

La cartographie des risques de collision entre les oiseaux et les lignes à haute tension en Belgique

Aves 57/4 - 2020 - 207-233

Antoine Derouaux

Aves, le pôle ornithologique de Natagora.
Traverses des Muses 1, 5000 Namur, Belgique,
antoine.derouaux@natagora.be

Dominique Verbelen

Natuurpunt Studie
dominique.verbelen@natuurpunt.be

Koen Devos

Instituut Natuur- en Bosonderzoek
koen.devos@inbo.be

Jean-Yves Paquet

Aves, le pôle ornithologique de Natagora.
jean-yves.paquet@natagora.be



Mathieu Gillet

RÉSUMÉ

Les lignes électriques à haute tension constituent une source de mortalité par collision pour de nombreuses espèces d'oiseaux. Afin de minimiser ces collisions, les câbles peuvent être équipés de divers types de balises qui en augmentent la visibilité. Une cartographie du risque de collisions en Belgique a permis d'identifier les lignes les plus dangereuses, afin de les équiper en priorité de ces balises. Cet exercice se base sur les éléments suivants, identifiés à partir de plusieurs bases de données ornithologiques : les sites de rassemblements, les dortoirs et les colonies d'oiseaux d'eau, les zones riches en espèces rares et menacées, les sites de haltes migratoires des pluviers, les gagnages d'oies ainsi que la présence de certaines espèces répandues et réputées particulièrement sensibles à ce risque.

Sur les 5.600 km de lignes à haute tension en Belgique, près de 6 % sont jugés à haut risque. La plus grande partie de ces segments se situe dans les régions riches en oiseaux d'eau comme l'arrière-pays côtier, ainsi que les grandes vallées et les abords des zones humides à l'intérieur du pays. La carte permet déjà au gestionnaire du réseau de prioriser la mise en place des dispositifs d'atténuation et pourrait permettre de mieux planifier des développements futurs du réseau.

INTRODUCTION

En 1876, au cours d'un voyage à travers l'État du Colorado, Elliott Coues, un naturaliste américain, découvre une centaine d'Alouettes hausse-col *Eremophila alpestris* tuées par collision avec les câbles du télégraphe (Coues, 1876). Il dresse alors ce triste constat : « Habituellement, un remède est connu pour les destructions inutiles ou non souhaitables d'oiseaux, mais il ne semble pas y en avoir dans ce cas précis. Comme il n'est pas envisageable d'abolir le télégraphe, il va falloir nous contenter de vivre avec moins d'oiseaux ».

Depuis lors, le réseau de lignes aériennes n'a cessé de se développer à travers le monde : le réseau des lignes à moyenne et haute tension croît de 5 % par an dans le monde (JENKINS *et al.*, 2010). Heureusement, la résignation d'Elliott Coues n'a plus tout à fait lieu d'être : il existe bel et bien des solutions pour atténuer la mortalité causée par ces structures. Cependant, celles-ci sont coûteuses et parfois techniquement difficiles à mettre en œuvre. Il est donc crucial de définir le plus précisément possible où ces impacts sont les plus graves afin de cibler les secteurs où agir en priorité. Dans cet article, nous détaillons comment les données rassemblées par la communauté ornithologique permettent d'identifier ces « points noirs » en Belgique et d'ainsi orienter les travaux d'atténuation du risque entrepris par Elia, la compagnie gestionnaire des lignes à haute tension en Belgique. Notre objectif ici est d'encourager les observateurs à continuer de renseigner leurs observations, en leur faisant prendre conscience de l'utilisation parfois méconnue des données que tout un chacun peut partager avec la communauté. Nous identifions aussi certaines pistes d'amélioration

dans la récolte d'information qui permettraient de contribuer à mieux cerner les risques.

Les collisions avec les lignes à haute tension représentent une cause de mortalité anthropique très importante chez les oiseaux dans les pays industrialisés (Loss *et al.*, 2015). En considérant certains relevés de victimes déjà réalisés en Belgique et les études publiées sur le sujet dans la littérature internationale, le nombre d'oiseaux tués par collision sur les 5.600 km de lignes aériennes gérées en Belgique par Elia peut être estimé à 170.000-500.000 individus par an (DEROUAUX *et al.*, 2012). Comme pour d'autres causes de mortalité liées à l'homme, il est cependant difficile de savoir si ce facteur influence la démographie des espèces, c'est-à-dire s'il pourrait causer des déclinés de populations ou affecter le statut de conservation local d'une espèce donnée (BERNARDINO *et al.*, 2018). Ainsi, il ne semble pas y avoir de corrélation entre un fort taux de mortalité par collisions avec les bâtiments, qui causent encore plus de mortalité que les lignes aériennes, et les tendances des populations d'oiseaux à l'échelle de l'Amérique du Nord (ARNOLD & ZINK, 2011). Toutefois, ce doute ne doit pas nous empêcher d'agir pour réduire l'impact des collisions pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il y a toujours le risque d'avoir une ligne dangereuse à côté d'un site à haute valeur conservatoire (réserve naturelle, zone de compensation...) qui crée un appauvrissement local d'une population qu'on essaye justement de sauver ou de restaurer. Deuxièmement, la transition énergétique en cours va entraîner un développement considérable des lignes à haute tension pour garantir la sécurité d'approvisionnement énergétique (European Commission, 2018) et il est donc nécessaire d'en minimiser les impacts pour que ces constructions

n'aggravent pas la crise de la biodiversité. Enfin, il y a tout simplement une nécessité éthique à minimiser ces mortalités puisqu'on sait maintenant qu'elles sont en grande partie évitables.

La prise de conscience de l'importance de cette cause de mortalité anthropique, traduite dans plusieurs conventions internationales (European Commission, 2018), a conduit les compagnies exploitant les réseaux électriques à chercher des solutions d'atténuation du risque, en se basant sur un nombre croissant d'études scientifiques sur le sujet (BERNARDINO *et al.*, 2018; Bernardino *et al.*, 2019).

Les lignes électriques aériennes qui parcourent nos paysages sont réparties en deux grandes catégories :

- Le réseau de basse (moins d'un kV) et de moyenne tension (entre 15 et 70 kV) qui sert à la distribution d'électricité sur des distances courtes. Ces lignes présentent principalement un risque d'électrocution pour les oiseaux, généralement lorsque des individus d'assez grande envergure touchent deux conducteurs simultanément. Des collisions avec les câbles peuvent aussi survenir.
- Le réseau de haute et très haute tension (de 70 kV à 400 kV) qui sert à la transmission, c'est-à-dire au transport de l'électricité sur de longues distances. Le risque d'électrocution y est faible car la distance entre les éléments de la structure rend peu probable qu'un oiseau, même de grande taille, mette en contact deux conducteurs. Par contre, ces grandes structures linéaires peuvent présenter des risques élevés de mortalité par collision.

Les collisions avec les lignes à haute tension peuvent toucher toutes les espèces, mais certaines sont plus vulnérables que d'autres (BEVANGER *et al.*, 2009; BERNARDINO *et al.*, 2018). Les espèces les plus sensibles aux collisions sont celles qualifiées de « piètres voiliers » comme les outardes ou les

galliformes et celles qui se déplacent en grands groupes (laridés, oies, étourneaux...). En forêt, ce sont surtout les pics et la Bécasse des bois *Scolopax rusticola* qui sont concernés, surtout si les câbles sont trop proches de la canopée. Par ailleurs, les jeunes oiseaux inexpérimentés sont plus souvent victimes des collisions que les adultes (BERNARDINO *et al.*, 2018). Les oiseaux hivernants ou migrateurs semblent plus exposés au risque que les sédentaires qui connaîtraient mieux les dangers de leur territoire (ALONSO & ALONSO, 1999). De plus, les conditions météorologiques, la configuration du terrain, le type de ligne et la période de l'année influencent aussi cet impact. Les vols de nuit ou par brouillard sont également défavorables, l'obstacle étant moins visible (ANDERSON, 1978). Enfin, les lignes perpendiculaires aux trajets réguliers des oiseaux et les lignes à plusieurs étages sont plus dangereuses, surtout s'il y a un câble de garde plus fin au sommet (BERNARDINO *et al.*, 2018). Les accidents arrivent souvent lors des vols vers les dortoirs ou lorsque de grands groupes sont subitement dérangés et s'envolent en urgence (BERNARDINO *et al.*, 2018).

La solution la plus radicale pour supprimer le risque de mortalité par collision est l'enterrement des lignes (PRINSEN *et al.*, 2012). Une des plus belles démonstrations de cette efficacité réside dans le projet de sauvegarde de la population pannonienne de Grande Outarde *Otis tarda*. En quelques années, après l'enterrement de 43 km de lignes à moyenne tension et le marquage de 90 km, le taux de mortalité annuel lié aux collisions avec des câbles est passé de 4 % à moins de 1 %, surtout grâce aux lignes enterrées, ce qui a significativement amélioré la probabilité de survie annuelle globale de cette population (RAAB *et al.*, 2012). Toutefois, l'enterrement des lignes augmente les coûts de mise en place et d'exploitation de l'ordre d'un facteur cinq (Bio INTELLIGENCE SERVICE, 2012) et augmente les risques d'instabilité du réseau (Eliá, *in litt.*).

Une autre solution réside dans l'évitement des zones les plus dangereuses au moment de la planification du trajet des lignes, avant qu'elles ne soient construites (BERNARDINO *et al.*, 2018; D'Amico

et al., 2018). Cela implique notamment de pouvoir anticiper la présence d'un risque particulier, par exemple à cause de la densité particulièrement importante ou des comportements locaux d'une espèce sensible (SILVA *et al.*, 2014) ou simplement la présence de sites sous statuts de conservation (QUINN *et al.*, 2011). Il existe cependant encore assez peu d'exemples de planification à grande échelle et tenant compte de l'ensemble des espèces du spectre des espèces sensibles.

La solution la plus fréquemment utilisée consiste à poser des dispositifs plus ou moins élaborés (appelés « balises ») directement sur les câbles, ce qui augmente leur visibilité et permet dans la plupart des cas de réduire significativement le risque de collision pour les oiseaux (BERNARDINO *et al.*, 2019). Ces balises peuvent prendre des formes et des couleurs fort variables : spirales, boules phosphorescentes, plaquettes mobiles... Leur placement est nettement moins coûteux que l'enfouissement des lignes. Il se fait généralement lors d'un entretien, car le courant doit être coupé lors de la pose. Chaque type de balise a ses avantages et ses inconvénients, le choix du meilleur système doit se faire en fonction de la ligne, des espèces touchées et de l'environnement.

Il est important d'identifier les lignes où le risque est le plus élevé afin de les équiper en priorité. C'est dans ce but qu'Elia, la société de transport d'électricité et gestionnaire du réseau haute tension en Belgique, travaille avec Natagora et Natuurpunt depuis 2011. Cet article présente la méthodologie appliquée pour identifier les « points noirs » potentiels de collision entre les oiseaux et les lignes gérées par Elia, à l'échelle de la Belgique. La démarche suivie est similaire aux méthodes qui permettent de cartographier les zones défavorables aux éoliennes (MORKUNÉ *et al.*, 2020). Le travail réalisé présente l'originalité d'assembler trois sources de données complémentaires : les données cartographiques résultant d'une interprétation spatiale de banques de données ornithologiques, les données résultant d'une ou plusieurs visites

d'experts sur le terrain et les données de mortalité récoltées par le public via la plateforme [Observations.be](https://observations.be). Dans cet article, nous détaillons le premier aspect.

ÉTABLIR LA CARTE DU RISQUE DE COLLISION : MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Notre objectif initial était d'identifier, au sein des 5.600 km de portées de câbles électriques gérés par Elia en Belgique, les portées les plus dangereuses en matière de collision avec les oiseaux et d'établir un ordre de priorité pour la pose de balises anticollisions. Pour ce faire, une carte du risque de collision pour toute la Belgique a d'abord été établie, avec une résolution de l'ordre du km². Ensuite, celle-ci a été croisée avec le réseau des lignes. Notons que la carte a déjà son utilité propre, comme aide à la décision pour l'élaboration du tracé de nouvelles lignes.

La construction de cette carte du risque de collision à partir des données ornithologiques a été menée en quatre étapes.

Tout d'abord, une liste d'espèces ou de groupes d'espèces sensibles aux collisions en Belgique a été établie. Toutes les espèces d'oiseaux observées en Belgique (BELGIAN RARE BIRDS COMMITTEE, 2019) ont été examinées sous l'angle de trois critères : la sensibilité connue aux collisions avec les lignes, l'importance de leur population belge pour la conservation de l'espèce en Europe et la tendance au grégarisme. L'évaluation du premier critère (sensibilité spécifique aux collisions) s'est basée sur la bibliographie ainsi que les informations issues des centres de revalidation belges concernant les victimes de collisions. Les deux autres critères ont été évalués en 2011, au cours de réunions d'experts belges de Natuurpunt, Natagora, INBO et Vogelbescherming Nederland (DEROUAUX *et al.*, 2012). La liste actuelle a été réexaminée et mise à jour par les auteurs de cet article en 2019 et est

présentée en annexe sous la forme d'un tableau supplémentaire téléchargeable sur le site de la revue Aves (www.aves.be).

Ensuite, les espèces de cette liste ont été regroupées en « groupes thématiques » selon les types de répartitions spatiales (occurrence, zones de concentration éventuelles, type de dispersion). Il est d'autant plus important de prendre en compte les concentrations d'effectifs qu'elles impliquent des déplacements dans des conditions risquées pour les collisions. C'est le cas, par exemple, des dortoirs communautaires, fréquentés quotidiennement par un grand nombre d'individus. Ces groupes thématiques sont évidemment dépendants de la disponibilité des données ornithologiques. Ils sont présentés dans la Tableau 1.

La troisième étape consiste à compiler les données ornithologiques disponibles par groupes thématiques pour construire une carte propre à chacun d'eux. Les données considérées ici se rapportent généralement à la dernière décennie

(2010-2019). Pour cette période, un grand nombre de données sont disponibles pour la plupart des espèces grâce aux développements remarquables des portails d'encodage naturalistes, mais aussi à la perpétuation de programmes de monitoring à long terme, comme les dénombrements hivernaux des oiseaux d'eau (JACOB *et al.*, 2013; Devos *et al.*, 2020). Le traitement de ces données brutes a permis de représenter les concentrations d'individus les plus importantes tout en tenant compte de la variabilité de la pression d'observations. En effet, les ornithologues amateurs ne fréquentent pas d'une manière uniforme tout le territoire ou tous les milieux (voir par exemple PAQUET *et al.*, 2017).

Finalement, la dernière étape permet d'intégrer les différentes cartes thématiques obtenues en une seule carte synthétique du risque de collision. Cette intégration nécessite l'élaboration d'un système de scores qui pondèrent chacune des cartes thématiques et attribuent un score global de risque par unité spatiale (pour rappel, l'unité spatiale est un carré d'un kilomètre de côté).

TABLEAU 1 | Vue synthétique des groupes d'espèces considérées à risque / Synthetic view of the different groups of birds considered as at risk of collision.

Groupe d'espèces présentant un risque de collision	Type de données	Source(s) de l'information utilisée
Oiseaux d'eau en hiver	Sites d'importance pour l'hivernage	Dénombrements Hivernaux des Oiseaux d'eau ("Recensements internationaux des Oiseaux d'eau")
Oiseaux d'eau nichant en colonie	Localisation des colonies	Emplacement des colonies connues dans les banques de données INBO-Natuurpunt-Natagora
Oiseaux d'eau se rassemblant en dortoirs communautaires	Localisation des dortoirs réguliers	Emplacement des dortoirs connues dans les banques de données INBO-Natuurpunt-Natagora
Oiseaux nicheurs rares sensibles	Localisation des nicheurs	Observations.be
Oiseaux migrateurs en transit	Couloir approximatif des principaux passages	Avis d'expert et Trekellen.org
Espèces sensibles répandues (nidification)	Modélisation spatiale de la probabilité de présence	Observations.be
Pluviers et Vanneau huppé, zones de halte	Modélisation spatiale de la probabilité de présence	Observations.be
Oies arctiques, zones d'alimentation	Modélisation spatiale de la probabilité de présence	Observations.be

COMPILATION DES CARTES THÉMATIQUES

Zones d'importance pour l'hivernage des oiseaux d'eau

En hiver, beaucoup d'espèces d'oiseaux d'eau ont la particularité de se rassembler localement en grand nombre et/ou d'opérer des déplacements à l'aube et au crépuscule entre gagnages et zones de repos. Certaines d'entre elles, comme les anatidés, cumulent aussi des caractéristiques morphologiques (charge alaire élevée et faible allongement géométrique de l'aile) qui diminuent leur capacité à manœuvrer rapidement en vol et augmentent le risque de collision (BERNARDINO *et al.*, 2018). C'est pourquoi une attention particulière a été portée à ce groupe d'espèces.

Les sites importants pour ces espèces ont été identifiés notamment sur la base de la « règle des 1 % », utilisée par exemple pour définir les « zones humides Ramsar d'intérêt international » ou les « Important Bird Area » reconnue par BirdLife, et qui consiste à prendre en compte ceux qui abritent d'une manière régulière au moins 1 % de la population mondiale d'une espèce donnée.

Dans une logique similaire, nous avons examiné les données des comptages des oiseaux d'eau en hiver sur toutes les zones humides belges, auxquels contribuent des centaines d'ornithologues. Ces dénombrements sont coordonnés en Flandre par l'INBO, en Wallonie et à Bruxelles par Aves, sous l'égide de Wetlands International (JACOB *et al.*, 2013; DEVOS *et al.*, 2020). Dans le cas présent, nous avons utilisé un extrait des deux bases de données couvrant tous les comptages entre l'hiver 2008-2009 et celui de 2017-2018. Les

espèces exotiques et les laridés n'ont pas été inclus dans cette analyse.

Les périmètres des sites sont ceux de la base de données géographique de l'INBO pour la Flandre et de celle d'Aves pour Bruxelles et la Wallonie. Les effectifs maximaux par hiver pour chaque espèce et chaque site ont été calculés et comparés à l'estimation de la population régionale moyenne de chaque espèce (ONKELINX & DEVOS, 2019). Seules les espèces ayant un effectif moyen d'au moins 10 individus ont été prises en compte. Un site est jugé comme de « très haute importance » pour les oiseaux d'eau s'il abrite régulièrement¹ au moins 15 % de l'effectif régional d'une espèce, de « haute importance » s'il abrite au moins 2 % de celui-ci ou régulièrement plus de 1.000 individus (toutes espèces confondues) et comme « moyennement important » si entre 100 et 1.000 individus y sont régulièrement présents (Tableau 2). Les seuils de 2 et 15 % avaient déjà été utilisés dans la cartographie de sensibilité des éoliennes en Flandre (EVERAERT *et al.*, 2011).

La carte des sites d'importance pour les oiseaux d'eau en hiver en Belgique est présentée à la Figure 1. Les critères pour déterminer l'importance d'un site sont évalués au niveau régional ; cela nous semble plus pertinent car les compétences et donc la responsabilité de la conservation de la nature sont réparties au niveau régional dans l'état fédéral belge. Toutes espèces confondues, l'effectif total des oiseaux d'eau hivernant en Belgique s'élève à environ 540.000 individus, dont 87 % en Flandre (ONKELINX & DEVOS, 2019). Même en traitant les seuils de manière séparée, l'importance de la Flandre et en particulier de la basse vallée de l'Escaut et des polders ressort bien de la Figure 1. La liste des sites en fonction de leur importance est présente en annexe (tableau téléchargeable sur le site de la revue).

¹ Par « régulièrement », on entend au moins la moitié des années pour lesquelles un dénombrement est disponible.

TABEAU 2 | Estimation récente de l'effectif hivernant des oiseaux d'eau pour la Wallonie et Bruxelles (Onkelinx & Devos, 2019) basé sur le DHOE. Le tableau donne l'estimation arrondie avec l'intervalle de confiance, ainsi que les valeurs seuils pour classer les sites (2 % et 15 %). À noter que les espèces exotiques sont exclues de ce tableau, mais certaines espèces dont le statut est discutable (par exemple parce qu'il varie d'une région à l'autre) y sont laissées (Cygne tuberculé, Bernache nonnette, Oie cendrée).

Espèce		Effectif moyen du maximum hivernal (2013-2018)	Valeurs seuils	
			2 %	15 %
Cygne tuberculé	<i>Cygnus olor</i>	460 ind. (400-530)	9	69
Cygne chanteur	<i>Cygnus cygnus</i>	20 ind. (10-39)	0	3
Cygne de Bewick	<i>Cygnus columbianus</i>	10 ind. (5-18)	0	1
Bernache nonnette	<i>Branta leucopsis</i>	160 ind. (100-270)	3	24
Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	350 ind. (120-990)	7	52
Oie rieuse	<i>Anser albifrons</i>	19 ind. (4-95)	0	2
Garrot à œil d'or	<i>Bucephala clangula</i>	81 ind. (63-105)	1	12
Harle piette	<i>Mergellus albellus</i>	13 ind. (7-24)	0	1
Harle bièvre	<i>Mergus merganser</i>	240 ind. (150-390)	4	36
Tadorne de Belon	<i>Tadorna tadorna</i>	180 ind. (120-270)	3	27
Fuligule milouin	<i>Aythya ferina</i>	2000 ind. (1500-2700)	40	300
Fuligule morillon	<i>Aythya fuligula</i>	2900 ind. (2100-3900)	58	435
Canard souchet	<i>Spatula clypeata</i>	1000 ind. (600-1400)	20	150
Canard siffleur	<i>Mareca penelope</i>	75 ind. (50-114)	1	11
Canard chipeau	<i>Mareca strepera</i>	1500 ind. (1000-2100)	30	225
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	17000 ind. (16000-19000)	340	2550
Canard pilet	<i>Anas acuta</i>	11 ind. (7-18)	0	1
Sarcelle d'hiver	<i>Anas crecca</i>	1300 ind. (1100-1600)	26	195
Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	780 ind. (570-1070)	15	117
Grèbe huppé	<i>Podiceps cristatus</i>	670 ind. (540-830)	13	100
Râle d'eau	<i>Rallus aquaticus</i>	39 ind. (30-52)	0	5
Gallinule poule d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	1700 ind. (1400-2100)	34	255
Foulque macroule	<i>Fulica atra</i>	7900 ind. (7100-8900)	158	1185
Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	15 ind. (5-40)	0	2
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	490 ind. (410-590)	9	73
Grande Aigrette	<i>Egretta alba</i>	230 ind. (170-330)	4	34
Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>	14 ind. (6-35)	0	2
Grand Cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	3200 ind. (2300-4400)	64	480
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	1300 ind. (700-2200)	26	195
Chevalier culblanc	<i>Tringa ochropus</i>	17 ind. (13-23)	0	2
Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>	230 ind. (140-380)	4	34
Bécassine sourde	<i>Lymnocyptes minimus</i>	10 ind. (4-24)	0	1

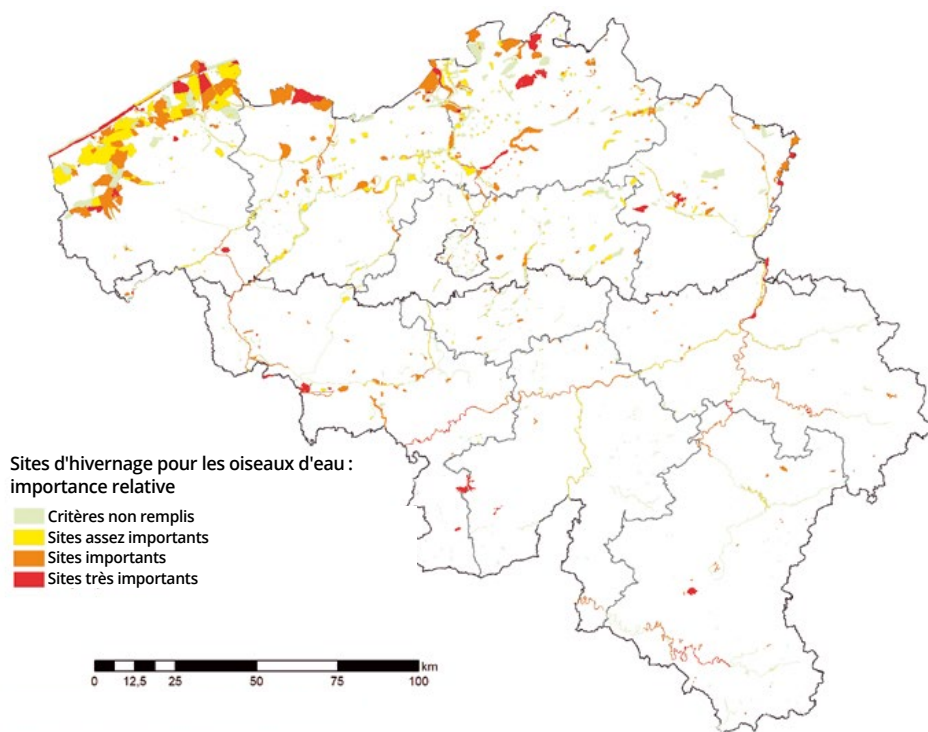


FIGURE 1 | Zones critiques pour l'hivernage des oiseaux d'eau en Belgique / Layer of important sites for wintering waterbirds.

Colonies importantes d'oiseaux d'eau

Lors de la reproduction, de nombreux oiseaux d'eau forment des colonies de reproduction à partir desquelles les adultes effectuent de fréquentes navettes pour s'alimenter. La localisation de ces colonies est donc importante dans l'évaluation des zones à risques. La localisation et l'effectif des colonies des espèces visées (Tableau 3) ont été obtenus à partir des données issues du portail Observations.be pour la période 2010-2019. Les colonies ont été catégorisées comme « importantes » si de 10 à 100 couples reproducteurs sont régulièrement comptés et « très importantes » si plus de 100 couples reproducteurs sont régulièrement enregistrés ou au moins 2 % de la population reproductrice régionale (Tableau 3). La Figure 2 donne la localisation des colonies

importantes et très importantes. En Wallonie, il s'agit principalement de héronnières, de cormorantières, mais aussi de quelques colonies de laridés.

Dortoirs nocturnes d'oiseaux d'eau

En dehors de la saison de reproduction, de nombreuses espèces d'oiseaux forment des dortoirs communautaires qui rassemblent un grand nombre d'individus à des endroits fréquentés d'année en année. Les mouvements quotidiens depuis ces sites vers les zones d'alimentation exposent les individus à un risque accru avec les lignes électriques (BERNARDINO *et al.*, 2018).

Les données utilisées pour évaluer la localisation des dortoirs en Belgique proviennent principalement du portail [Observations.be](https://observations.be), complétées par les

TABLEAU 3 | Estimation de l'effectif nicheur des oiseaux d'eau coloniaux en Belgique (nombre de couples 2013-2018). Source : Rapportage sous l'Article 12 de la directive "oiseaux" 2009/147/CE pour la Belgique, période 2013-2018 : INBO, DEMNA, Aves-Natagora, Natuurpunt / Estimated breeding population of colonial waterbirds in Belgium

Espèces		Belgique	Wallonie
Spatule blanche	<i>Platalea leucorodia</i>	34 (25-43)	2 (1-2)
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	1.900 (1.600-2.100)	690 (580-760)
Grand Cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	1.700 (1.400-2.100)	370 (360-390)
Mouette rieuse	<i>Larus ridibundus</i>	8.500 (7.800-9.100)	490 (450-530)
Mouette mélanocéphale	<i>Larus melanocephalus</i>	1.700 (1.400-2.000)	39 (32-45)
Goéland cendré	<i>Larus canus</i>	70 (63-76)	48 (43-52)
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	2.700 (1.600-3.700)	6 (3-8)
Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	1.800 (1.200-2.300)	9 (6-11)
Sterne caugek	<i>Thalasseus sandvicensis</i>	74 (0-147)	0
Sterne pierre-garin	<i>Sterna hirundo</i>	900 (300-1.510)	3 (1-6)
Sterne naine	<i>Sternula albifrons</i>	60 (40-82)	0



FIGURE 2 | Localisation des colonies importantes en Belgique / Locations of important colonies identified for several sensitive species



FIGURE 3 | Dortoirs importants d'oiseaux d'eau en Belgique. Les dortoirs « relativement importants » n'ont pas été représentés sur la carte / Locations of important and very important roosts identified for several sensitive species

dénombrements coordonnés des dortoirs de Grands Cormorans, du Courlis cendré *Numenius arquata*, de la Grande Aigrette *Ardea alba* et des laridés en hiver (données INBO et Aves-Natagora). Trois catégories d'importance du risque pour les dortoirs ont été créées en fonction du nombre d'individus présents. Les dortoirs « très importants »

comptent régulièrement plus de 1.000 individus ou plus de 2 % de l'effectif régional en hiver (voir Tableau 2). Les dortoirs « importants » abritent régulièrement 100 à 1.000 individus et les dortoirs « relativement importants » comptent moins de 100 individus (Figure 3).

Sites de reproduction d'espèces rares

Un des groupes thématiques reprend des oiseaux nicheurs rares sensibles aux collisions (Tableau 4). La plupart de ces espèces ne nichent que dans un petit nombre de localités ou de sites bien connus et bien suivis. Les données relatives à la reproduction de ces espèces rares ont été extraites du portail Observations.be (uniquement les cas de reproduction potentiels). Les coordonnées géographiques associées aux observations peuvent représenter le centre approximatif du territoire ou parfois le nid. Les carrés de 1x1 km intersectés avec un rayon de 1 km tracé autour des localisations ont été sélectionnés pour chacune des espèces afin de prendre en compte le territoire global de ces

oiseaux. La carte thématique « oiseau rare » (Figure 4) est ensuite dressée en sommant le nombre d'espèces rares pour lesquelles chaque carré a été sélectionné. Quelques régions riches en espèces rares émergent : les polders, l'Entre-Sambre-et-Meuse, les Hautes-Fagnes, la Campine et quelques vallées.

Principaux couloirs migratoires

La migration saisonnière pourrait intuitivement représenter un risque majeur de collision, mais l'altitude de vol habituelle durant les trajets migratoires est généralement bien supérieure à celle des câbles (BERNARDINO *et al.*, 2018). Nous avons cependant décidé d'ajouter une carte thématique pour ce risque, car des conditions

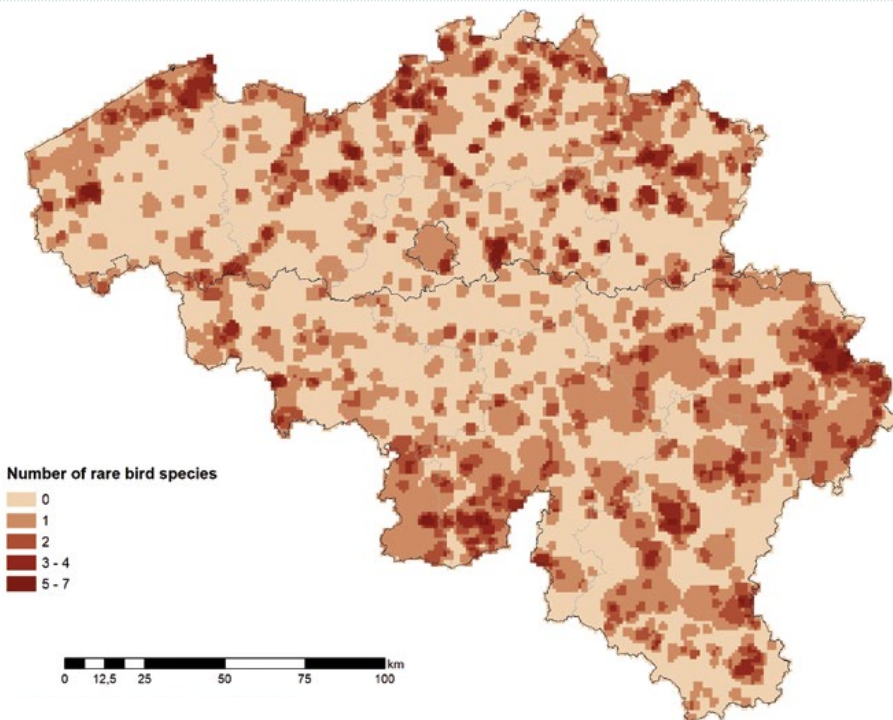


FIGURE 4 | Nombre d'espèces d'oiseaux nicheurs rares, parmi les espèces sensibles aux collisions, par carré de 1x1 km / Squares with sensitive rare breeding species, with an indication of the number of rare breeding species for each square.

TABLEAU 4 | Liste et statut des espèces d'oiseaux rares nicheuses en Belgique, identifiées comme sensibles aux collisions avec les lignes électriques. Le statut liste rouge régionale provient des dernières évaluations régionales publiées (Paquet & Jacob, 2010; Devos et al., 2016), l'évaluation du statut vient du Rapportage sous l'Article 12 de la directive "oiseaux" 2009/147/CE pour la Belgique, période 2013-2018: INBO, DEMNA, Aves-Natagora, Natuurpunt.

		Annexe I (directive oiseaux)	Liste rouge 2016 (Flandre)	Liste rouge 2010 (Wallonie)	Effectif en Belgique 2013-2018	Tendance 12 dernières années
Gélinotte des bois	Bonasa bonasia	X	-	en danger critique	0-5 coqs	probablement éteinte
Tétras lyre	Tetrao tetrix	X	régionalement éteint	en danger critique	2-5 coqs	déclin mais programme de renforcement des populations en cours
Grand Butor	Botaurus stellaris	X	en danger critique	en danger critique	20-31 mâles	en augmentation
Blongios nain	Ixobrychus minutus	X	en danger	en danger critique	31-60 couples	en augmentation
Cigogne noire	Ciconia nigra	X	-	vulnérable	100-150 couples	en augmentation
Cigogne blanche	Ciconia ciconia	X	non évalué	non évalué	14-48 couples et quelques populations férales	en augmentation
Milan royal	Milvus milvus	X	-	vulnérable	360-420 couples	en augmentation
Busard des roseaux	Circus aeruginosus	X	en danger	en danger	110-180 couples	en augmentation
Busard Saint-Martin	Circus cyaneus	X	-	en danger	1-5 couples	stable
Busard cendré	Circus pygargus	X	en danger critique	en danger	1-8 couples	stable
Faucon pèlerin	Falco peregrinus	X	en danger	vulnérable	200-270 couples	en augmentation
Marouette ponctuée	Porzana porzana	X	en danger critique	-	20-77 couples	fluctuation
Râle des genêts	Crex crex	X	en danger critique	en danger critique	1-10 mâles	en déclin
Gravelot à collier interrompu	Charadrius alexandrinus	X	en danger critique	-	2-6 couples	en déclin
Avocette élégante	Recurvirostra avocetta	X	vulnérable	vulnérable	400-450 couples	en augmentation
Bécassine des marais	Gallinago gallinago		en danger critique	en danger critique	20-37 couples	en augmentation
Grand-duc d'Europe	Bubo bubo	X	non évalué	vulnérable	80-140 couples	en augmentation
Chevêchette d'Europe	Glaucidium passerinum	X	-	-	1-6 couples	première nidification en 2012, en augmentation
Chouette de Tengmalm	Aegolius funereus	X	-	vulnérable	1-40 couples	fluctuation
Engoulevent d'Europe	Caprimulgus europaeus	X	à la limite d'être menacé	en danger	620-1.020 mâles	en augmentation (en déclin en Wallonie)
Torcol fourmilier	Jynx torquilla		en danger critique	en danger	66-101 couples	en augmentation
Pic cendré	Picus canus	X	-	en danger	4-14 mâles	en déclin (probablement éteint comme nicheur régulier)

météorologiques défavorables peuvent induire occasionnellement des situations de danger. Il est cependant difficile d'identifier des corridors spécifiques pour la migration saisonnière des oiseaux dans un pays au relief plutôt plat. En effet, dans les régions montagneuses ou à géographie côtière particulière, des effets d'étranglement forcent les migrateurs à passer sur des corridors parfois étroits. Cependant, en Belgique, de tels effets n'existent pas vraiment et des millions d'oiseaux migrateurs traversent le pays sur toute sa largeur.

Récemment, les radars de l'armée de l'air et des services météorologiques ont été utilisés pour détecter les groupes d'oiseaux en migration (BAUER *et al.*, 2019). L'analyse préliminaire de ces observations tend à confirmer la migration sur une vaste zone plutôt que dans des couloirs étroits (S. Sorbi – Armée de l'air belge, com. pers.). Des effets de concentration mineurs restent néanmoins possibles pour certaines espèces et ont été inclus dans les cartographies de

sensibilité pour les éoliennes aux Pays-Bas (AARTS & BRUINZEEL, 2009) et en Flandre (EVERAERT *et al.*, 2011). Ces couloirs migratoires (Figure 5) ont été délimités sur la base de jugements d'experts et de décomptes visuels de migrants actifs par des ornithologues amateurs utilisant le portail www.trektellen.org (TROOST & BOELE, 2019). Les zones de passage définies en Flandre par Everaert *et al.*, (2011) ont été complétées par un tracé approximatif des couloirs identifiés en Wallonie pour deux espèces sensibles aux collisions et qui passent en grand nombre, la Grue cendrée *Grus grus* et le Pigeon ramier *Columba palumbus*. Trois corridors ont ainsi été définis pour la Wallonie. Les deux premiers, la vallée de la Meuse et la crête nord de l'Ardenne, semblent canaliser une grande partie des groupes de Pigeons ramiers. Un troisième corridor plus large couvrant tout l'est du pays constitue le couloir principal pour les Grues cendrées. Soulignons le fait que ces corridors sont définis à l'échelle du pays et que les éventuels couloirs locaux à l'échelle du paysage n'ont pas pu être considérés ici.



PHOTO 1 | En condition normale de migration, la Grue cendrée est probablement peu sujette à des collisions mais en cas de mauvais temps qui la force à voler plus bas, les infrastructures électriques peuvent représenter un danger ponctuel / In normal migration conditions, the Common Crane *Grus grus* is probably not prone to collisions, but in case of inclement weather that forces it to fly lower, electrical infrastructure can be a one-time hazard (Malchamps, 26.10.2015, © Franck Renard)



FIGURE 5 | Carte des couloirs migratoires en Belgique. En mauve, le couloir principal des oiseaux suivant la côte et en rose, les couloirs principaux à l'intérieur des terres définis par Everaert et al. (2011) en y ajoutant les couloirs des Grues cendrées et des Pigeons ramiers en Wallonie / Proposed migration corridor map for Belgium. In violet, the major corridor of the migrants following the coastline and in pink, major inland migration corridors defined by Everaert et al. (2011) and this publication.

Cartes thématiques des espèces sensibles répandues

Parmi les espèces sensibles aux collisions, certaines ne sont pas liées à des sites ou à des zones bien concrètes : elles sont répandues et présentes en densités variables dans une large gamme d'habitats. C'est le cas de certains oiseaux forestiers (pics) ou d'oiseaux des milieux agricoles (comme la Perdrix grise *Perdix perdix*). Pour ces espèces, nous avons utilisé la modélisation spatiale de l'occurrence comme approche plus efficace de la cartographie de sensibilité. Cette technique permet d'obtenir des cartes à haute résolution (1 km²) représentant la probabilité d'occurrence des espèces dans tout le pays. L'effet des biais de prospection qui apparaissent avec les données brutes sont partiellement compensés. La modélisation spatiale consiste à estimer une fonction statistique entre les présences observées d'une espèce donnée et des descripteurs de l'environnement, fonction qui est ensuite utilisée pour prédire la probabilité de



PHOTO 2 | Les Pigeons ramiers passent en très grand nombre au-dessus de nos régions et, même s'ils volent la plupart du temps au-dessus des lignes, le risque de collision n'est pas nul pour les grands groupes / Wood Pigeon *Columba palumbus* passe in very large numbers over our areas and, even if they fly most of the time over the lines, the risk of collision is not zero for large groups (12.02.2018, © Pierre Denève)

présence de l'espèce sur toute une zone d'étude à partir de ces variables environnementales (FRANKLIN, 2009). En pratique, les observations des espèces cibles ont été extraites du portail Observations.be au cours de la période 2012-2019. Toutes les données ont été replacées sur une grille de 1x1 km couvrant la Belgique. Vingt variables environnementales ont été calculées pour chaque unité de cette grille. Ces variables décrivent l'utilisation des sols (déduite de la version de 2006 de la carte de l'utilisation des sols CORINE – source : European Environmental Agency) et les variables bioclimatiques calculées à partir de la banque de données WordClim (HIJMANS *et al.*, 2005). La méthode de modélisation utilisée, MaxEnt, permet de ne pas devoir disposer de données de non-détection de l'espèce (PHILLIPS *et al.*, 2006). Le résultat de la projection du modèle est une carte estimant la probabilité de présence (de 0 à 1) de l'espèce d'intérêt pour chaque unité de 1x1 km. Une procédure de « bootstrap », dans laquelle 30 % de toutes les données de présence sont laissées de côté, a été utilisée pour valider le modèle, le modèle final résultant de la moyenne de 10 répétitions. Une espèce est considérée comme « présente » dans un carré donné si la probabilité d'occurrence est supérieure à une certaine valeur seuil. Celle-ci correspond à la valeur de probabilité pour laquelle le taux d'omission est le plus proche de 20 % dans les tests de validation (ce qui signifie que le modèle échoue à prédire 20 % des présences réelles dans le pool de données de validation). Cette précaution permet de réduire le risque de faux négatifs (prédiction que l'espèce est absente alors qu'elle est effectivement présente) à environ 20 % tout en minimisant le risque de faux positifs.

Les espèces nicheuses identifiées comme sensibles aux collisions dont le modèle spatial est pris en compte comme carte thématique sont : la Perdrix grise, la Tourterelle des bois *Streptopelia turtur*, le Pic vert *Picus viridis*, le Pic noir *Dryocopos martius*, le Pic mar *Leiopicus medius* et la Bécasse des bois *Scolopax rusticola*. Certaines de ces espèces ont vu leur répartition changer de manière considérable, si l'on

compare avec la même procédure réalisée avec les données pour la période 2000-2007 (Figure 6, Figure 7, Figure 8). La Figure 9 représente la répartition de la Bécasse des bois en Belgique (en période de reproduction, carte basée sur les individus signalés en croque).

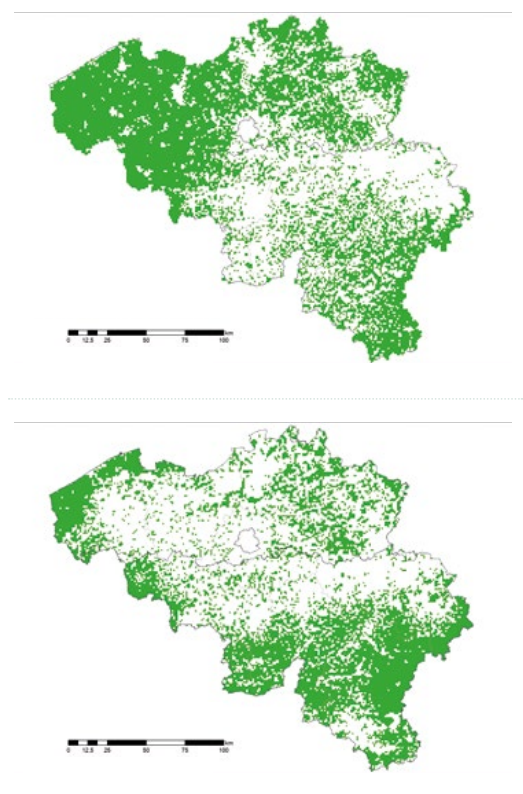


FIGURE 6 | Carte modélisée de la présence de la Tourterelle des bois *Streptopelia turtur* en Belgique. Le vert représente les carrés où l'espèce est prédite comme présence par le modèle. Au dessus la carte à partir des données 2000-2007, en dessous la carte pour la période 2010-2019 utilisée dans la présente carte du risque / Modelled map for the presence of the Turtle Dove in Belgium. Green denotes where the model predicts the species to be present. On top, the map for the period 2000-2007 and below for the period 2010-2019, used in the present risk mapping.

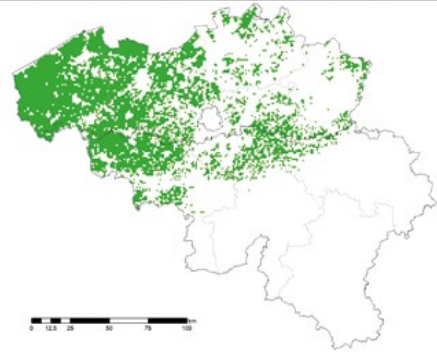
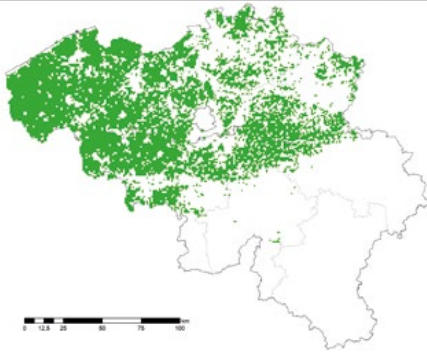


FIGURE 7 | Carte modélisée de la présence de la Perdrix grise *Perdix perdix* en Belgique. Le vert représente les carrés où l'espèce est prédite comme présence par le modèle. À gauche la carte à partir des données 2000-2007, à droite la carte pour la période 2010-2019 utilisée dans la présente carte du risque / Modelled map for the presence of the Grey Partridge in Belgium. Green denotes where the model predicts the species to be present. On the left, the map for the period 2000-2007 and on the right for the period 2010-2019, used in the present risk mapping.

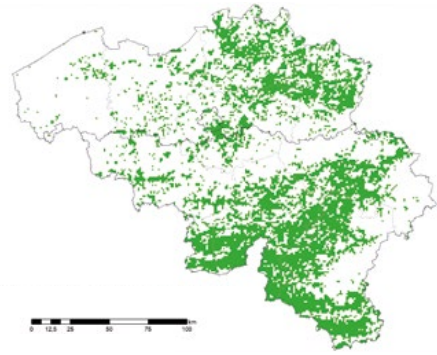
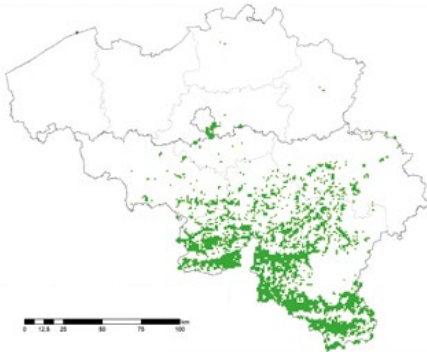


FIGURE 8 | Carte modélisée de la présence du Pic mar en Belgique. Le vert représente les carrés où l'espèce est prédite comme présence par le modèle. À gauche la carte à partir des données 2000-2007, à droite la carte pour la période 2010-2019 utilisée dans la présente carte du risque / Modelled map for the presence of the Middle Spotted Woodpecker *Leucopicus medius* in Belgium. Green denotes where the model predicts the species to be present. On the left, the map for the period 2000-2007 and on the right for the period 2010-2019, used in the present risk mapping.

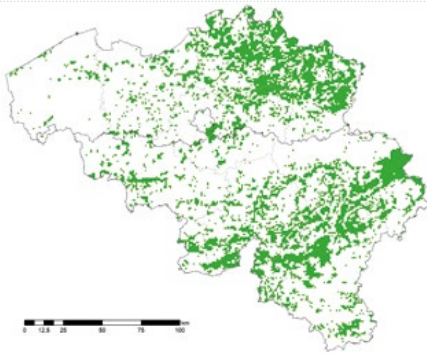


FIGURE 9 | Répartition modélisée de la Bécasse de bois nicheuse en Belgique, période 2010-2016 / Modelled map for the presence of breeding Woodcock *Scolopax rusticola* in Belgium, period 2010-2016.

Carte thématique des zones de halte des pluviers et du Vanneau huppé

Le Pluvier guignard *Eudromias morinellus* et le Pluvier doré *Pluvialis apricaria* sont des espèces de l'Annexe I de la directive oiseaux qui fréquentent la Belgique en nombre

relativement important lors de leurs migrations ou en hiver. Ils sont identifiés comme sensibles aux collisions. Leurs principales aires de halte ou d'hivernage ne sont pas bien couvertes par la carte thématique des oiseaux d'eau en hiver, car ces limicoles utilisent principalement des habitats terrestres (terres agricoles) pour se nourrir et se reposer. Les Pluviers guignards sont observés en petits nombres dans les grandes cultures pendant leur migration postnuptiale (ROUSSEAU-PIOT, 1995). Le Pluvier doré est un oiseau migrateur et hivernant abondant dans les prairies et les cultures, principalement dans la partie occidentale du pays. En plus de ces deux espèces, les rassemblements importants de Vanneaux huppés *Vanellus vanellus* ont également été considérés.

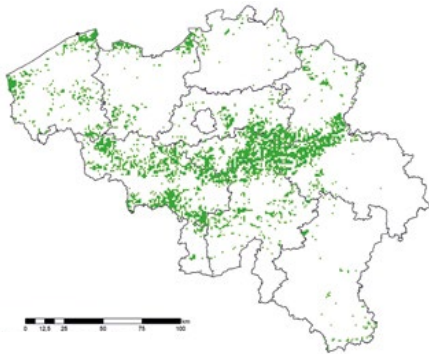


FIGURE 10 | Zones de halte du Pluvier guignard en Belgique d'après la modélisation spatiale / Staging area of Eurasian Dotterel *Eudromias morinellus* in Belgium according to the spatial modelling.

Pour identifier les zones les plus critiques pour ces trois espèces, une approche de modélisation spatiale similaire à celle utilisée pour les espèces reproductrices répandues a été appliquée. Les données de bases sont issues du portail Observations.be pour la période 2012-2019 : les carrés où des groupes posés d'au moins 100 Pluviers dorés, d'au

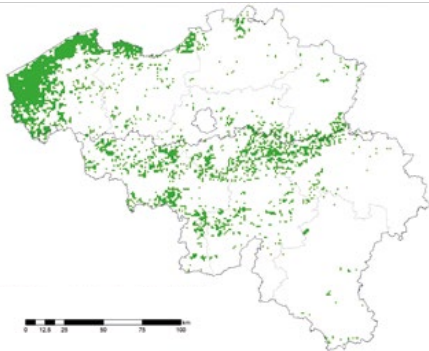


FIGURE 11 | Zones de halte des groupes de plus de 100 individus de Pluvier doré en Belgique basé sur la modélisation spatiale / Staging areas of the Golden Plover *Pluvialis apricaria* in Belgium based on the modelling of occurrence records (groups of more than 100 individuals).

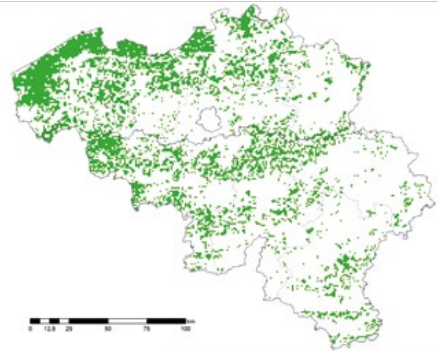


FIGURE 12 | Zones de halte des groupes de plus de 50 Vanneaux huppés d'après la modélisation spatiale / Staging areas of Northern Lapwings *Vanellus vanellus* in Belgium based on the modelling of occurrence records (groups of more than 50 individuals).

moins 50 Vanneaux huppés et au moins un Pluvier guignard posé ont été pris en compte (les groupes signalés en vol ont été exclus pour ne pas inclure les migrateurs actifs qui peuvent passer partout et ne sont pas à risque de collision). La procédure à partir de là est identique à celle des oiseaux nicheurs répandus.

Le Pluvier guignard utilise principalement des zones de grandes cultures dans la partie centrale de la Belgique (Figure 10) alors que le Pluvier doré est surtout présent dans les polders (Figure 11). Le Vanneau huppé en halte

est plus largement répandu dans toutes les zones ouvertes cultivées ainsi que les prairies du pays (Figure 12).

Carte des zones d'alimentation des oies arctiques

Trois espèces d'oies arctiques hivernent en très grand nombre en Belgique, avec des populations d'importance internationale : l'Oie rieuse *Anser albifrons* (47.000 - 76.000 individus) l'Oie à bec court *Anser brachyrhynchus* (23.000-28.000 individus), et l'Oie cendrée *Anser anser*, (13.000-27.000 individus) (ONKELINX & DEVOS, 2019). Ces



PHOTO 3 | Le Pluvier guignard. Le risque de collision aux abords des sites de halte n'est pas très élevé mais il a néanmoins été pris en considération étant donné la rareté de l'espèce et sa haute valeur conservatoire / Eurasian Dotterel *Charadrius morinellus*. The risk of collision in the vicinity of stopover sites is not very high but it has nevertheless been taken into account given the rarity of the species and its high conservatory value (Plaine de Burdinne, 24.04.2020, © Victor Claes)

oies sont surtout présentes dans les zones de polders, où elles bénéficient de grands projets de restauration de nature. Elles se déplacent très fréquemment entre des zones de repos

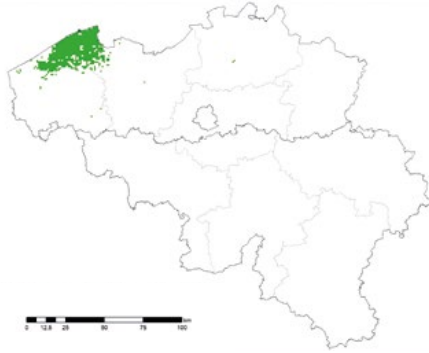


FIGURE 13 | Zone de repos des Oies à bec court en Belgique (groupe de plus de 50 individus) / Staging areas of the Pink-footed Goose *Anser brachyrhynchus* in Belgium based on the modelling of occurrence records (groups of more than 50 individuals).

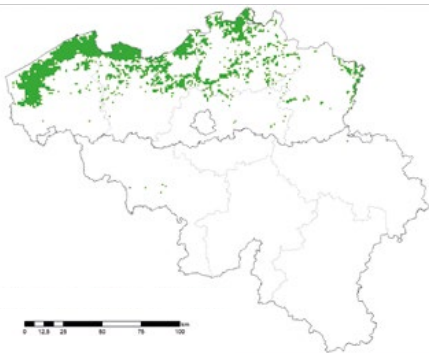


FIGURE 14 | Zones de stationnement de l'Oie rieuse en Belgique (groupe de plus de 50 individus) - Staging areas of the White-fronted Goose *Anser albifrons* in Belgium based on the modelling of occurrence records (groups of more than 50 individuals).

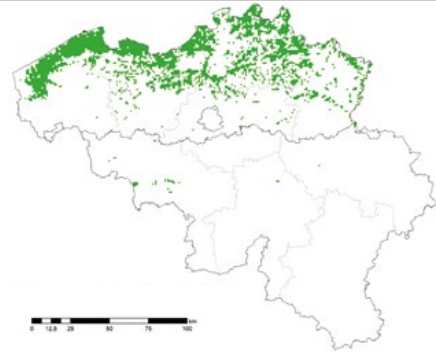


FIGURE 15 | Zones de stationnement de l'Oie centrée en Belgique (groupe de plus de 50 individus) / Staging areas of the Greylag Goose *Anser anser* in Belgium, based on the modelling of occurrence records (groups of more than 50 individuals).

(souvent des prairies tranquilles comme les polders d'Uitkerke) et des zones de gagnages, le plus souvent des cultures intensives. La même procédure de modélisation que pour les oiseaux nicheurs communs ou les pluviers a été appliquée. Les données de groupes d'au moins 50 individus ont été utilisées. La période considérée est plus courte et plus récente que pour les autres espèces (2017-2019), au vu des changements d'habitudes récemment décrits, du moins pour les Oies à bec court (KUIJKEN, 2019). Comme le montrent les Figure 13, 14 et 15, les oies arctiques stationnent presque exclusivement en Flandre. La plus localisée est l'Oie à bec court, les deux autres espèces étant beaucoup plus répandues.

LA CARTE DES RISQUES DE COLLISION

Une carte de sensibilité est un outil d'aide à la décision qui vise à spatialiser l'intensité d'un risque ou d'une contrainte environnementale lorsqu'il est question de planifier un

développement qui présente un impact (EUROPEAN COMMISSION, 2018). La carte développée dans notre étude identifie les zones à haut risque de collision entre oiseaux et lignes électriques en Belgique, afin de réduire cet impact, soit en diminuant la dangerosité des infrastructures existantes, soit en planifiant mieux les éventuelles nouvelles lignes à construire.

Pour répondre à ces deux objectifs, nous devons combiner les différentes cartes thématiques détaillées au chapitre 3 d'une manière synthétique, avec la plus haute résolution possible. La résolution choisie est celle des carrés de 1x1 km qui ont été utilisés dans plusieurs cartes thématiques. Pour réaliser cette étape, un système de score de risque a été mis en place par un consensus

d'experts, s'appuyant sur la littérature (DEROUAUX *et al.*, 2012). Ce groupe d'experts s'est réuni en 2012 et était composé de Joris Everaert (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek), Nicolas Brackx (Vogelbescherming Vlaanderen), Gerald Driessens (Natuurpunt), Antoine Derouaux, Alberto Martin Gil et Jean-Yves Paquet (Aves, le pôle ornithologique de Natagora). Le système de score a permis de dresser une première carte en 2012. Ces scores ont été repris dans le cadre du présent travail, avec des données ornithologiques actualisées. Les quelques évaluations de terrain effectuées par Natuurpunt et Natagora depuis 2012 ont plutôt confirmé la pertinence de la première version de la carte de risque. Certaines cartes thématiques ont été ajoutées, grâce à la disponibilité accrue de données, comme celles des Bécasses des bois. Par

TABLEAU 5 | Système de score du risque défini par consensus d'expert / Risk scoring system developed by expert consensus.

Élément de la carte thématique	Distance du centre carré par rapport à l'élément				
	Si le carré contient l'élément	à moins de 1 km	entre 1 et 3 km	entre 3 et 5 km	plus de 5 km
Dortoirs très importants	25	14	9	4	0
Dortoirs importants	20	14	9	4	0
Colonies très importantes	25	14	9	4	0
Colonies importantes	20	14	9	4	0
Sites oiseaux d'eau très importants	30	14	9	4	0
Sites oiseaux d'eau importants	25	14	9	4	0
Sites oiseaux d'eau modérément importants	20	14	9	4	0
Nombre d'espèces rares dans le carré	10 points pour une espèce rare présente, 20 pour 2 à 3 espèces, 25 pour 4 à 5 espèces et 30 points si plus de 5 espèces				
Corridors de migration	8 points si le carré est dans un corridor, 12 points s'il s'agit du corridor côtier				
Zone de rassemblement des pluviers et vanneaux	5 points par espèce dans les zones de présence des groupes selon le modèle spatial				
Espèces communes sensibles	4 points par espèce définie comme présente d'après le modèle spatial (y compris la Bécasse des bois en croûle)				
Zone de rassemblement des oies arctiques	5 points par espèce dans les zones de présence des groupes selon le modèle spatial				

contre, les « couloirs quotidiens », c'est-à-dire des corridors de vol entre les dortoirs et les gagnages pour certaines espèces, utilisés pour la carte de sensibilité pour le développement des éoliennes en Flandre (EVERAERT *et al.*, 2011), ont été mis de côté. En effet, cette information n'est disponible que pour la Flandre et est à notre sens redondante avec d'autres couches telles que les emplacements des dortoirs ou des groupes d'ois.

Comme nous l'avons expliqué plus haut, nous posons l'hypothèse que les effets les plus néfastes des lignes à haute tension seraient associés à la présence de rassemblements hivernaux, de dortoirs et de colonies d'oiseaux d'eau, car ces éléments impliquent des mouvements réguliers d'un grand nombre d'oiseaux dans des conditions risquées (aube

et crépuscule). Nous avons également choisi de mettre l'accent sur la présence d'oiseaux rares ou menacés, étant donné que les autorités régionales ainsi que les organisations de conservation de la nature investissent déjà souvent pour la conservation de ces espèces et que même une légère diminution de la mortalité anthropique peut jouer un rôle favorable pour ces espèces généralement longévives. Les cartes thématiques des espèces communes ou des couloirs de migration sont considérées comme d'influence secondaire dans le calcul du score du risque (Tableau 5).

À partir de ces scores, les cartes thématiques ont été combinées dans une grille régulière de 31.472 km² couvrant la Belgique. Pour chacun de ces carrés, la somme des scores relatifs à chacune des cartes thématiques a été calculée

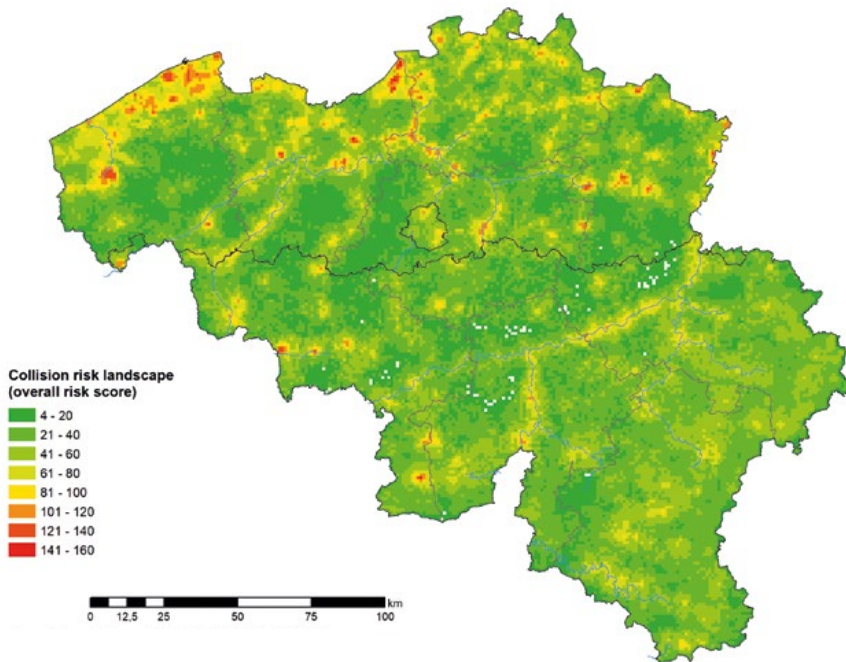


FIGURE 16 | Carte des risques de collision avec les oiseaux en Belgique, où le risque est représenté par un gradient depuis le vert (zones à faible risque) jusqu'au rouge (zones très critiques) / Bird collision risk map in Belgium, where the risk is represented by a gradient from green (low-risk areas) to red (very critical areas).

(Tableau 5). Chaque élément kilométrique a reçu un score final sur base de 17 sous-scores correspondant à toutes les cartes thématiques. Le niveau final de risque obtenu peut donc être relié aux éléments ornithologiques qui le composent. En combinant tous les maxima possibles, le score maximum possible est de 176. Le score le plus élevé observé est de 153, pour un carré situé à Doel, dans une zone de nature restaurée dans le cadre des compensations pour l'expansion du port d'Anvers.

La carte de risque finale est présentée à la Figure 16: Carte des risques de collision en Belgique, où le risque est représenté par un gradient depuis le vert (zones à faible risque) jusqu'au rouge (zones très critiques pour les

risques de collision avec les oiseaux). Sans surprise, les zones à risques élevés sont surtout situées à proximité des zones humides et des grands rassemblements d'oiseaux d'eau (polders en Flandre, région d'Anvers, vallées de la Haine et de la Meuse...).

IDENTIFICATION DES LIGNES PRIORITAIRES POUR LA POSE DE BALISES ANTICOLLISIONS

Le réseau aérien des lignes électriques gérées par Elia a été croisé avec notre carte des risques de manière à attribuer à chaque portée de câbles entre deux pylônes (composées de plusieurs conducteurs et d'un câble de garde), le score

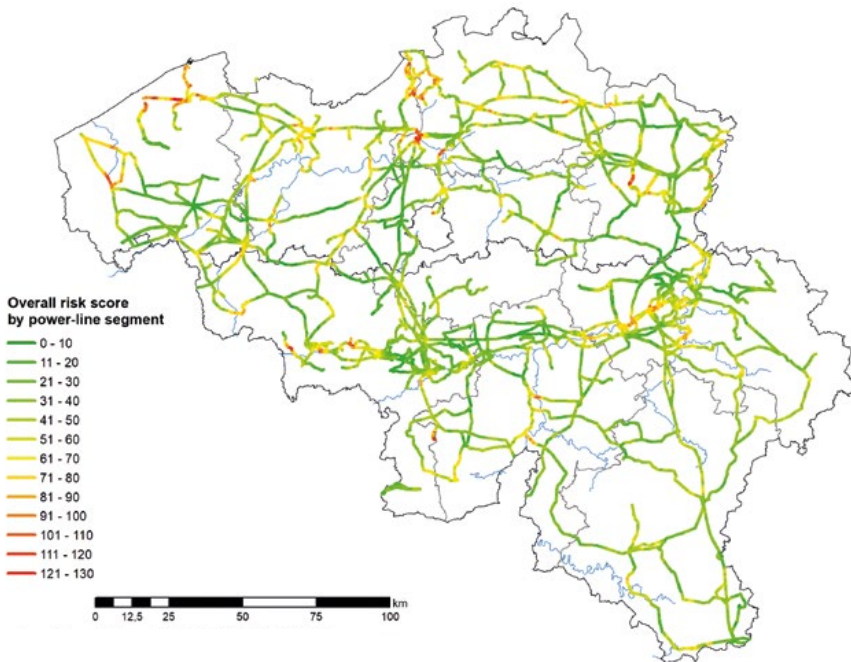


FIGURE 17 | Carte du réseau aérien géré par Elia avec le risque associé à chaque section indiqué par un code couleur. Map of the current Elia grid of power lines. Sections are colour-coded based on their collision risk scores.

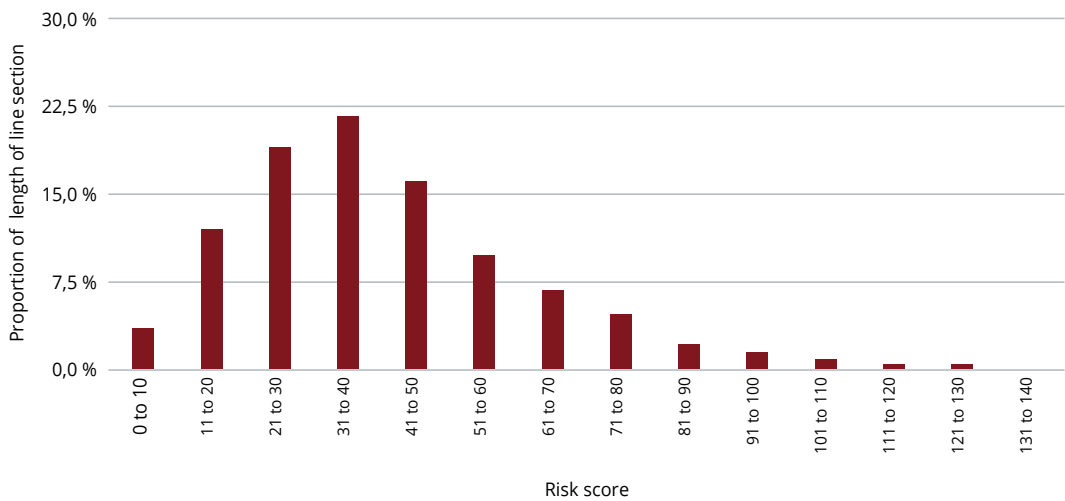


FIGURE 18 | Distribution de fréquence des lignes gérées par Elia en fonction de leur dangerosité pour les oiseaux / Frequency distribution of grouped risk scores for the total length of overhead line sections (for the whole of Belgium).

de risque du carré qu'il traverse. La carte qui en résulte (Figure 17) présente un classement du risque par segment du réseau. La portée jugée la plus dangereuse est la ligne traversant la réserve naturelle de Noordelijk Eiland, au sud d'Anvers, gérée par l'Agence flamande pour la Nature et la Forêt (ANB), avec un score de 133. La ligne la plus dangereuse de Wallonie est celle qui longe les marais d'Harchies avec un score de 130. Cette ligne avait d'ailleurs déjà été identifiée d'une manière indépendante par des observateurs locaux, à cause de collisions anciennes avec au moins une Grande Aigrette et même un Plongeon catmarin *Gavia stellata* (A. MALENGREAU, com. pers.). Il est donc particulièrement encourageant de constater qu'Elia a commencé à équiper cette ligne de balises fin 2020.

La plupart des lignes traversent des zones à risque moyen ou faible (voir Figure 18). Sur l'ensemble du réseau aérien, 5,8 % de la longueur totale a un score de risque supérieur à 80. Cette proportion monte à 15,8 % dans la province de Flandre Occidentale et à 10,2 %

dans la province d'Anvers. La Région de Bruxelles-Capitale ne compte que quelques tronçons de lignes au total, mais le segment entrant dans la région par le nord comporte un risque élevé, de sorte que la proportion de lignes dangereuses est également supérieure à la moyenne (15,2 %).

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

La démarche de cartographie du risque exposée ici, à partir d'une mobilisation de toutes les données ornithologiques disponibles, est innovante. Les cartes de sensibilité sont assez largement utilisées dans le cadre du développement de l'énergie éolienne (BRIGHT *et al.*, 2008; EVERAERT *et al.*, 2011; MCGUINNESS *et al.*, 2015; Morkünè *et al.*, 2020), mais beaucoup plus rarement pour les infrastructures de transport de l'électricité. Lorsque c'est le cas, c'est la planification des risques liés aux

électrocutions, concernant notamment les grandes espèces de rapaces ou les cigognes, qui est envisagée (PÉREZ-GARCÍA *et al.*, 2017; Hernández-Lambraño *et al.*, 2018). Une cartographie du risque de collision des oiseaux sur des lignes à haute tension, concernant l'ensemble des espèces sensibles à l'échelle d'un pays, n'avait, à notre connaissance, jamais été réalisée, malgré l'intérêt pressenti d'une telle démarche (BERNARDINO *et al.*, 2018).

Notre carte de risque constitue un outil d'aide à la décision régulièrement utilisé par Elia depuis sa première édition en 2012 (DEROUAUX *et al.*, 2012). Les zones identifiées comme les plus dangereuses à l'époque ont été visitées sur le terrain par des ornithologues afin de désigner précisément les câbles à équiper de balises, en fonction de la configuration du paysage et du comportement local des oiseaux. En 2019, il est apparu opportun de mettre à jour la carte générale, à partir des nombreuses données accumulées depuis la dernière version, grâce au développement du portail observations.be, et grâce aux systèmes de monitoring à long terme (dénombrements hivernaux des oiseaux d'eau, suivis coordonnés des dortoirs de certaines espèces). L'utilisation du territoire par les oiseaux peut avoir évolué en 10 ans, comme le montre l'exemple des oies dans les polders (KUIJKEN, 2019). Une réévaluation périodique des cartes de sensibilité, par exemple tous les 10 ans, est certainement à prévoir.

Une certaine proportion des lignes identifiées comme dangereuses ont entretemps fait l'objet d'aménagements concrets, comme celle qui passe à côté des marais d'Harchies ou dans la vallée de la Meuse près du site des Awirs. Par ailleurs, des suivis de mortalité sont réalisés principalement dans les zones les plus dangereuses en Flandre, mais aussi en Wallonie (Awirs). Une collecte permanente des données de mortalité a été lancée et nous invitons, à ce propos, tous les observateurs

à utiliser le portail Observations.be pour y enregistrer toutes les découvertes présentes ou anciennes de cadavres trouvés sous la ligne électrique, en localisant le mieux possible l'emplacement de la découverte et en précisant « victime d'une ligne électrique » dans le champ comportement. Cela peut concerner des collisions, mais aussi des oiseaux retrouvés morts électrocutés au pied de pylônes de lignes à basse et moyenne tension. Dans plusieurs cas, ces signalements ont mené à la sécurisation des pylônes dangereux par le gestionnaire du réseau.

Les cartes thématiques illustrées ici présentent bien entendu d'autres intérêts plus directs pour les ornithologues. Par exemple, c'est la première fois qu'une cartographie des sites utilisés par les oiseaux d'eau en hiver et classés selon leur importance est publiée à l'échelle de la Belgique. Ces cartes peuvent bien sûr être utilisées pour d'autres applications. Les lignes à moyenne et basse tension peuvent par exemple faire l'objet des mêmes collisions et pourraient donc faire l'objet des mêmes techniques d'atténuation du risque. D'autres combinaisons des cartes thématiques (avec un autre système de score tenant compte des risques spécifiques de l'infrastructure considérée) pourraient être envisagées pour développer des cartes de sensibilité pour d'autres sources de perturbations des oiseaux comme les éoliennes ou l'usage de drones récréatifs, par exemple.

Nous pensons que les détails donnés sur chacune des cartes thématiques démontrent aux ornithologues l'intérêt de continuer à communiquer leurs observations et comptages. C'est uniquement grâce à leur collaboration quotidienne qu'une quantité de données suffisante peut être rassemblée et exploitée dans ce type de problématique. Certaines manières d'encoder ses observations permettent d'encore mieux les valoriser. Plusieurs cartes thématiques



PHOTO 4 | Cygnes chanteurs. Plusieurs anatidés ont tendance à former des rassemblements et disposent d'une morphologie moins propice à éviter les obstacles en vol. Ces deux éléments les rendent particulièrement sensibles aux risques de collision / Whooper Swan *Cygnus cygnus*. Many anatids tend to form gatherings and have a morphology less conducive to avoiding obstacles in flight. These two elements make them particularly sensitive to the risk of collision (Bree, 06.01.2019, © Jack Thora)

présentées ici illustrent cette question. Citons les points suivants, à garder à l'esprit pour encore améliorer l'encodage des données ornithologiques :

- Utiliser au maximum le champ « comportement », en particulier pour indiquer, pour des oiseaux migrateurs comme les pluviers ou la Grue cendrée *Grus grus*, si les oiseaux sont en trajets migratoires ou utilisent le site renseigné comme zone de halte (en indiquant par exemple « recherche de nourriture » ou « se reposant »), ou dans le cas contraire, si les oiseaux sont en vol.
- Pour des oiseaux nicheurs, utiliser systématiquement le champ comportement
- Les dortoirs communautaires de toutes les espèces devraient être mentionnés systématiquement en utilisant la mention « dortoir » dans le champ comportement et en n'hésitant pas à ajouter un commentaire pour en dire plus.
- Une attention particulière pourrait être portée aux signalements des lignes de vols (par exemple pour les trajets vers les dortoirs), en précisant des informations sur la direction de

vol. En général, le champ « commentaire » ou « remarque » peut être utilisé au maximum : mieux vaut noter un détail superflu que d'en négliger un qui aurait pu être utile.

À côté de cela, les suivis réguliers, comme les dénombrements hivernaux des oiseaux d'eau et toutes les autres formes de suivis de dortoirs et de colonies ainsi que les suivis migratoires démontrent ici toute leur utilité. Leur combinaison a permis d'établir la carte de risque présentée dans cet article. Celle-ci n'est bien entendu qu'une première étape. Dans les années qui viennent, les différentes institutions ayant contribué à son élaboration souhaitent continuer à contribuer à la réduction de la mortalité des oiseaux liée aux infrastructures électriques, notamment en poursuivant leur collaboration avec le gestionnaire du réseau pour valider la carte, la préciser et rester attentif à d'éventuels nouveaux risques identifiés.

REMERCIEMENTS :

Un travail d'une telle ampleur ne serait pas possible sans les milliers d'observateurs-trices qui, depuis des années, comptent les oiseaux partout en Belgique, transmettent leurs données ou participent à des suivis structurés comme le comptage des oiseaux d'eau. Merci à eux et à ceux qui organisent ces recensements ou valident les données. Le présent travail de synthèse de l'information cartographique a été financé par Elia et nous tenons à remercier en particulier Johan Mortier et ses collègues pour leur soutien et leur souci permanent de rendre le transport de l'électricité plus sûre pour les oiseaux. Certains recensements dont les données ont été utilisées sont aussi réalisés en collaboration et avec des financements des administrations régionales (flamande, wallonne et bruxelloise) en charge de la nature, tout au long de ces années. Les auteurs remercient aussi le comité de lecture de la revue Aves qui a apporté de nombreuses améliorations au manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- AARTS, B. & BRUINZEEL, L.** (2009): *De nationale windmolenrisicokaart voor vogels*. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen. • **ALONSO, J.A. & ALONSO, J.C.** (1999): *Collision of birds with overhead transmission lines in Spain*. in Ferrer, M. & Janss, G.F.E.: *Birds and Power Lines: collision, electrocution and breeding*. Quercus, Madrid: 57-82. • **ANDERSON, W.L.** (1978): Waterfowl collisions with power lines at a coal-fired power plant. *Wildlife Society Bulletin*, 6: 77-83. • **ARNOLD, T.W. & ZINK, R.M.** (2011): Collision mortality has no discernible effect on population trends of North American birds. *PLoS ONE*, 6: e24708. • **BAUER, S., SHAMOUN-BARANES, J., NILSSON, C., FARNSWORTH, A., KELLY, J.F., REYNOLDS, D.R., DOKTER, A.M., KRAUEL, J.F., PETTERSON, L.B., HORTON, K.G. & CHAPMAN, J.W.** (2019): The grand challenges of migration ecology that radar aeroecology can help answer. *Ecography*, 42: 861-875. • **BELGIAN RARE BIRDS COMMITTEE** (2019): *Belgian Official Checklist*. accédé en 2019 par l'adresse <http://www.belgianrbc.be/>. • **BERNARDINO, J., BEVANGER, K., BARRIENTOS, R., DWYER, J., MARQUES, A., MARTINS, R., SHAW, J., SILVA, J. & MOREIRA, F.** (2018): Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation*, 222: 1-13. • **BERNARDINO, J., MARTINS, R.C., BISPO, R. & MOREIRA, F.** (2019): Re-assessing the effectiveness of wire-marking to mitigate bird collisions with power lines: A meta-analysis and guidelines for field studies. *Journal of Environmental Management*, 252: Article 109651. • **BEVANGER, K., BARTSKE, G., BROSETH, H., GJERSHAUG, J.O., HANSEN, F., JACOBSEN, K.-O., KVALOY, P., MAY, R., NYGARD, T., PEDERSEN, H.C., REITAN, O.R., S., STOKKE, S. & VANG, R.** (2009): *Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives* (OPTIPOL), Norwegian Institute of Nature Research Report 504. Progress Report 2009 • **BIO INTELLIGENCE SERVICE** (2012): *Support to the development of a guidance document on electricity, gas and oil transmission infrastructures and Natura 2000*. Draft final report prepared for European Commission - DG ENV. • **BRIGHT, J., LANGSTON, R., BULLMAN, R., EVANS, R., GARDNER, S. & PEARCE-HIGGINS, J.** (2008): Map of

bird sensitivities to wind farms in Scotland: a tool to aid planning and conservation. *Biological Conservation*, 141: 2342-2356. • **COUES, E.** (1876): The destruction of birds by telegraph wire. *American Naturalist*, 10: 734-736. • **D'AMICO, M., CATRY, I., MARTINS, R.C., ASCENSAO, F., BARRIENTOS, R. & MOREIRA, F.** (2018): Bird on the wire: Landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. *Ambio*, 47: 650-656. • **DEROUAUX, A., EVERAERT, J., BRACKX, N., DRIESSENS, G., MARTIN GIL, A. & PAQUET, J.-Y.** (2012): *Reducing bird mortality caused by high- and very-high-voltage power lines in Belgium*, final report, ELIA & Aves-Natagora • **DEVOS, K., ANSELIN, A., DRIESSENS, G., HERREMANS, M., ONKELINX, T., SPANOGHE, G., STIENEN, E., T'JOLLYN, F., VERMEERSCH, G. & MAES, D.** (2016): *De IUCN Rode Lijst van de broedvogels in Vlaanderen (2016)*, Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. Brussels • **DEVOS, K., T'JOLLYN, F., DESMET, P., PIESSCHAERT, F. & BROSENS, D.** (2020): Watervogels–Wintering waterbirds in Flanders, Belgium. *ZooKeys*, 915: 127. • **EUROPEAN COMMISSION** (2018): *Guidance on energy transmission infrastructure and EU nature legislation*, The European Commission. Brussels • **EVERAERT, J., PEYMEN, J. & VAN STRAATEN, D.** (2011): *Risico's voor vogels en vleermuizen bij geplande windturbines in Vlaanderen: Dynamisch beslissingondersteunend instrument*, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.R.2011.32. Brussel • **FRANKLIN, J.** (2009): *Mapping species distribution: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. • **HERNÁNDEZ LAMBRANO, R.E., SÁNCHEZ AGUDO, J.Á. & CARBONELL, R.** (2018): Where to start? Development of a spatial tool to prioritise retrofitting of power line poles that are dangerous to raptors. *Journal of Applied Ecology*, 55: 2685-2697. • **HIJMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L., JONES, P.G. & JARVISS, A.** (2005): Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978. • **JACOB, J.-P., PAQUET, J.-Y., DEVOS, K. & ONKELINX, T.** (2013): [50 ans de dénombrements hivernaux des oiseaux d'eau en Wallonie et à Bruxelles](#). *Aves*, 50: 195-220. • **JENKINS, A.R., SMALLIE, J.J. & DIAMOND, M.** (2010): Avian collisions with power lines: a global review of causes and

mitigation with a South African perspective. *Bird Conservation International*, 20: 263-278. • **KUIJKEN, E.** (2019): Ganzen van de wijs? Kleine rietganzen veroveren de zanstreek. *Het Groene Blad*, 2: 4-6. • **LOSS, S.R., WILL, T. & MARRA, P.P.** (2015): Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46: 99-120. • **MCGUINNESS, S., MULDOON, C., TIERNEY, N., CUMMINS, S., MURRAY, A., EGAN, S. & CROWE, O.** (2015): *Bird sensitivity mapping for wind energy developments and associated infrastructure in the Republic of Ireland*. BirdWatch Ireland, Kilcoole, Wicklow. • **MORKŪNĖ, R., MARČIUKAITIS, M., JURKIN, V., GECEVIČIUS, G., MORKŪNAS, J., RAUDONIKIS, L., MARKEVIČIUS, A., NARŠČIUS, A. & GASIŪNAITĖ, Z.R.** (2020): Wind energy development and wildlife conservation in Lithuania: A mapping tool for conflict assessment. *PLoS ONE*, 15: e0227735. • **ONKELINX, T. & DEVOS, K.** (2019): *Standard analysis wintering waterbirds in Belgium*, Standard report, INBO. Brussels • **PAQUET, J.-Y. & JACOB, J.-P.** (2010): *Liste Rouge 2010 des Oiseaux Nicheurs*. in Jacob, J.-P., Dehem, C., Burnel, A., Dambiermont, J.-L., Fasol, M., Kinet, T., van der Elst, D. & Paquet, J.-Y.: [Atlas des oiseaux nicheurs de Wallonie 2001-2007](#). Série "Faune - Flore - Habitats" n°5. Aves et Région wallonne, Gembloux: 80-95. • **PAQUET, J.-Y., DEROUAUX, A., DUJARDIN, R., LEIRENS, V. & SIMAR, J.** (2017): Site-level Bird Monitoring: are bird-recording web portals delivering? A case study with Natura 2000 sites in Wallonia (Belgium). *Bird Census News*, 30: 3-11. • **PÉREZ-GARCÍA, J.M., DEVULT, T.L., BOTELLA, F. & SÁNCHEZ-ZAPATA, J.A.** (2017): Using risk prediction models and species sensitivity maps for large-scale identification of infrastructure-related wildlife protection areas: The case of bird electrocution. *Biological Conservation*, 210: 334-342. • **PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E.** (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259. • **PRINSEN, H.A.M., SMALLIE, J.J., BOERE, G.C. & PÍRES, N.** (2012): *Guidelines on how to avoid or mitigate impact of electricity power grids on migratory birds in the African-Eurasian region*. CMS Technical Series No.29, AWEA Technical Series No50, CMS Raptors MOU Technical Series No. 3, Bonn, Germany. • **QUINN, M., ALEXANDER, S., HECK, N. & CHERNOFF, G.** (2011): Identification

of bird collision hotspots along transmission power lines in Alberta: an expert-based geographic information system (GIS) approach. *Journal of Environmental Informatics*, 18: 12-21. • **RAAB, R., SCHUETZ, C., SPAKOVSKY, P., JULIUS, E. & SCHULZE, C.H.** (2012): Underground cabling and marking of power lines: conservation measures rapidly reduced mortality of West-Pannonian Great Bustards *Otis tarda*. *BIRD CONSERVATION INTERNATIONAL*, 22: 299-306. • **ROUSSEAU-PIOT, J.-S.** (1995): [Observations récentes de Pluvier guignard \(*Charadrius morinellus*\) en Wallonie. Statut de l'espèce en Belgique et notes sur ses habitudes et son identification.](#) *Aves*, 32: 177-206. • **SILVA, J.P., PALMEIRIM, J.M., ALCAZAR, R., CORREIA, R., DELGADO, A. & MOREIRA, F.** (2014): A spatially explicit approach to assess the collision risk between birds and overhead power lines: a case study with the little bustard. *Biological Conservation*, 170: 256-263. • **TROOST, G. & BOELE, A.** (2019): [Trekstellen.org](#) — Store, share and compare migration data. *Bird Census News*, 32: 17-26.

SUMMARY

Mapping the risk of collisions between birds and high voltage lines in Belgium

High voltage power lines are a source of mortality for many species of birds, which may collide with a line while flying. In order to minimize these collisions, the cables can be fitted with various types of beacons which increase their visibility. The most dangerous locations in Belgium have been identified by mapping the risk of such collisions, in order that the lines in these places may be fitted with visibility-beacons as a priority.

The map is based on the following elements drawn from several ornithological databases: the locations of places where waterbirds gather, of roost sites and of colonies, of areas that are rich in rare and endangered species, of stopover sites for migrating species such as lapwing and plovers, of places that are known for goose grazing, and finally the locations of places reported to harbour certain widespread species said to be especially likely to hit overhead power cables while in flight.

Almost 6 % of the 5,600 km of high-voltage lines in Belgium are considered to be high risk locations. Most of these locations are to be found in regions that are rich in waterbirds such as the edges of the coastal fringe, and in the interior of the country, the bigger valleys and the areas around wetlands. The map is already helping the network management to prioritize the protection measures, and it could allow better planning of network developments in the future.