durant toute la durée du test, jusqu'au 11/09/2023 où il a dû être retiré car l'agriculteur devait récupérer sa prairie. A part les changements dus à la décomposition naturelle, le cadavre de cette buse est resté à la même position et dans un état relativement stable.

Date	Heure	Prédateur	Observation
12/08/2023	02h11	Renard	Interagit avec le cadavre (urine dessus ?)
12/08/2023	23h46	Renard	Vu très près du cadavre
14/08/2023	17h12	Pie bavarde	Vu très près du cadavre
14/08/2023	19h10	Chiens (3)	Reniflent le cadavre
15/08/2023	20h14	Chat	Interagit avec le cadavre
15/08/2023	22h01	Renard	Vu près du cadavre
18/08/2023	10h46	Héron cendré	Vu près du cadavre
18/08/2023	11h41	Pies bavardes (4)	Vues très près du cadavre
19/08/2023	21h20	Renard	Vu près du cadavre
22/08/2023	18h36	Buse variable	Vue très près du cadavre
26/08/2023	20h28	Chien (labrador)	Passe très près du cadavre
03/09/2023	20h51	Renard	Passe très près du cadavre
05/09/2023	01h31	Renard	Interagit avec le cadavre
05/09/2023	04h09	???	Passe très près du cadavre
06/09/2023	05h31	???(Renard ?)	Passe très près du cadavre
06/09/2023	20h12	Chat	Vu près du cadavre

Le cadavre n°9, un faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*), a été déposé au sud-est de la parcelle, également près d'un poteau où la caméra a été attachée. Ici la caméra n'a pas pu être

installée avant le 12/08/2023. Le 14/08/2023, le cadavre a été prélevé et le prédateur a uniquement laissé un tas de plumes assez dense.

Date	Heure	Prédateur	Observation
12/08/2023	11h07	Pie bavarde	Interagit avec le cadavre
12/08/2023	18h04	Chat	Passe très près du cadavre
12/08/2023	21h32	Chat	Interagit avec le cadavre
13/08/2023	13h08	Corneille noire	Interagit avec le cadavre
14/08/2023	17h30	Buse variable	Interagit avec le cadavre (probablement pris celui-ci)

Gouvy

Le cadavre n°1, pour le deuxième test, était une buse variable (*Buteo buteo*) et a été placée dans une clairière, à la lisière d'une forêt dans un endroit reculé. A la fin du test, le 15/11/2023, soit 33 jours après le lancement du test, le cadavre pouvait encore être observé, mais complètement éparpillé et mangé (il ne restait que les os) et à plus d'une dizaine de mètres d'où celui-ci avait été déposé originellement). Après le 21/10/2023, le cadavre a quitté le cadre de la caméra. Pour ce test, les vérifications sur le terrain n'ont pas pu être opérées aussi souvent que pour le premier, donc la caméra a été récupérée à la fin de celui-ci.

Date	Heure	Prédateur	Observation
16/10/2023	18h20	Buse variable	Vue très près du cadavre
20/10/2023	21h21	Renard	Interagit avec le cadavre
23/10/2023	20h41	Renard	Passe là où le cadavre était

Le cadavre n°2, un faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*), a été déposé au nord-est d'Ourthe, le long d'une clôture d'une prairie. Malheureusement, le 14/10/2023, un agriculteur bouge le cadavre pour le fauchage le lendemain (il s'avère que le cadavre avait été mis du mauvais côté de la clôture dû à un plan non mis à jour et des parcelles autrement délimitées) et le met sur le côté, hors du champ de la caméra. Toutefois, le 18/10/2023, il n'y avait plus de cadavre. Un de ces prédateurs l'a sûrement emporté :

Date	Heure	Prédateur	Observation
13/10/2023	22h09	Renard	Vu très près du cadavre
14/10/2023	09h06	Corneille noire	Vue très près du cadavre
14/10/2023	22h32	??? (Chat ?)	Filmé près du cadavre
16/10/2023	20h20	Renard	Filmé près du cadavre
17/10/2023	05h24	Blaireau	Filmé près du cadavre
17/10/2023	05h57	Renard	Filmé près du cadavre
17/10/2023	21h10	??? (Blaireau ?)	Filmé près du cadavre

17/10/2023	22h14	??? (Blaireau ?)	Vu très près du cadavre
17/10/2023	22h28	Renard	Filmé dans la prairie
18/10/2023	05h01	Blaireau	Vu très près du cadavre
18/10/2023	05h15	Raton laveur	Vu très près du cadavre
18/10/2023	05h32	Renard	Vu très près du cadavre
18/10/2023	06h11	Renard	Filmé dans la prairie

Annexe 3 : Tableau des mortalités par année