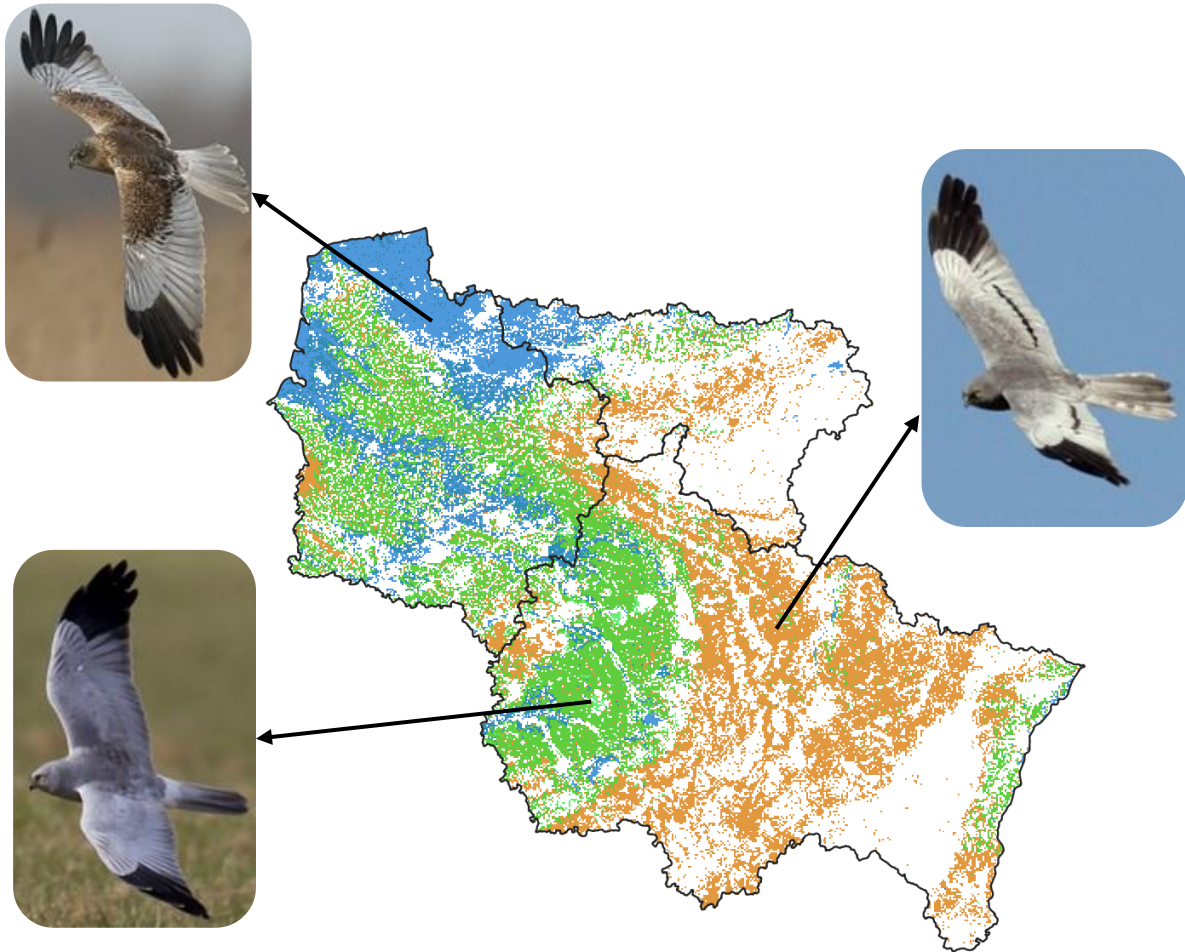


MODÉLISATION DES AIRES DE NIDIFICATION DE TROIS BUSARDS (*CIRCUS SP.*) EN WALLONIE, DANS LES HAUTS-DE-FRANCE ET LE GRAND EST ENTRE 2010 ET 2020



Mémoire de fin d'étude présenté par **Caroline Devillers**

En vue de l'obtention du grade de Master en Biologie des Organismes et Ecologie
à finalité spécialisée en Biologie de la Conservation : Biodiversité et Gestion

Promoteur et co-promoteur : M. Ben Koks et Prof. Nicolas Magain
Encadrant supplémentaire : Mme. Anne-Laure Geboes (Assistante)

Septembre 2021

Modélisation des aires de nidification de trois busards (Circus sp.) en Wallonie, dans les hauts-de-France et le grand est entre 2010 et 2020.

Présenté par Caroline Devillers

Année académique et département : 2020 – 2021, biologie de l'évolution et de la conservation.

Promoteur, co-promoteur et encadrant supplémentaire : M. Ben Koks, Prof. Nicolas Magain et Mme. Anne-Laure Geboes.

Le busard des roseaux (*Circus aeruginosus*), le busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*) et le busard cendré (*Circus pygargus*) sont trois espèces de busards présentes dans l'ouest de l'Europe lors de l'estive pour la reproduction. Menacés par la perte d'habitat naturel, ils pourraient au mieux s'adapter à des habitats de substitution et, au pire, disparaître régionalement. Pour les protéger, trois mesures sont prises : la protection de leurs nids, la mise en place des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC), l'étude de l'évolution des populations.

Dans le but de contribuer à l'amélioration de ces mesures de protection, ce travail tente d'identifier l'habitat de nidification potentiel des trois busards en Wallonie et dans le nord de la France entre 2010 et 2020.

Les résultats montrent que l'habitat utilisé est très restreint par rapport à l'habitat disponible. Les AFM et HSM mettent en évidence l'importance des variables « occupation du sol », « altitude » et « densité d'habitants » sur la répartition des busards. Elles mettent également en évidence la faible importance de l'humidité et du réseau Natura 2000 sur ces mêmes répartitions. Les HSM, via des modèles combinés de trois algorithmes (GLM, RF et Maxent) et évalués par la méthode TSS et ROC permettent de générer des projections d'aires de nidification pour les trois espèces en Wallonie et dans le nord de la France. La comparaison des projections indique que le busard des roseaux présente la plus petite répartition potentielle de nidification, le busard cendré la plus grande et le busard Saint-Martin se situe entre les deux en raison de leurs différents niveaux de tolérance par rapport aux variables environnementales « altitude » et « densité de population ».

Enfin, il semblerait que les mesures agro-environnementales et climatiques aient un impact important sur la protection des busards en milieu agricole.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les associations et personnes qui m'ont apporté leur aide et leurs conseils au cours de l'élaboration de ce mémoire :

Natagora, Picardie Nature, la LPO Alsace, le GEPB ainsi que M. Jean-Yves Moitrot, qui m'ont fourni les données d'espèces, car ces informations représentent des milliers d'heures de travail bénévole.

Mr Arnaud Laudelout, pour m'avoir expliqué comment manipuler les bases de données sur QGIS.

Le Dr. Flavien Collart, pour avoir pris le temps de m'enseigner la méthode du HSM, de répondre à mes nombreuses questions relatives au logiciel R et pour avoir relu ce travail. Je lui suis reconnaissante de n'avoir laissé aucune question sans réponse et de m'avoir fourni ses conseils avisés.

Le Prof. Nicolas Magain, co-promoteur, pour avoir proposé les modélisations de niche comme méthode d'étude et pour ses nombreuses corrections.

Mme Anne-Laure Geboes, pour son suivi attentif et bienveillant et m'avoir permis de travailler sur un sujet concernant les rapaces en me mettant en contact avec M. Koks.

M. Koks, promoteur, pour avoir accepté de superviser ce travail.

0. TABLES

0.1. FIGURES

Figure 1: de gauche à droite : mâles <i>Circus aeruginosus</i> , <i>C. cyaneus</i> et <i>C. pygargus</i> . [6–8]	2
Figure 2 : de gauche à droite et de haute en bas : la distribution des espèces <i>C. aeruginosus</i> , <i>C. pygargus</i> et <i>C. cyaneus</i> selon BirdLife international [4] pour plus de détail voir Annexe III.	4
Figure 3 : Présentation des catégories IUCN, leur acronyme et quelques critères permettant l'évaluation des espèces de la liste rouge. Inspiré de « The IUCN Red List Categories and Criteria » [45]	8
Figure 4 : Représentation des facteurs limitant la distribution des espèces dans l'espace géographique. (Adapté de Zurell D. et Engler O. 2019) [64]	12
Figure 5 : résumé de la méthodologie permettant de modéliser la distribution d'une espèce fictive. (Adapté de Collart F. 2021) [65]	13
Figure 6 : classes de comportements supprimées en l'absence d'informations supplémentaires parmi les données brutes.	17
Figure 7 : A gauche, histogramme semi-logarithmique de la densité de population humaine dans la zone d'étude et à droite, l'histogramme de l'altitudes dans la zone d'étude	24
Figure 8 : Histogramme de l'occupation du sol au sein de la zone d'étude, le détail des catégories est disponible en Annexe VIII.	25
Figure 9 : Graphique des groupes représentant les variables indépendantes et l'importance de leur influence sur la répartition du busard des roseaux lors de la nidification.	28
Figure 10 : Cercle de corrélation des variables quantitatives du jeu de données du busard des roseaux	28
Figure 11 : Graphiques représentant les modalités des variables qualitatives sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard des roseaux. Le graphique de gauche met en évidence la variable N2K et celui de droite, la variable WAW.	29
Figure 12 : Graphique représentant la répartition des individus sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard des roseaux.	29
Figure 13 : Graphique des groupes représentant les variables indépendantes et l'importance de leur influence sur la répartition du busard Saint-Martin lors de la nidification.	30
Figure 14 : Cercle de corrélation des variables quantitatives du jeu de données du busard Saint-Martin.	30
Figure 15 : A gauche, le graphique représentant les modalités des variables qualitatives sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard Saint-Martin. À droite, le graphique représentant la répartition des individus sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard Saint-Martin	31
Figure 16 : Graphique des groupes représentant les variables indépendantes et l'importance de leur influence sur la répartition du busard cendré lors de la nidification.	31
Figure 17 : Cercle de corrélation des variables quantitatives du jeu de données du busard cendré.	32
Figure 18 : A gauche, le graphique représentant les modalités des variables qualitatives sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard cendré et à droite, le graphique représentant la répartition des individus sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard cendré.	32

Tables

Figure 19 : visualisation du jeu de données du busard des roseaux, présentant en vert les données de présence et en rouge les pseudo-absences.....	34
Figure 20 : A gauche, le graphique de TSS en fonction de ROC pour le busard des roseaux.....	34
Figure 21 : Courbes de réponse des variables environnementales selon le modèle RF pour le busard des roseaux.	35
Figure 22 : visualisation du jeu de données du busard Saint-Martin, présentant en vert les données de présence et en rouge les pseudo-absences.....	36
Figure 23 : A gauche, le graphique de TSS en fonction de ROC pour le busard Saint-Martin.....	36
Figure 24 : Courbes de réponse des variables environnementales selon le modèle RF pour le busard Saint-Martin.	37
Figure 25 : visualisation du jeu de données du busard cendré, présentant en vert les données de présence et en rouge les pseudo-absences.....	38
Figure 26 : A gauche, le graphique de TSS en fonction de ROC pour le busard cendré.....	38
Figure 27 : Courbes de réponse des variables environnementales selon le modèle RF pour le busard cendré...	39
Figure 28 : Courbes de réponse de la variable occupation du sol selon RF	40
Figure 29 : Courbes de réponse de la variable humidité selon RF	40
Figure 30 : Courbes de réponse de la variable réseau Natura 2000 selon RF.....	41
Figure 31 : Courbes de réponse de la variables densité de population selon RF.....	41
Figure 32 : Courbes de réponse de la variable altitude selon RF	41
Figure 33 : Miniatures des répartitions potentielles des trois busards disponibles en Annexe IX	42
Figure 34 : Superposition des répartitions potentielles des trois busards.....	42
Figure 35 : Classification des rapaces	
Figure 36 et couverture: C. pygargus mâle vue dorsale [102]	
Figure 37 et couverture: C. cyaneus mâle vue dorsale [103]	
Figure 38 et couverture: C. aeruginosus mâle vue dorsale [104]	
Figure 39: C. pygargus mâle vue ventrale [105]	
Figure 40: C. cyaneus mâle vue ventrale [106]	
Figure 41: C. aeruginosus mâle vue ventrale [107]	
Figure 42: C. pygargus femelle vue dorsale [108]	
Figure 43: C. cyaneus femelle vue dorsale [109]	
Figure 44: C. aeruginosus femelle vue dorsale [110]	
Figure 45: C. pygargus femelle vue ventrale [111]	
Figure 46: C. cyaneus femelle vue ventrale [112]	
Figure 47: C. aeruginosus femelle vue ventrale [113]	
Figure 48 : Distribution de l'espèce C. aeruginosus selon BirdLife international	
Figure 49 : Distribution de l'espèce C. pygargus selon BirdLife international	
Figure 50 : Distribution de l'espèce C. cyaneus selon BirdLife international	

Tables

Figure 51 : Carte des probabilités de présence du busard des roseaux en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020

Figure 52 : Carte de la répartition potentielle du busard des roseaux en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020 74

Figure 53 : Carte des probabilités de présence du busard Saint-Martin en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020 75

Figure 54 : Carte de la répartition potentielle du busard Saint-Martin en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020 75

Figure 55 : Carte des probabilités de présence du busard Cendré en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 202 76

Figure 56 : Carte de la répartition potentielle du busard cendré en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020 76

0.2. TABLEAUX

Tableau 1 : Classification taxonomique du genre *Circus* [1] 2

Tableau 2: Comparatif des morphologies des busards [4,6–10,12,14–16] 3

Tableau 3 : Statuts de protection des busards en France aux niveaux national (selon la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine) et régionaux (selon les différentes listes rouge régionales). [6,9,10,37–39] 9

Tableau 4 : liste des ASBL contactées, des fichiers reçus et des traitements 16

Tableau 5 : indice de reproduction ayant permis au GEPB de classer les données comme localisant un couple ou un nid. 16

Tableau 6 : classes de comportement dont les données ont été conservées et triées "couple" ou "nid". 17

Tableau 7 : Résumé du contenu de la base de données de travail. 18

Tableau 8 : informations permettant de sélectionner les variables potentiellement intéressantes pour le HSM. 19

Tableau 9 : Résumé des variables environnementales sélectionnées dont l'emprise correspond à la zone d'étude. Les listes complètes des modalités des variables qualitatives sont disponibles en Annexe VIII 20

Tableau 10 : Corrélations et méthodes employée entre les variables du jeu de donnée HD..... 25

Tableau 11 : Comparatif des moyennes et étendue de densité de population parmi lesquelles les busards sont présent et au sien de l'habitat disponible. 26

Tableau 12 : Comparatif des moyennes et amplitudes d'altitude occupées par les trois busards et disponible dans la zone d'étude..... 26

Tableau 13 : Comparatif des catégories d'humidité occupées par les busards et disponible dans la zone d'étude. 26

Tableau 14 : Comparatif des zones Natura 200 occupées par les busards et disponible dans la zone d'étude ... 26

Tableau 15 : Comparatif des milieux occupés par les busards et disponible dans la zone d'étude 27

Tableau 16 : Valeurs de TSS en fonction du modèle et des run. En orange les valeur de TSS > 0,7 indiquant les modèles conservé pour l'assemblage. 34

Tables

Tableau 17 : importance des variables indépendante en fonction des modèles pour le busard des roseaux	35
Tableau 18 : Valeurs de TSS en fonction du modèle et des run. En orange les valeur de TSS > 0,7 indiquant les modèles conservé pour l'assemblage.	36
Tableau 19 : Importance des variables indépendante en fonction des modèles pour le busard Saint-Martin....	37
Tableau 20 : Valeurs de ROC en fonction du modèle et des run. En orange les valeur de ROC > 0,7 indiquant les modèles conservé pour l'assemblage.	38
Tableau 21 : importance des variables indépendantes en fonction des modèles pour le busard cendré	39
Tableau 22 : Comparaison des ordres d'importance des variables environnementales selon les espèces et les algorithmes.	40
Tableau 23: Comparaison des ordres d'importance des variables environnementales selon les AFM et HSM ...	44

0.3. ANNEXES

Annexe I.	Détails de la classification des oiseaux de proies.
Annexe II.	Détail des morphologies
Annexe III.	Répartitions géographiques et mouvements migratoires : détails
Annexe IV.	Description spécifique des habitats
Annexe V.	Comportement reproducteur spécifique
Annexe VI.	Comportement alimentaire spécifique
Annexe VII.	Quelques projets de protection des busards Wallons et Français
Annexe VIII.	Modalités des variables environnementales qualitatives
Annexe IX.	Cartes obtenues au terme des HSM

0.4. ABRÉVIATIONS

AFM	Analyse Factorielle Multiple
ASBL	Association Sans But Lucratif
AUC / ROC	Area Under the ROC Curve (méthode d'évaluation)
CA	<i>Circus aeruginosus</i> = Busard des roseaux
CC	<i>Circus cyaneus</i> = Busard Saint-Martin
CITES	Convention on International Trade of Endangered Species
CLC	Corine Land Cover = occupation du sol
CP	<i>Circus pygargus</i> = Busard cendré
CR	Critically endangered
DP	Densité de Population humaine
EEA	European Environment Agency
ELEV	Elevation = altitude
EN	Endangered
EPSG	European Petroleum Search Groupe (identifiant des SCR)
GLM	Generalized Linear Models (algorithme de type régression linéaire)
HD	Habitat Disponible
HSM	Habitat Suitability Models
IUCN	International union for Conservation of nature
LC	Least Concern
MAEC	Mesures Agro-Environnementales et Climatiques
Maxent	Maximum of Entropy (algorithme de type machine learning)

Tables

MB	Méthode de base
MC	Méthode ciblée
N2K	Réseau Natura 2000
NM	Niche Modeling
NT	Near Threatened
PCB	Polychlorobiphényle
PKG	Package
RF	Random Forest (algorithme de type machine learning)
SCR	Système de Coordonnées de Référence
TSS	True Skill Statistic (méthode d'évaluation)
UE	Union Européenne
VU	Vulnerable
WAW	Water And Wetness = humidité du milieu

Table des matières

0. Tables	
1. Introduction.....	1
1.1. Introduction générale	1
1.2. Description des busards	2
1.2.1. Classification.....	2
1.2.2. Morphologies	3
1.2.3. Répartition et Habitat	4
1.2.4. Reproduction.....	5
1.2.5. Menaces	5
1.2.6. Protection Réglementaire et conventionnelle.....	7
1.2.7. Statut de protection	8
1.3. Protection des busards.....	9
1.3.1. MAEC (Mesures Agro-Environnementales et Climatiques)	9
1.3.2. Protection des nids.....	11
1.3.3. Suivit des populations	11
1.4. Conservation, Niche Modeling et Niche écologique	11
1.5. Objectifs.....	13
2. Matériels et méthodes	14
2.1. Matériels.....	14
2.1.1. Outils informatiques.....	14
2.1.2. Limites de la zone d'étude	14
2.1.3. Variable dépendante : relevé d'observation.....	15
2.1.4. Variables indépendantes : variables environnementales.....	18
2.2. Méthode	21
2.2.1. Analyses descriptives	21
2.2.2. Analyses exploratoires : AFM	22

Table des matières

2.2.3.	Analyses prédictives : HSM	22
3.	Résultats.....	24
3.1.	Analyses descriptives.....	24
3.1.1.	Quel est l'habitat disponible en Wallonie et dans le Nord de la France entre 2010 et 2020 pour la nidification des busards ?	24
3.1.2.	Y'a-t-il des Corrélations entre les variables environnementales ?	25
3.1.3.	Comparaison des résultats des analyses descriptives entre espèces.....	26
3.2.	Quelles sont les variables influençant la nidification ? (Analyses exploratoires)	28
3.2.1.	Busard des roseaux (<i>C. aeruginosus</i>)	28
3.2.2.	Busard Saint-Martin (<i>C. cyaneus</i>).....	30
3.2.3.	Busard cendré (<i>C. pygargus</i>)	31
3.2.4.	Comparaison des résultats des AFM entre les espèces.	33
3.3.	Quelles sont les zones de Nidification Potentielles ? (Analyses prédictives).....	34
3.3.1.	Busard des roseaux (<i>C. aeruginosus</i>)	34
3.3.2.	Busard Saint-Martin (<i>C. cyaneus</i>).....	36
3.3.3.	Busard cendré (<i>C. pygargus</i>)	38
3.3.4.	Comparaison des résultats des HSM entre les espèces.....	40
4.	Discussion.....	43
4.1.	Résultats	43
4.2.	Limitations	46
5.	Conclusion	47
6.	Perspectives.....	48
7.	Bibliographie	
8.	Annexes	

1. INTRODUCTION

1.1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le busard des roseaux (*Circus aeruginosus*), le busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*) et le busard cendré (*Circus pygargus*) sont trois espèces de busards présentes dans l'ouest de l'Europe lors de l'estive pour la reproduction. Ils sont classés de « vulnérable » à « en danger critique d'extinction » en Wallonie et dans le nord de la France (Hauts-de-France et Grand Est), en effet, ils sont menacés par la perte d'habitats naturels et pourraient au mieux s'adapter à des habitats de substitution ou, au pire, disparaître régionalement.

Pour les protéger, trois mesures sont prises : la protection de leurs nids, la mise en place des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC), l'étude de l'évolution des populations.

L'objectif principal de ce travail est d'identifier l'habitat de nidification potentiel des trois busards en Wallonie et dans le nord de la France. Les résultats pourraient permettre de mieux connaître et par conséquent de mieux protéger ces trois espèces en optimisant la recherche des nids ou en fournissant un support pour la prise de décision concernant les MAEC.

Pour atteindre ces objectifs, un exposé des connaissances générales concernant l'écologie, et la protection de ces espèces sera présenté. Les concepts de niche écologique et de modélisation de niche seront introduits.

Ces connaissances seront nécessaires à la bonne application et à la bonne interprétation des analyses employées pour étudier les busards en Wallonie et dans le nord de la France entre 2010 et 2020. Les analyses employées sont les suivantes : uni- et bivariée (descriptives), Analyses Factorielles Multiples (exploratoires) et Habitat Suitability Models (prédictives).

Ces analyses, effectuées sur des données d'observation permettront de décrire les différents habitats des trois busards et d'extraire une projection graphique de leurs répartitions potentielles pour la nidification.

Avant de conclure, les résultats obtenus et les méthodes employées pour les acquérir seront discutés.

1.2. DESCRIPTION DES BUSARDS

1.2.1. CLASSIFICATION

Tableau 1 : Classification taxonomique du genre *Circus* [1]

Règne	Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Genre
Animalia	Chordata	Aves	Accipitriformes	Accipitridae	<i>Circus</i>

Selon l'IOC¹ en février 2021, les oiseaux de proie² sont divisés en trois ordres : les Strigiformes (nocturnes), les Falconiformes (faucons et caracaras) et les Accipitriformes (tous les autres). Au sein de ce dernier ordre, il existe quatre familles : Cathartidae, Pandionidae, Sagittariidae et Accipitridae. Les oiseaux de cette dernière famille, dont les busards font partie, sont caractérisés par un dimorphisme sexuel (le mâle étant en moyenne un tiers plus petit que la femelle), une vision binoculaire importante, la mâchoire supérieure du bec recourbée en crochet, des pattes munies de 4 serres, un régime carnivore, des relations généralement monogames et des poussins nidicoles. [1–4]

Les busards sont regroupés sous le genre *Circus* comprenant 16 espèces dont six sont présentes sur le continent Européen et seulement trois d'entre elles se reproduisent dans l'ouest de l'Europe : *C. aeruginosus* (busard des roseaux), *C. cyaneus* (busards Saint-Martin) et *C. pygargus* (Busard cendré) ([Figure 1](#)). [5]



Figure 1: de gauche à droite : mâles *Circus aeruginosus*, *C. cyaneus* et *C. pygargus*. [6–8]

¹ *International Ornithological Congress* : La Liste mondiale des oiseaux de l'IOC est une ressource en libre accès pour la communauté internationale des ornithologues. Elle présente une classification des oiseaux à jour. [1]

² Une illustration plus détaillée de la classification des oiseaux de proie est disponible en **Annexe I**.

1.2.2. MORPHOLOGIES

Les busards sont des rapaces de taille moyenne de 40 à 56 cm pour une envergure de 97 à 130 cm présentant une silhouette fine et de longues rectrices³ (Tableau 2). Le dimorphisme sexuel⁴ est bien marqué, les femelles sont plus foncées et plus grandes que les mâles. La différenciation entre les femelles et les jeunes de busards cendré et Saint-Martin n'est pas aisée car ils sont de couleurs assez semblables. En plus d'un disque facial⁵, tous les individus volants ont les tarses, les doigts et la cire du bec jaunes ainsi que le bec et les ongles noirs. [2,5,9–16]

Tableau 2: Comparatif des morphologies des busards [4,9–13,15,17–19]

Critères	<i>Circus aeruginosus</i>	<i>Circus cyaneus</i>	<i>Circus pygargus</i>
Mâle	Le corps est brun, la tête est beige avec un masque facial brun et les ailes sont tricolores en vue dorsale (noir, brun et gris) et bicolore en vue ventrale (blanc et noir).	En vue dorsale, il est entièrement gris sauf le bout des ailes noires et le croupion blanc. En vue ventrale, le corps est blanc, la tête et les ailes sont grises avec les extrémités et des bordures noires.	En vue dorsale, il est entièrement gris sauf les extrémités des ailes et une barre allaire noires. En vue ventrale, il est gris strié de brun et de noir avec les extrémités des ailes noires.
Femelle	Elle est entièrement brune sauf la tête et les épaules qui sont beiges. Une barre brune passe sur les yeux.	Elle est entièrement brune à l'exception du croupion. La tête est plus grosse et la tâche blanche sur le croupion est plus étendue que chez le busard cendré.	Elle est entièrement brune à l'exception du croupion. La tête est plus petite et la tâche blanche sur le croupion est moins étendue que chez le busard Saint-Martin.
Taille	49 à 56 cm	44 à 52 cm	39 à 50 cm.
Envergure	110 à 130 cm	99 à 121 cm	97 - 115 cm
Poids	Mâle : 530 - 730 g Femelle : 720 - 960 g	Mâle : 290 - 400 g Femelle : 395 - 600 g	Mâle : 230 - 370 g Femelle : 290 - 450 g
Autres	5 doigts à la main	5 doigts à la main	4 doigts à la main

³ Terme anatomique désignant les plumes de la queue des oiseaux.

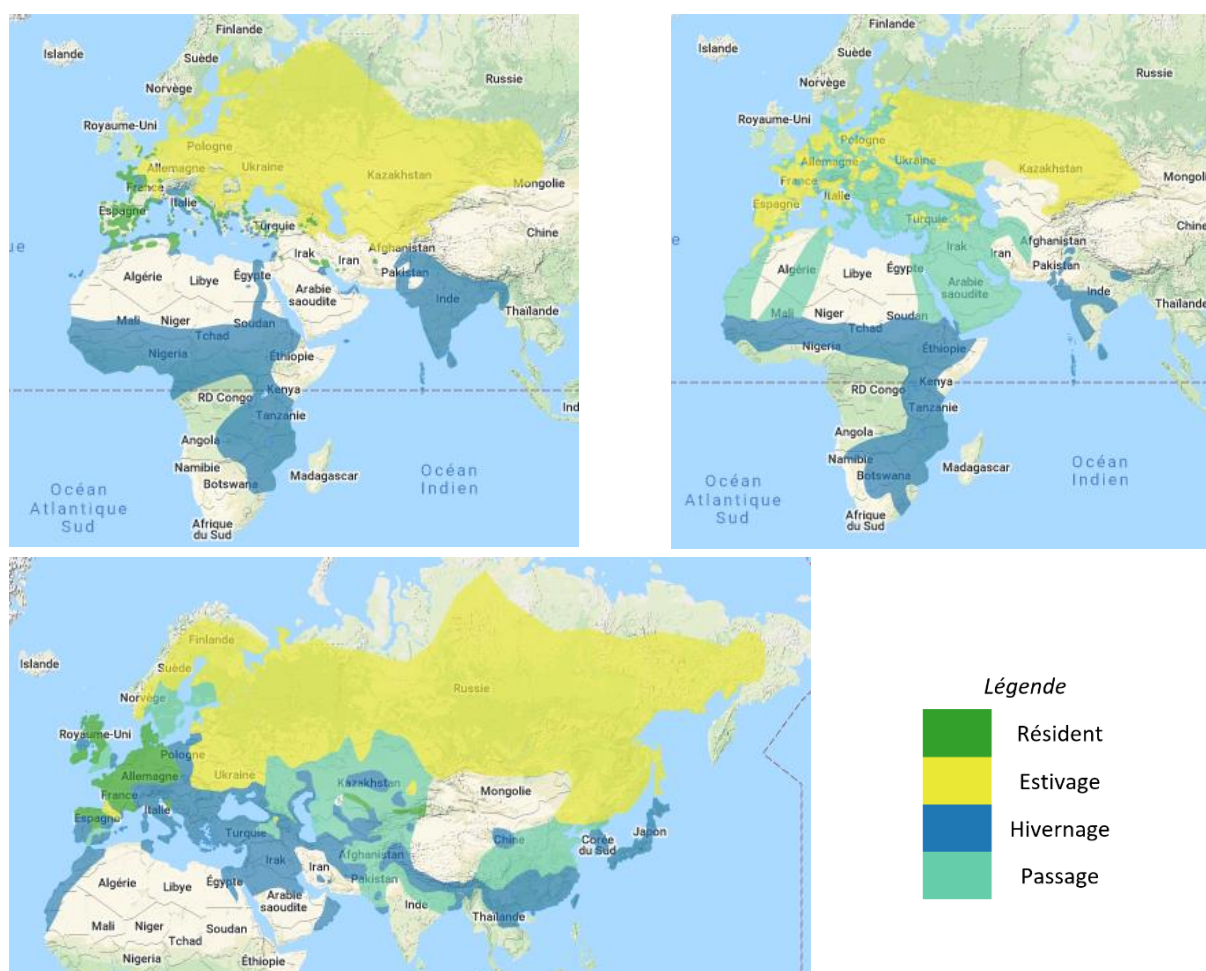
⁴ Des illustrations des mâles et des femelles ainsi que des descriptions plus détaillées de chaque espèce sont disponible en **Annexe II**.

⁵ Ce disque facial est formé par des petites plumes dures, dessinant un cercle autour des yeux. Il ressemble à celui des rapaces nocturnes et a probablement la même fonction liée à l'acuité auditive, il est particulièrement bien visible chez *C. aeruginosus*. [9–11]

1.2.3. RÉPARTITION ET HABITAT

Au niveau de la répartition, les trois espèces sont présentes en Europe occidentale durant l'estive, en dehors de cela elles présentent des distributions⁶ assez différentes, comme en témoigne la Figure 2. Ce sont toutes les trois des espèces migratrices, bien que les *C. aeruginosus* et *C. cyaneus* présentent quelques populations sédentaires.

Concernant l'habitat⁷, les busards sont des oiseaux préférant les espaces ouverts naturels, cependant, depuis le milieu du 20^{ème} S, la raréfaction des espaces naturels a encouragé les trois espèces à s'adapter à d'autres milieux plus anthropisés tel que des espaces cultivés (prairies pâturées ou fauchées, et surtout les champs⁸). Cette adaptation entraîne la colonisation de nouvelles régions. [5,9,15,18,21–23]



⁶ Une explication détaillée des distributions est disponible en **Annexe III**.

⁷ Dont le détail par espèce est disponible en **Annexe IV**.

⁸ Champs de graminées, légumineuses et oléagineuses selon les régions et leurs spécialités agricoles. En Belgique les busards établissent leur nid préférentiellement dans les champs de froment, d'escourgeon, de blé ou dans les prairies temporaires semées en ray-grass, [5,14,15,20]

1.2.4. REPRODUCTION

Les busards sont des animaux très discrets en dehors de la période de reproduction. Lors de cette dernière, ils se manifestent vocalement et visuellement au cours des parades nuptiales aériennes acrobatiques⁹. [9,12,13,19]

En résumé, la reproduction¹⁰ se décline en quatre temps.

- 1) En revenant de migration, les adultes se territorialisent sur un site, exécutent des parades nuptiales et construisent un nid. Les busards ont pour spécificité de nicher au sol sans construire d'aire (zone aménagée à proximité du nid).
- 2) Ensuite, entre la mi-avril et la mi-juin selon l'espèce et la région (latitude et climat), 3 à 6 œufs sont pondus selon la quantité de nourriture disponible. L'incubation (+/- 1 mois) incombe principalement à la femelle, tandis que le mâle s'occupe de la nourrir.
- 3) Entièrement dépendants à la naissance, les poussins restent au nid plus ou moins un mois tout en explorant la végétation alentour dès qu'ils peuvent marcher. Le premier envol à la fin de juillet ne signe pas l'autonomie du jeune.
- 4) Durant la dernière période (+/- un mois) le poussin acquiert autonomie et indépendance en se musclant et en apprenant à chasser. Durant ce temps, les parents demeurent les protecteurs et les pourvoyeurs de nourriture.

Les lieux de reproduction sont abandonnés à la fin août - début septembre. [4,5,14,16–19,21–26]

1.2.5. MENACES

On compte parmi les menaces d'origines naturelles, en premier lieu, les mauvaises conditions météorologiques telles que le froid et l'humidité, notamment durant le printemps, qui sont défavorables au développement des jeunes ; ensuite, les interactions biotiques dont la prédation par les carnivores (renards, sangliers, mustélidés, milans, faucons pèlerins, Grands-Ducs d'Europe, etc), la compétition inter- et intraspécifique pour l'alimentation et les sites de nidification ; enfin, la fermeture naturelle des milieux ouverts entraînant la diminution de l'habitat naturel des busards. [5,12,14,18,22,23,27–30]

⁹ Elles s'effectuent à haute altitude et sont composées de piqués, de vrilles et d'un cérémonial du passage de proies du mâle à la femelle, typique des busards. [15]

¹⁰ Une description spécifique est disponible en **Annexe V**.

La régression de l'habitat naturel en faveur de zones cultivées est la principale menace d'origine anthropique. Elle s'effectue via l'assèchement, le drainage, le pâturage intensif, l'eutrophisation des milieux ouverts et le reboisement pour la sylviculture. Cela réduit les zones potentielles de nidification, d'hivernage et de la chasse¹¹ conduisant les busards à investir des milieux cultivés. Une autre hypothèse concernant cette colonisation suggère que les milieux céréaliers seraient devenus plus attractifs (disponibilités alimentaires accrues, couvert végétal mieux apprécié). Cependant, la modernisation et l'intensification de l'agriculture engendrent la précocité de certaines récoltes : les moissons intervenant avant l'envol des oisillons entraînent la destruction de nombreuses nichées. [4,5,9,12–15,17–19,22,23,27,31–33]

L'humain exerce également un impact sur les ressources alimentaires¹² des busards. L'empoisonnement volontaire des nuisibles (via les pesticides comme le bromadiolone), involontaire du milieu (pollution aux PCBs) et les gibiers plombés lors de la chasse réduisent leurs ressources alimentaires et augmentent les empoisonnements par bioaccumulation. L'abandon progressif des prairies au profit des cultures et les pratiques agricoles (hersages et labours) réduisent également les populations de rongeurs. Notons que la raréfaction des proies diminue le nombre d'œufs pondus par les busards et retarde la date de la ponte. Ce dernier phénomène combiné à la précocité des moissons accroît le nombre de couvées détruites. Bien que les trois espèces soient touchées par le phénomène, le busard cendré est le plus impacté en raison de sa reproduction plus tardive et de la prévalence de couples vivant en milieu agricole. [5,9,12–15,18,22,28,29,33,34]

Il a été démontré que les pertes liées à la destruction des couvées menacent, dans certains cas, la survie des populations en l'absence de mesures de conservation. [33]

De plus, la destruction directe et volontaire par des tirs de chasse et l'empoisonnement des busards en toute illégalité peut jouer localement un rôle, en particulier lorsqu'elle vise des dortoirs nocturnes. [4,5,14,15,17–19,31,32,34]

Enfin, on peut citer d'autres menaces anthropiques auxiliaires comme le développement de parcs éoliens (à l'origine de nombreux décès de rapaces) et la sur-fréquentation de l'habitat à des fins touristiques ou halieutiques (à proximité des zones côtières dans le cas du busard

¹¹ Vraisemblablement, de nombreux jeunes n'arrivent pas à maturité par manque de nourriture. [20]

¹² L'Annexe VI présente les comportements alimentaires des trois espèces de busard.

des roseaux) dérangeant les couples en période de nidification. Notons également que les nids peuvent être rendus plus vulnérables à la prédation par la visite d'ornithologues, entraînant alors un piétinement de la végétation et diminuant son rôle de protection autour des nids. [5,9,12–14,18]

1.2.6. PROTECTION RÉGLEMENTAIRE ET CONVENTIONNELLE

Pour permettre leur conservation, ces espèces sont classées au niveau international en annexe II de la convention de Bonn¹³. [5,15,35–42]

Au niveau Européen, elles sont classées en annexe III de la convention de Berne¹⁴, en annexe I de la directive « oiseaux »¹⁵ et annexe A du règlement UE 338/97¹⁶ parmi les espèces non inscrites aux annexes de la convention de Washington¹⁷ (CITES). [5,15,37–39,43,44]

En France, les trois espèces sont protégées par la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, ainsi que par l'article 3 de l'arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. [5,40–42,46,47]

En Wallonie, selon l'article 2 de la loi du 12 juillet 1973 de la conservation de la nature, les trois busards sont des espèces protégées et selon l'article 25 de cette même loi, ce sont des espèces de référence pour la définition de site Natura2000. [37–39,48]

¹³ La convention de Bonn pour la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage réunit les Etats traversés par les animaux migrateurs, ou Etats de l'aire de répartition. Elle établit les bases juridiques sur lesquelles s'appuient les mesures de conservation coordonnées internationalement pour une espèce migratrice. **L'annexe II** énumère les espèces migratrices dont l'état de conservation est défavorable mais qui ne sont pas menacées, ces dernières étant reprises sous l'annexe I [35]

¹⁴ La convention de Berne a pour objet d'assurer la conservation de la flore et de la faune sauvages et de leur habitat naturel au niveau Européen. **L'annexe III** reprend les espèces de faune protégées (et non « strictement protégées » reprises sous l'Annexe II). [43]

¹⁵ La Directive Européenne 2009/147/CE concernant la conservation des oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen, elle obligea les États membres à prendre les mesures nécessaires pour maintenir les populations d'oiseaux à un niveau correspondant aux exigences écologiques, scientifiques et culturelles. Elle permet également la désignation de Zones de Protection Spéciales qui sont destinées à renforcer le réseau Natura 2000. Les espèces mentionnées à **l'annexe I** font l'objet de mesures de conservation spéciale concernant leur habitat, afin d'assurer leur survie et leur reproduction dans leur aire de distribution [44].

¹⁶ Le Règlement (CE) no 338/97 du Conseil du 9 décembre 1996 relatif à la protection des espèces de faune et de flore sauvages par le contrôle de leur commerce. **L'annexe A** concerne tous les oiseaux indigènes ou passant par l'Europe lors de leurs migrations. [45]

¹⁷ La convention de Washington, ou convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (Convention on International Trade of Endangered Species, CITES) est un accord international entre les Etats qui a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie de ces espèces. [36]

1.2.7. STATUT DE PROTECTION

Selon l'International Union for Conservation of Nature (IUCN), les trois espèces sont classées « préoccupation mineure » (Least Concerned ou LC) au niveau mondial pour les raisons suivantes. (Les catégories IUCN sont présentées à la [Figure 3](#)). [18]

- Les tailles des populations sont importantes, bien que les estimations doivent être affinées (de 500 000 à 999 000 individus matures pour le busard des roseaux, 100 000 à 499 999 pour les deux autres).
- La population de busard des roseaux suit une tendance croissante alors que celles des autres busards semblent diminuer, mais le déclin n'est pas estimé comme suffisamment rapide pour se rapprocher des seuils de vulnérabilité selon le critère de tendance de la population.
- Les aires de répartition des trois espèces sont extrêmement vastes au niveau mondial, comme le montre la [Figure 2](#). [18]

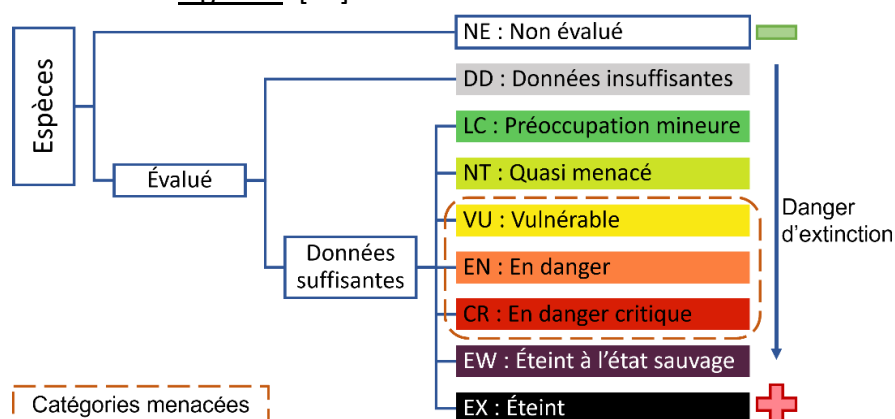


Figure 3 : Présentation des catégories IUCN, leur acronyme et quelques critères permettant l'évaluation des espèces de la liste rouge. Inspiré de « The IUCN Red List Categories and Criteria » [45]

Au niveau européen, les busards des roseaux et cendré sont classés « préoccupation mineure » (LC), selon l'IUCN, pour les mêmes raisons qu'au niveau mondial. La différence réside dans les chiffres : les populations nicheuses compteraient un nombre d'individus matures allant de 199 000 à 367 000 pour le busard des roseaux et 109 000 à 184 000 pour le busard cendré. De même qu'au niveau mondial, les aires de répartition de ces deux espèces sont extrêmement vastes. [9,13,18]

En revanche, le busard Saint-Martin est classé « quasi menacé » (NT) au niveau européen (60 000 à 109 000 individus matures) car on estime que la taille de la population devrait diminuer à un taux proche de 30% sur la période de 2000 à 2024 (trois générations) ce qui correspond au seuil de vulnérabilité selon le critère de tendance de la population. [9,15]

En France, le *C. aeruginosus* est le busard le plus rare du pays, sa population est considérée comme stable (entre 1 600 et 2 200 couples). Les deux autres espèces sont considérées comme en déclin (entre 3 800 et 5 100 couples pour le *C. pygargus* et entre 5 300 et 8 000 couples pour le *C. cyaneus*). Leurs statuts sont présentés dans le Tableau 3. [9,12,13,40–42]

Tableau 3 : Statuts de protection des busards en France aux niveaux national (selon la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine) et régionaux (selon les différentes listes rouge régionales). [9,12,13,40–42]

Espèces	Statut de protection national	Statuts de protection régionaux
<i>C. aeruginosus</i>	NT	De VU à CR ¹⁸
<i>C. cyaneus</i>	LC	De LC à CR
<i>C. pygargus</i>	NT	De VU à CR

Les trois busards sont très rares en Wallonie, ils font partie de la liste rouge des oiseaux nicheurs de Wallonie et y sont classés comme « en danger » (EN). [24,37–39,49,50]

1.3. PROTECTION DES BUSARDS

Sur le terrain, la protection des busards se divise en trois parties, la protection à long terme visant l'amélioration des sites d'habitat via la sensibilisation et l'encouragement à la mise en place des Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) ; la protection à court terme assurant la réussite d'un maximum de nidification ; et le suivi des populations via l'observation et le recensement des individus¹⁹. [5,51–53]

1.3.1. MAEC (MESURES AGRO-ENVIRONNEMENTALES ET CLIMATIQUES)

Faisant partie intégrante du deuxième pilier²⁰ de la politique agricole commune mise en place par l'Union européenne, les MAEC représentent le programme agro-environnemental wallon mis en place en réaction à la perte de biodiversité. Selon Natagriwal (chargé de la gestion de ces mesures en Wallonie), elles correspondent à une liste de pratiques favorisant « la protection de l'environnement, la conservation du patrimoine et le maintien des paysages en zones agricoles ». [20,54,56]

De ce fait, les financements proviennent de l'Union européenne et de la Région wallonne. Ils sont utilisés pour compenser financièrement (jusqu'à 1.500 €/ha) les pertes de rendement induites par la mise en place de MAEC. Les agriculteurs s'engagent volontairement pour une durée de 5 ans, période contractuelle qui peut être renouvelée plusieurs fois. [55–57]

¹⁸ M. Koks signale que le statut national du *Circus aeruginosus* serait en cours de révision en raison d'un déclin accentué de l'espèce.

¹⁹ Quelques projets de protection wallons et français illustrent les deux dernières parties en **Annexe VII**.

²⁰ Ce pilier a pour objectif la plurifonctionnalité de l'agriculture, la protection de l'environnement et le développement rural. [54,55]

Le programme agro-environnemental wallon effectif de 2014 à 2020²¹, présente six « méthodes de base » (MB) et cinq « méthodes ciblées » (MC). Le financement est octroyé sans contraintes à tous les agriculteurs volontaires pour les MB, alors qu'il n'est accordé que sur avis d'expert pour les MC. L'expert de Natagriwal a pour rôle de définir la méthode adaptée à la situation de l'exploitation ainsi qu'aux enjeux environnementaux identifiés. [20,54,55]

À condition que la localisation soit bien choisie – milieu ouvert – les MAEC qui pourraient augmenter la capacité d'accueil des plaines de cultures en Wallonie par rapport aux busards sont les suivantes [20] :

- MB5 : tournières enherbées²²
- MB6 : cultures favorables à l'environnement - variante « céréales d'hiver sur pied »
- MC7 : parcelles aménagées²³
- MC8 : bandes aménagées pour la faune

Ces mesures offrent une source de nourriture et/ou des sites de nidification aux busards. Dans le premier cas, les aménagements permettraient aux busards de repérer facilement les rongeurs lors de la chasse. Ce qui permettrait de pallier au problème de jeunes n'atteignant pas la maturité par manque de nourriture. Dans le second cas, le mieux est de combiner les MAEC avec la protection des nids pour éviter le problème des nichées moissonnées. [20]

Selon A. Schlaich, il semblerait que les bandes enherbées (de types MB5, MC7 ou MC8) employées seules le long de champs seraient inefficaces pour faciliter la recherche de nourriture. En effet, les hautes herbes caractérisant ces jachères compliquent la capture de proie. En revanche, si ces bandes sont combinées à des bandes de luzerne, elles rencontrent l'objectif : augmenter la population de campagnols grâce aux bandes enherbées et leur disponibilité pour les busards après la récolte des bandes de luzerne. Cette combinaison est nommée « Birdfields ».[58]

²¹ Le programme suivant n'est pas encore disponible.

²² Bandes étroites en bordure de champs dont le couvert correspond à une prairie (graminées et légumineuses) et dont l'exploitation est peu intensive et sans intrants. [55]

²³ En fonction de l'enjeu environnemental identifié dans l'exploitation (biodiversité, faune, érosion, eaux de surface ou souterraines), le choix de la localisation, de la composition du couvert végétal et du mode de gestion sera différent. Contrairement à la MC8 l'aménagement peut être polygonale. [55]

1.3.2. PROTECTION DES NIDS

La protection des nids, majoritairement assurée par des bénévoles, se décline en plusieurs étapes. La première est la recherche de nidifications qui débute avec les retours des estivants, elle consiste en la détection à distance des nids par l'observation des comportements des adultes. Cette étape peut être particulièrement fastidieuse étant donné la discrétion des busards comme expliqué au point 1.2.4 Reproduction. Lorsqu'un nid est repéré, il est signalé aux autorités compétentes (le DNF en Wallonie) et éventuellement à l'agriculteur concerné. [52,59–62]

Ensuite, viennent le suivi de la nidification et l'évaluation de la nécessité de mettre en place des mesures de protection ou non selon la localisation, le risque de prédation, le type de culture, les dates de moissons, etc... [52,59,62,63]

Si la protection s'avère nécessaire, celle-ci peut prendre plusieurs formes (allant de la mise en place d'une cage de 1m² en grillage pour poules jusqu'au déplacement du nid). Elle doit toujours être visible pour les entrepreneurs qui feront la moisson (piquets) et également efficace contre les prédateurs (grillage ou clôture électrique). Qu'une protection soit mise en place ou non, la nidification fait l'objet d'un suivi jusqu'à ce que le nid se soit vidé de tous ses occupants, c'est également à ce moment que la protection est démontée si sa mise en place eu été nécessaire. [52,59,62,63]

1.3.3. SUIVIT DES POPULATIONS

Les observations réalisées sur le terrain, majoritairement par des bénévoles, permettent aux scientifiques de suivre l'évolution des populations et de les étudier afin d'améliorer les méthodes de protections. [51,61]

1.4. CONSERVATION, NICHE MODELING ET NICHE ÉCOLOGIQUE

Afin d'appuyer des décisions en matière de conservation, les modélisations de niches (Niche Modeling – NM en anglais) sont de plus en plus utilisées. Elles permettent d'étudier la répartition géographique des espèces et des facteurs limitant ces répartitions. Les NM peuvent être utilisés dans de nombreuses applications tel que l'étude d'espèces invasives, l'identification d'habitat nécessaire à la survie de certaines espèces, la sélection de zones à instituer en réserves ou encore la translocation des espèces en voie de disparition. [64–66]

Ces modélisations reposent sur le concept de niche écologique qui représente l'ensemble des facteurs biotiques, abiotiques ainsi que le concept de métapopulations sources et puits

qui déterminent ensemble la présence de l'espèce dans un habitat donné comme le présente la Figure 4. [67–69]

G. Evelyn Hutchinson décrit la niche fondamentale d'une espèce comme un hypervolume à n-dimensions comprenant toutes les conditions environnementales au sein duquel la population d'une espèce à un taux de croissance positif et peut persister indéfiniment (les facteurs abiotiques). [67,70,71]

Cependant, les espèces interagissant entre elles, les facteurs biotiques déterminent si l'une d'elles peut prévaloir en présence d'autres. L'intersection entre les conditions abiotique et biotique est généralement appelée la niche réalisée d'une espèce. [68,71]

Les concepts de populations sources et puits expliquent que certaines populations d'une espèce peuvent être absentes d'habitats adaptés - en raison des limites de dispersion spécifiques - ou se trouver dans des habitats inadaptés mais accessibles. Dans le second cas, on parle de population « puits » car les taux de croissance des populations y sont négatifs, tandis que les populations sources présentent un taux de croissance positif car elles se situent dans des habitats aux conditions biotiques et abiotiques favorables. [70,71]

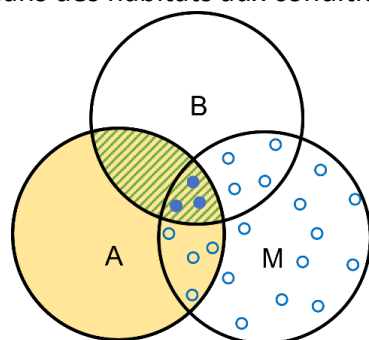


Figure 4 : Représentation des facteurs limitant la distribution des espèces dans l'espace géographique : les facteurs abiotiques représentés par le cercle A déterminent la niche fondamentale (en jaune) ; les facteurs biotiques (B) déterminent, à l'intersection avec A, la niche réalisée (hachuré vert) ; les zones géographiquement accessibles aux métapopulations (M) déterminent aux interactions avec les autres facteurs, d'un côté, des zones contenant des populations sources (cercles bleus pleins) avec un taux de croissance positive grâce aux conditions biotiques et abiotiques favorables et d'un autre côté, des zones contenant des populations puits (cercles bleus creux) où le taux de croissance est négatif en raison des conditions abiotiques suboptimales ou de la compétition. (Adapté de Zurell D. et Engler O. 2019) [64]

Les NM permettent donc d'étudier la niche écologique d'une espèce en fournissant un cadre pour quantifier de manière empirique la relation espèce-environnement et prédire par interpolation la répartition d'une espèce dans l'espace et dans le temps (Figure 5). [69,71–75]

Parmi les données d'entrée, le NM utilise comme variable réponse ou dépendante un relevé de distribution géographique de l'espèce observée (occurrence, présence-absence ou abondance). Les variables prédictives ou indépendantes sont un ensemble de variables environnementales représentant les conditions écologiques de l'espèce étudiée. [71–74]

Afin de quantifier les relations entre les observations de terrain des individus d'une espèce donnée et les conditions environnementales prévalant aux mêmes endroits, des algorithmes statistiques et/ou des méthodes d'apprentissage automatique sont employés. [71,74]

La répartition potentielle de l'espèce est prédite en calculant la probabilité de viabilité d'habitat pour l'espèce en fonction de la relation « espèce-environnement » quantifiée et des

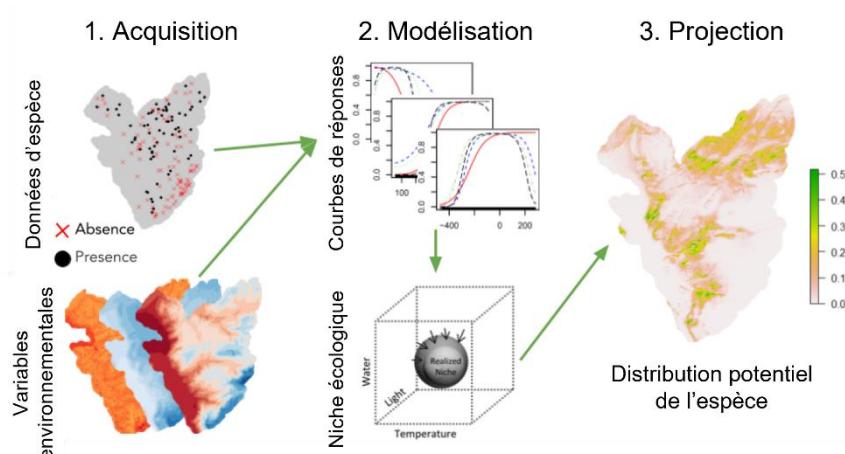


Figure 5 : résumé de la méthodologie permettant de modéliser la distribution d'une espèce fictive. (Adapté de Collart F. 2021) [65]

conditions environnementales locales fournies par des cartes numériques de la situation environnementale actuelle. [71]

Dans la littérature, les modélisations de niche peuvent porter de nombreux noms qui, dans le meilleur des cas, ne font que préciser le contexte de l'étude : ecological niche models, species distribution models, habitat distribution models, climate-envelope models, resource selection functions et bien d'autres [66,72,74]. Dans ce mémoire, c'est le terme Habitat Suitability Models (HSM) qui sera employé sur base de la méthode décrite dans l'ouvrage de référence « Habitat Suitability and Distribution Models : with applications in R ». [72]

1.5. OBJECTIFS

L'objectif principal de ce mémoire est de délimiter les zones favorables à la nidification des busards. Cette détermination pourrait optimiser d'éventuelles recherches de nids à protéger. Elle pourrait également aider les experts chargés de la mise en place de MAEC à identifier les zones où les busards font partie des enjeux environnementaux. Pour cela, plusieurs questions ont été soulevées : Quel est l'habitat disponible et utilisé en Wallonie et dans le Nord de la France entre 2010 et 2020 pour la nidification des busards ? Quelles sont les variables influençant les zones de nidification des busards en Wallonie et dans le nord de la France entre 2010 et 2020 ? Sur base des variables sélectionnées et grâce à l'utilisation des techniques de modélisation, quelles sont les zones de nidification potentielles pour les différentes espèces en Wallonie et dans le nord de la France ? Et enfin, en quoi diffèrent les espèces de busards au regard de la niche de nidification établie ?

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. MATÉRIELS

2.1.1. OUTILS INFORMATIQUES

Les programmes informatiques suivants ont été utilisés : la version 4.0.2 (2020-06-22) de R [76], la version QGIS Desktop 3.10.10 with GRASS 7.8.3. [77] avec WGS 84 et LAEA Europe comme Système de Coordonnées de Référence (SCR) ainsi que Excel® pour Microsoft 365 MSO (16.0.14131.20296) [78].

QGIS a été utilisé pour le tri des bases de données transmises sous format geopackage (GPKG) par les ASBL et leur conversion du SCR WGS 84 vers LAEA Europe. Il a également servi à la première partie de la préparation des variables environnementales (SHP et TIF - extraction, fusion, découpe, masque) et à la mise en page des cartes présentées dans la partie 3. Résultats²⁴.

Excel a servi au tri des bases de données transmises aux formats XLS et CSV.

RStudio a été employé avec le package raster 3.4-5 [79] pour la seconde partie de la préparation des variables environnementales en leur assignant les mêmes projections (SCR : LAEA Europe - EPSG : 3035), emprises (de 3 698 000 m à 4 201 000 m de longitude et de 2 697 000 m à 3 142 000 m de latitude) et résolutions (1km²). Les données d'espèces ont été uploadées avec le package readr 1.4.0 [80]. Les analyses univariées ont été réalisées avec les packages base et stat [76]. Le package dplyr 1.0.7 [81] a permis de réaliser l'analyse bivariable. Les packages FactoMineR [82] et Factoshiny [83] ainsi que leurs manuels de référence ont servi pour réaliser l'analyse factorielle multiple (AFM). Enfin, le HSM a été réalisé avec le package biomod2 [84] en suivant la méthode proposée par A. Guisan et al. (2017) "Habitat Suitability and Distribution Models with applications in R". [72]

L'ensemble des codes utilisés sont disponibles sur la plateforme GitHub via ce lien : <https://github.com/Caroline-Devillers/Harrier-HSM>.

2.1.2. LIMITES DE LA ZONE D'ÉTUDE

Dans le cadre de ce mémoire, l'objectif est d'étudier la répartition des trois espèces de busards en Wallonie. Ces oiseaux étant présents en Belgique principalement pour la reproduction, le sujet ciblé est « les sites de reproduction ». En effet, les aires de répartition des trois espèces sont extrêmement vastes, par conséquent leur niche écologique complète

s'étend sur la moitié du globe terrestre. En revanche, le choix de leurs zones de nidification semble répondre à des critères de sélection plus spécifiques.

Pour la variable dépendante (relevé géographique d'observations), afin d'augmenter le nombre d'entrées dans la base de données de travail, la zone de collecte de données concernant la Wallonie a été étendue, aux zones géographiques voisines présentant sensiblement les mêmes conditions environnementales et climatiques. Raison pour laquelle des ASBL de la Flandre, de la Wallonie et des régions du Nord de la France ont été contactées.

Sur le site Eurostat de la Commission Européenne, le dossier NUTS 2021 (version du 01/02/2020 à l'échelle 1:1 Million contient la carte « NUTS_BN_01M_2021_4326_LEVL_1 » © EuroGeographics) présente les limites administratives des subdivisions de chaque pays européens (régions, länder, ...). Cette carte a été utilisée pour créer une couche masque²⁴ (masq.admin) contenant les régions suivantes : Wallonie, Hauts-de-France et Grand Est.

Cependant, le travail de rasters nécessitant une forme tétragonale, un second masque rectangulaire comprenant « masq.admin » a été créé directement dans QGIS avec l'emprise suivante : de 3698000m à 4201000m de longitude et de 2697000m à 3142000m de latitude selon le système cartographique de référence européen LAEA (EPSG : 3035).

2.1.3. VARIABLE DÉPENDANTE : RELEVÉ D'OBSERVATION

Afin de créer un relevé d'observations, différentes ASBL ont été contactées en vue d'obtenir un accès à leurs données géographiques brutes. Ces données devaient localiser le plus précisément possible des sites de nidification connus des 3 espèces de busards en Wallonie, en Flandre et dans le nord de la France pour la période de 2000 à 2020.

Les ASBL ayant donné accès à leurs données sont les suivantes : Natagora, Picardie Nature, LPO Alsace et GEPB. De plus, M. Jean-Yves Moitrot, contact de l'ASBL Faune-Lorraine a transmis sa base de données personnelle (Tableau 4).

Pour réaliser la recherche, différentes conventions ont été signées avec certaines ASBL en vue d'assurer la bonne gestion des données.

Étant donné que les busards sont en danger critique d'extinction dans la région étudiée, les coordonnées précises de ces sites ne peuvent figurer dans le travail, seules les données résumées peuvent apparaître publiquement, avec une précision se limitant toutefois aux

²⁴ Une couche masque permet de ne conserver qu'une partie des données d'une autre couche de données en les superposant et en utilisant la fonction « découper selon une couche masque ».

dimensions équivalant à celle d'une zone d'une superficie minimum de 40 km² ou aux noms des localités où les observations ont été effectuées.

Tableau 4 : liste des ASBL contactées, des fichiers reçus et des traitements déjà réalisés par les ASBL (Ok) ou qui ont été réalisées dans le cadre du mémoire (RCM) pour la composition de la base de données d'espèce. La sélection concerne la suppression de toutes les données sans rapport avec la reproduction. Le classement concerne la classification des données conservées en données localisant un couple ou un nid. CA : *Circus aeruginosus*, CC : *C. cyaneus* et CP : *C. pygargus*.

ASBL contactées	Réponses obtenues	Fichiers de données	Sélection	Classement
LPO Alsace	Demande validée	Pré-trié	Ok	Ok
GEPB	Demande validée	Pré-trié	Ok	Ok
Natagora	Demande validée	CP et CC : pré-trié CA : brut	CP et CC : Ok CA : RCM	RCM
Picardie Nature	Demande validée	Brute	RCM	RCM
Faune-Lorraine	Demande refusée	Fichier personnel de M. Moitrot : brut	RCM	RCM
SIRF	Demande validée	Non réceptionné	/	/
INBO	Absence de réponse	/	/	/

La LPO Alsace et le GEPB ont fourni chacun un fichier pré-trié comportant les variables suivantes : année, espèce, type de site, latitude, longitude, département et type de végétation. Les variables « département » et « type de végétation » n'ont pas été conservées pour des raisons expliquées au point 2.1.4. Variables indépendantes.

La variable « type de site » présente deux possibilités « Nid » et « Couple » selon l'indice de reproduction présenté dans le Tableau 5.

Tableau 5 : indice de reproduction ayant permis au GEPB de classer les données comme localisant un couple ou un nid.

Couple	Nid
Parade de deux oiseaux. Comportement territorial. Cris d'alarme ou comportement agité, suggérant la présence d'un nid. Transport de matériel, construction de nid. Passage de proie.	Nid avec œuf(s) – visité. Nid avec poussin(s) – visité. Juvénile(s) volant(s) – non visité.

L'ASBL Natagora a fourni deux fichiers prétraités pour les espèces *C. pygargus* et *C. cyaneus* ainsi qu'une base de données brutes pour le *C. aeruginosus*. De même l'ASBL Picardie-Nature et M. Moitrot ont fourni des bases de données brutes.

Concernant les deux fichiers prétraités de Natagora, un classement a été effectué entre les données de reproduction indiquant un nid, et celles indiquant un couple.

Les bases de données brutes, contenant toutes les observations des trois espèces sans distinction de comportement, ont été triées pour ne sélectionner que les données de reproduction, selon la méthode décrite ci-après.

Les différents sélections et classements de données se sont basés sur les informations disponibles dans les fichiers (nom de l'espèce, date, le nombre d'individus observés, le sexe, le stade de développement, le comportement et les commentaires) et sur les connaissances

générales (présentées dans la partie 1.2 Généralités) et détaillées (présentées dans les Annexe III à VI) du genre *Circus* acquises à priori.

Parmi toutes les variables présentes dans les bases de données, les informations suivantes ont été conservées : l'identifiant, le nom scientifique de l'espèce, la date d'observation (année, mois et jour), le dénombrement d'individus observés, le sexe, le stade de développement (adulte, immature, juvénile, ...), le comportement de l'individu ou des individus observés, les coordonnées GPS (latitude et longitude) et les commentaires des auteurs.

Un premier tri a été effectué sur base des dates, les données non comprises dans la période de nidification annuelle de chaque espèce ont été écartées (CA : mi-mars à mi-août, CC : fin mars à mi-juillet et CP : mai à mi-août).

Puis, une sélection sur base des comportements a été effectuée. Toutes les données dont les colonnes « comportement » ou « commentaires » contenaient des termes en lien avec la migration, les dortoirs, la toilette et la chasse ont été supprimées, étant donné que les trois premiers comportements n'ont aucun lien avec la reproduction et que la chasse peut se dérouler à plusieurs kilomètres du nid.

De même, ont été supprimées toutes les données imprécises, c'est-à-dire, celles dont la colonne « comportement » contenaient les classes présentées dans l'encadré de la Figure 6, alors que la colonne « commentaires » était vide. En effet, en l'absence de commentaire explicite, il est difficile de déterminer avec certitude le caractère « reproducteur » ou non d'un comportement.

ADULT_IN_TERRITORY, ALARMING, BASKING_IN_SUN, CALLING, COLOR_RING_BEARING, DISCOVERY_DEAD, EATING, LONGTERM_STAY, PRESENT, RESTING, SINGING, TERRITORIAL_BEHAVIOUR, TERRITORY, TRANSPORT_FEED_Faeces et PROBABLE_NESTING_PLACE.

Figure 6 : classes de comportements supprimées en l'absence d'informations supplémentaires parmi les données brutes.

Par contre, ont été conservées et classées « nid » ou « couple » les données dont la colonne comportement contenait une des catégories présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : classes de comportement dont les données ont été conservées et triées « couple » ou « nid ».

Couple	Nid
COURTSHIP_PAIR_MATING, PAIR_IN_TERRITORY	NESTBUILDING, OCCUPIED_NEST, RECENTLY_USED_NEST, DESTROYED_NEST, OCCUPIED_NEST_WITH_EGGS, OCCUPIED_NEST_WITH_YOUNG, RECENTLY_HATCHED_YOUNG

Après ce tri semi-automatique, les données restantes ont été triées une à une sur base de l'ensemble des informations disponibles et des connaissances acquises a priori.

Finalement, la base de données de travail contenait les informations présentées dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Résumé du contenu de la base de données de travail.

Nom de colonne	Code	Unité	Description
Date	De 00 à 20	Année	/
Source	NAT / GEPB / JYM / LPOA / PINA	/	NAT : Natagora, GEPB : Groupe d'étude et de protection des busards, JYM : J-Y. Moitrot, LPOA : Ligue de protection des oiseaux en Alsace, PINA : Picardie-Nature
SP	CA / CC / CP	Espèce	CA : <i>C. aeruginosus</i> , CC : <i>C. cyaneus</i> , CP : <i>C. pygargus</i>
Type	CPL / NID	/	CPL : couple ou NID : nid
Latitude d'origine	De 40,00 à 50,66	Degré nord	Coordonnées géographiques selon le SCR WGS 84
Longitude d'origine	De 1,47 à 8,13	Degré est	Coordonnées géographiques selon le SCR WGS 84
Latitude convertie	De 2 723 809 à 3 128 191	Mètre nord	Coordonnées géographiques selon le SCR LAEA Europe
Longitude convertie	3 713 547 à 4 178 172	Mètre est	Coordonnées géographiques selon le SCR LAEA Europe

Ce tableau contenait 6 356 entrées dont 4 820 concernant des nidifications entre 2000 et 2020 et 4 252 entre 2010 et 2020. Comme la majorité des données concerne les nids de la période de 2010 à 2020, seules celles-ci ont été analysées.

Pour pouvoir utiliser les données d'espèce dans le HSM, le tableau a été chargé sur R, un set de données par espèce en a été extrait et ces derniers ont été définis comme objets géographiques en leur assignant un SCR via la fonction « coordinates » (PKG : raster [79]).

2.1.4. VARIABLES INDÉPENDANTES : VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Pour le choix des variables environnementales à employer, il est conseillé de bien connaître l'écologie et l'écophysiologie des espèces étudiées [71,72,85]. D'autre part, il est déconseillé d'utiliser les informations environnementales provenant des bases de données d'observations d'espèces, en particulier lorsque de multiples sources sont employées. À la place, il est recommandé d'extraire les données environnementales de cartes représentant les variables d'intérêts. Ces cartes sont généralement disponibles au format raster sur de nombreux sites tels que « worldclim.com », « landcover.org » ou encore « eea.europa.eu ». [71,72]

Le Tableau 8 présente un résumé des variables reconnues par la littérature comme intervenant dans le choix des lieux de nidification par les busards. Ce résumé a été réalisé sur base des connaissances recueillies pour la rédaction de ce mémoire et présentées dans les points « Description des busards » et « Annexe III, Annexe IV, Annexe V et VI ».

Tableau 8 : informations permettant de sélectionner les variables potentiellement intéressantes pour le HSM.

Mots clés	Catégorie	Variable	Abrégé
Présence de prédateurs, ressources alimentaires, densité de proies	Biotique	Non retenu	/
Chasse, interactions humaines	Biotique	Densité de population par km ²	DP
Latitude	Données géographiques	Non retenu	/
Climat, froid, température, précipitation	Conditions climatiques	Non retenu	/
Roselière, couverture herbacée, hauteur et densité de végétation, milieu ouvert naturel, espace cultivé, parc éolien, zone boisée, type de culture, date de moissons	Occupation du sol	Corine Land Cover	CLC
Zone humide, milieu sec, proximité avec étendue d'eau, paysage ouvert sec ou humide	Humidité	Water & Wetness	WAW
Altitude	Altitude	Elevation	ELEV
Mesure de protection, habitat protégé	Protection	Natura 2000	N2K

Les informations biotiques n'ont pas été retenues car il faudrait réaliser les modélisations de tous les prédateurs et de toutes les proies pour pouvoir les intégrer au HSM de chaque espèce de busard. De plus, ces données concerneraient davantage la réussite ou l'échec de la nidification que le choix du lieu de nidification. Sans oublier que les techniques actuelles de modélisation se basant sur les interactions entre espèces sont également vivement critiquées [86]. Notons aussi que le succès reproducteur à un endroit donné semble influencer favorablement le retour des busards au même endroit l'année suivante, nonobstant le fait qu'il n'existe pas encore de cartographie relative aux succès reproducteurs des busards en Europe.

Afin d'inclure les perturbations anthropiques, une carte de la densité de la population humaine (« JRC_GRID_2018.zip » version du 13/04/2021 © European Union, 1995-2021) a été téléchargée pour tenir le rôle de proxy des interactions humaines. Cette carte provient du site « eurostat » de la Commission Européenne et représente la densité d'habitant par km² en 2018. [87]

En ce qui concerne l'influence de la latitude, la zone d'étude étant limitée au sud de la Belgique et au nord de la France, l'échelle spatiale semble trop petite pour avoir un impact, notamment au vu de l'ensemble des territoires occupés par les espèces du genre *Circus* lors de l'estive. Pour la même raison, le climat peut être considéré comme relativement homogène pour la zone d'étude envisagée. En outre, les variables liées au climat concernent davantage la réussite ou l'échec de la nidification que le choix du lieu de nidification.

L'occupation du sol peut être figurée par la carte « Corine Land Cover – 100 mètre » version v2020_20u1 pour l'année 2018 du programme Copernicus. Bien qu'elle soit de moindre précision qu'un parcellaire agricole concernant les cultures, elle offre une représentation plus complète (zones de cultures mais aussi d'habitats et boisées) et plus durable de la nature d'occupation du sol. Elle convient probablement mieux pour couvrir une période d'étude de 10 ans. Cette carte symbolise un inventaire de la couverture terrestre en 44 classes pour les pays membres de l'EEA (European Environment Agency). L'unité minimale de cartographie de ces variables est de 25 hectares pour les phénomènes concernant des surfaces et de 100 mètres pour les phénomènes linéaires. [88]

Concernant l'humidité, la carte « WAW-2018-100m-EEA39 » version v010 du programme Copernicus a été téléchargée. Cette carte expose en quatre classes la présence d'eau de surface et d'étendues humides au cours de la période 2012 – 2018 (résolution de 100 m). [89]

La carte « GloElev_30as.rar²⁵ » donne, pour chaque cellule de la trame de 30 arc-seconde, l'altitude médiane calculée sur base des données provenant d'une trame de 3 arc-seconde. Cette carte provient du portail d'information sur les sols de l'ONU pour l'alimentation et l'agriculture. [90]

Une carte du réseau Natura 2000 de l'année 2020 (Natura 2000 – version de juillet 2021) a également été téléchargée depuis le site « EEA geospatial data catalogue » afin de mettre en évidence la présence ou l'absence d'une corrélation avec les sites de nidification (téléchargée au format SHP elle a été rastérisée avec une résolution de 1 km²). [91]

Un résumé des variables environnementales sélectionnées est présenté dans le [Tableau 9](#).

Tableau 9 : Résumé des variables environnementales sélectionnées dont l'emprise correspond à la zone d'étude. Les listes complètes des modalités des variables qualitatives sont disponibles en [Annexe VIII](#)

Variable	Abrégé	Type de variable	Unité	Résolution	Variance / catégories	SCR
Densité de la population humaine	DP	Quantitative	Habitant par km ²	1 km ²	0 à 51 127	LAEA Europe
Occupation du sol	CLC	Qualitative	/	25 ha	44	LAEA Europe
Eau de surface et étendue humide	WAW	Qualitative	/	100 m ²	5	LAEA Europe
Altitude	ELEV	Quantitative	Mètre	30 arc-seconde	-87 à 1 442	WGS 84
Réseau Natura 2000	N2K	Qualitative	/	1 km ²	2	LAEA Europe

²⁵ Fischer, G., F. Nachtergaele, S. Prieler, H.T. van Velthuisen, L. Verelst, D. Wiberg, 2008. Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.

Afin de pouvoir utiliser les variables environnementales dans le HSM, les raster de chaque variable ont été chargés sur R avec la fonction « raster » (PKG : raster [79]). La fonction « projectRaster » (PKG : raster [79]) a permis de rééchantillonner et de reprojeter les cartes pour qu'elles aient toutes le même SCR, la même emprise et la même résolution.

2.2. MÉTHODE

2.2.1. ANALYSES DESCRIPTIVES

Variables environnementales

Afin d'analyser les variables environnementales sans l'influence des espèces, 4 000 données de présences ont été générées de manière aléatoire au sein de l'emprise de la zone d'étude. Le jeu de données en résultant a été défini comme objet géographique en lui assignant un SCR via la fonction « coordinates » (PKG : raster [79]). Ensuite, à l'aide de la fonction « extract » (PKG : raster [79]), les données environnementales ont été extraites afin de créer un jeu de données de description de l'habitat disponible (HD). Enfin, les lignes où l'une des valeurs était manquante (NA) ont été supprimées du jeu de données.

Habitat disponible en Wallonie et dans le Nord de la France entre 2010 et 2020

Les fonctions « summary » (PKG : raster [79]), « hist » (PKG : raster [79]), « shapiro.test » et « table » ont été utilisées pour pouvoir décrire le jeu de données HD, réaliser les histogrammes présentés dans la partie résultats et évaluer si la distribution des variables quantitatives suivent une loi normale ou non.

Corrélations

Le package dplyr [81] a été utilisé pour créer une fonction réalisant différents tests entre des variables qualitatives et quantitatives. Entre 2 variables quantitatives, il exécute un test de Spearman²⁶ ; entre deux variables qualitatives, il applique un Cramér's V ; entre une variable quantitative et une variable qualitative, il réalise une ANOVA.

Cette analyse permet de déceler d'éventuelles corrélations entre les variables indépendantes, le cas échéant les variables présentant de fortes corrélations doivent être supprimées pour éviter des problèmes de multi-colinéarités [92].

²⁶ La corrélation de Spearman a été préférée à celle de Pearson car les distributions ne suivent pas une loi normale.

Espèces

Une analyse univariée a été réalisée pour chaque variable environnementale des trois espèces de busard de la même manière que celle réalisée sur le jeu de données HD. Les résultats ont été comparés qualitativement et quantitativement avec des tests de Student approximatifs effectués sur les variables quantitatives afin de mettre en évidence les similarités ou les différences entre les populations des trois espèces.

2.2.2. ANALYSES EXPLORATOIRES : AFM

L'analyse multivariée sert à mettre en avant les sources de variabilités présentes au sein d'un jeu de données en résumant les variables d'origine sur deux ou trois dimensions en se basant sur des corrélations [93]. L'analyse multivariée a été utilisée pour résumer les data set comprenant cinq variables indépendantes et entre 533 et 2 589 variables dépendantes sur deux dimensions afin d'identifier les variables influençant le plus la répartition des busards lors de la nidification.

Les tableaux de données, présentant trois variables qualitatives (CLC, WAW et N2K) et deux quantitatives (DP et ELEV), il est conseillé de réaliser une Analyse Factorielle Multiple (AFM) comme analyse multivariée. La variable DP variant entre 0 et 51 000 habitants/km² alors que la variable ELEV varie entre -187 et 1440 mètres, DP a été traitée comme une variable continue réduite. [94]

Le package Factoshiny [83] ainsi que les fonctions « MFA » et « plot.MFA » du package FactoMineR [82] ont été utilisés pour exécuter cette analyse.

Les résultats de cette partie ont été comparés.

2.2.3. ANALYSES PRÉDICTIVES : HSM

Des modèles ont été générés avec la fonction « BIOMOD_Modeling » (PKG : biomod2 [84]).

Afin de prendre en compte l'incertitude des techniques de modélisations [95], trois algorithmes différents ont été explorés : GLM – Generalized Linear Models [96], RF – Random Forest [97] et Maxent [98], chacun provenant d'approches statistiques différentes, respectivement : « Regression-Based Approaches », « Boosting and Bagging Approches » et « Maximum of Entropy ». [72]

Pour les trois algorithmes, les options par défaut ont été employées (fonction « BIOMOD_ModelingOptions » du PKG biomod2 [84]).

Étant donné que seules des données de présence ont été récoltées, 2 000 pseudo-absences (correspondant aux points de background pour Maxent) ont été générées aléatoirement dans le background de la zone étudiée.

Par ailleurs, trois validations croisées ont été exécutées. Cela consiste à séparer le jeu de données pour qu'une partie soit utilisée pour calibrer les modèles et l'autre pour évaluer le modèle. Il a été décidé d'utiliser 70% du jeu de données pour la calibration et les 30% restant pour l'évaluation. [72]

Les neuf²⁷ modèles ont été évalués via deux métriques d'évaluations : True skill statistic (TSS [99]) et Area under the ROC curve (AUC /ROC; [99]). Le premier varie entre -1 et +1 tandis que le second varie entre 0 et +1, un score de 0 pour TSS ou 0,5 pour ROC signifie que les prédictions du modèle correspondent à celles qui auraient pu être obtenues par hasard. Les valeurs supérieures à 0 (TSS) ou 0,5 (ROC) indiquent des prédictions utiles à parfaites par rapport à la réalité. Et les scores inférieurs indiquent que le modèle obtient des résultats moins bons que ce que l'on pourrait obtenir par hasard (contre prédiction). [66,76]

Les évaluations ont été extraites et représentées sous forme graphique grâce aux fonctions « get_evaluation » et « models_scores_graph » (PKG : biomod2 [84]).

Des courbes de réponse (une par variable indépendante) ont été générées pour chacun des modèles via la fonction « response.plot2 » du package Biomod2 [84]. Un tableau présentant l'importance des variables indépendante selon les algorithmes a été obtenu via la fonction « get_variables_importance » (PKG : biomod2 [84]).

Un modèle consensus a été réalisé (fonction « BIOMOD_EnsembleModeling » – PKG : biomod 2 [84]) sur base de tous les modèles présentant un TSS supérieur ou égal à 0,7.

Ce modèle a été projetés (fonctions « BIOMOD_Projection » et « BIOMOD_EnsembleForecasting » – PKG : biomod 2 [84]) sur la zone d'étude sur base des mêmes variables environnementales que celles utilisées pour réaliser les neuf modèles de base. Ces projections ont été rastérisées (fonction « writeRaster », PKG raster [79]) et traitées avec QGIS.

²⁷ 3 algorithmes multipliés par 3 validations croisées

3. RÉSULTATS

3.1. ANALYSES DESCRIPTIVES

3.1.1. QUEL EST L'HABITAT DISPONIBLE EN WALLONIE ET DANS LE NORD DE LA FRANCE ENTRE 2010 ET 2020 POUR LA NIDIFICATION DES BUSARDS ?

Les jeux de données sont composés de 3 variables qualitatives (CLC [occupation du sol], WAW [humidité] et N2K [réseau Natura 2000]) et de 2 variables quantitatives (DP [Densité de population] et ELEV [Altitude]). Les coordonnées géographiques (X = longitude et Y = latitude) ont seulement été utilisées pour l'identification des nids.

Dans le set de données HD (description de l'habitat disponible) comprenant 3 867 localisations, la densité de population présente une distribution logarithmique et varie entre 0 et 42 180 habitants par km² pour une moyenne située à 254 habitants du km² et une médiane à 7 habitants du km². En effet, on peut voir sur l'histogramme semi-logarithmique (Figure 7 à gauche) que la majorité des données HD sont situées entre 0 et 500 habitants par km². L'altitude présente une distribution plus proche d'une courbe de Gauss mais allongée sur la droite et variant entre -1,24 et 1 188,11 m avec une médiane située à 198 m d'altitude (Figure 7 à droite). Les tests de Shapiro ont révélé qu'aucune des deux variables ne présentait une distribution dite « normale ».

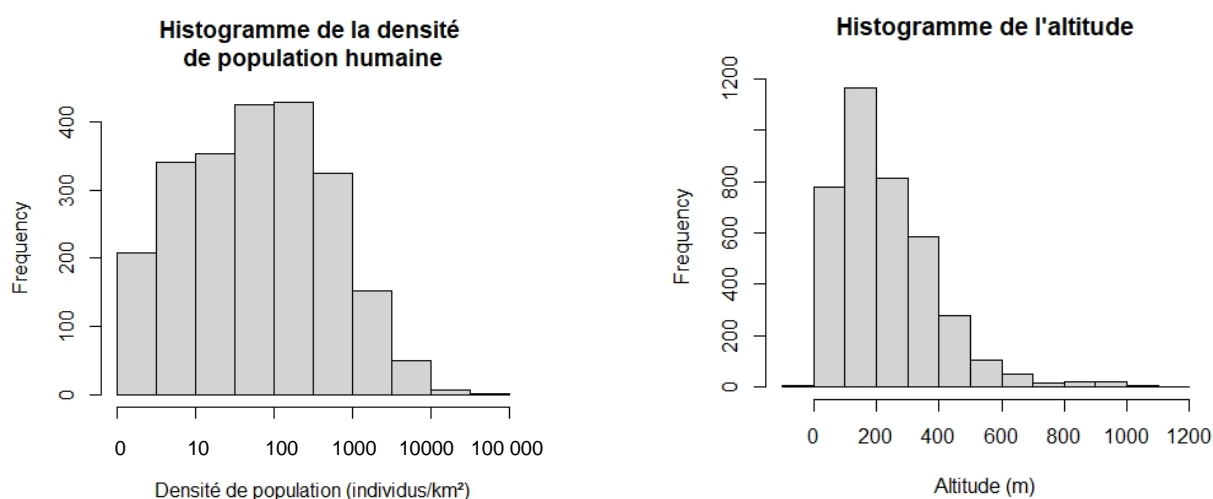


Figure 7 : A gauche, histogramme semi-logarithmique de la densité de population humaine dans la zone d'étude et à droite, l'histogramme de l'altitudes dans la zone d'étude

Parmi les données du set de données HD, 97,7 % se situent en milieu sec (1,5% en zone humide temporaire, 0,7% en zone d'eau permanente et 0,13% en zone maritime).

11,47% des données se situent au sein du réseau Natura 2000.

Enfin, l'occupation du sol présente 28 des 44 catégories possibles. Les 5 premières catégories du graphique (Figure 8) représentent à elles seules 83% des occupations du sol, à savoir : les terres arables non irriguées (37%), les forêts de feuillus (19%), les pâturages (12%), les tissus urbains discontinus (8%) et les forêts de conifères (6,5%).

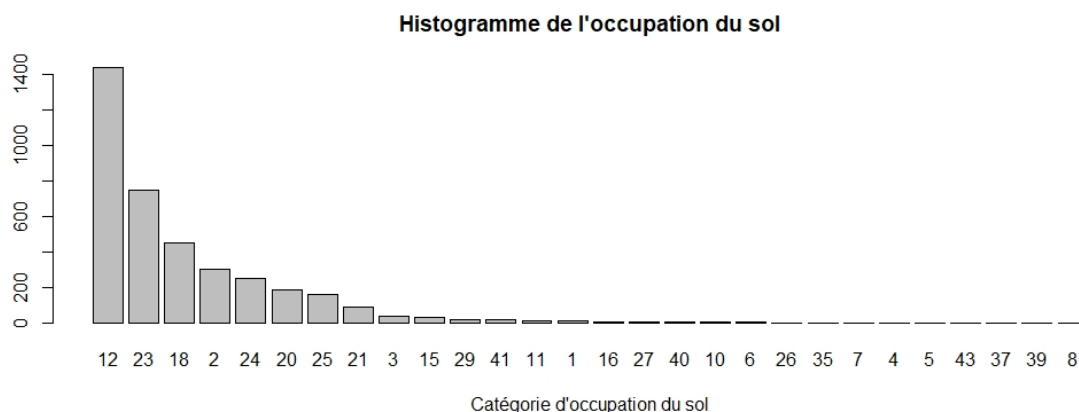


Figure 8 : Histogramme de l'occupation du sol au sein de la zone d'étude, le détail des catégories est disponible en Annexe VIII.

3.1.2. Y'A-T-IL DES CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES ?

Selon le Tableau 10, entre les variables DP et ELEV, la corrélation de Spearman est faible et négative (-0,24). Les tests réalisés entre DP, ELEV, WAW et N2K démontrent l'absence de lien entre ces variables (<0,13). Le test de Cramér's V entre CLC et N2K correspond à une corrélation modérée et positive (0,32). CLC présente trois corrélations fortes avec DP, ELEV et WAW (entre 0,5 et 0,69). Les limites de corrélation acceptables pour les HSM dans la littérature sont couramment de |0,7| ou |0,8| [72,92]. Dans ce travail, la limite a été fixée à |0,7|. Puisqu'aucune corrélation n'atteint cette limite, les analyses suivantes peuvent être réalisées en employant les cinq variables en considérant qu'aucun problème de multicolinéarités ne sera engendré.

Tableau 10 : corrélations et méthodes employée entre les variables du jeu de donnée HD

Variables	DP	ELEV	WAW	N2K	CLC
DP	1,00	Spearman	Anova	Anova	Anova
ELEV	-0,24	1,00	Anova	Anova	Anova
WAW	0,02	0,13	1,00	Cramér's V	Cramér's V
N2K	0,06	0,11	0,08	1,00	Cramér's V
CLC	0,65	0,53	0,69	0,32	1,00

3.1.3. COMPARAISON DES RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES ENTRE ESPÈCES

3.1.3.1. DENSITÉ DE POPULATION

Par rapport à la moyenne de 254 habitants par km² pour la zone d'étude, les trois busards se trouvent dans des zones dont les densités de population moyenne sont beaucoup plus faibles (Tableau 11).

Tableau 11 : Comparatif des moyennes et étendue de densité de population parmi lesquelles les busards sont présent et au sien de l'habitat disponible.

DP	CA	CP	CC	HD
Min	0	0	0	0
Moyenne	75,55	13,1	5,51	253,81
Max	3 032	652	348	42 180

3.1.3.2. ALTITUDE

L'altitude peut varier entre -87 à 1 442 m et les données prises au hasard varient elles-mêmes entre -1,34 et 1 188 m, alors que les trois busards présentent des plages de variation beaucoup plus restreintes (Tableau 12).

Tableau 12 : Comparatif des moyennes et amplitudes d'altitude occupées par les trois busards et disponible dans la zone d'étude.

ELEV	CA	CP	CC	HD
Min	-3	30,14	45,09	-1,24
Moyenne	56,19	184,36	131,87	231,15
Max	377,86	428,00	301,89	1 188,11

3.1.3.3. EAU ET HUMIDITÉ

Les résultats présentés au Tableau 13 confirment que seule la répartition du busard des roseaux se situe pour 15% en milieu humide contre moins de 1% pour les deux autres busards, sachant que ces milieux, ensemble, ne représentent que 2,3% de la surface de la zone d'étude.

Tableau 13 : Comparatif des catégories d'humidité occupées par les busards et disponible dans la zone d'étude.

WAW	CA	CP	CC	HD
Eau maritime	0	0	0	0,1
Eau permanente	3,8	0	0	0,7
Eau temporaire	0	0	0	<1
Zone humide permanente	4,3	0	0	<1
Zone humide temporaire	7,3	0,9	0,1	1,5
Milieu sec	84,6	99,1	99,9	97,7

3.1.3.4. NATURA 2000

Le Tableau 14 montre que le busard des roseaux présente jusqu'à 21,6% de sites de nidification au sein du réseau Natura 2000 alors que la proportion de ce réseau dans la zone d'étude n'est que de 11,5 %. À l'opposé, plus de 95% des sites de nidification des busards cendré et des busards Saint-Martin se situent en dehors du réseau.

Tableau 14 : Comparatif des zones Natura 200 occupées par les busards et disponible dans la zone d'étude

N2K	CA	CP	CC	HD
Oui	21,6	3,4	0,3	11,5
Non	78,4	96,6	99,7	88,5

3.1.3.5. OCCUPATION DU SOL

Le Tableau 15 démontre que parmi les 44 catégories d'occupation du sol (Annexe VIII), la zone d'étude en comptabilise 28, les busards n'en occupent qu'entre 11 et 17 selon l'espèce, et qu'ils en ont sept en communs (en orange). Le busard des roseaux est présent dans la plus large diversité de milieux. Les busards cendré et saint-martin présentent sensiblement la même diversité de milieux, la différence étant que le busard cendré semble éviter les forêts de conifères et mixtes. Comme décrit dans l'Annexe IV, il semble plus exigeant sur l'ouverture des milieux qu'il fréquente que le busard Saint-Martin.

La partie 1.2.3. Répartition et Habitat mettait en avant la récente colonisation des milieux agricoles par les trois espèces. Effectivement, le type de milieu principalement exploité par les busards entre 2010 et 2020 sont les terres arables non irriguées (Tableau 15). Plus de 90% de la répartition des busards cendré et Saint-Martin se concentre en zone agricole à végétation herbacée (4) et plus de 75% pour le *C. aeruginosus* alors que ce milieu ne représente que 37% de l'occupation du sol de la zone d'étude. Le busard des roseaux, qui porte bien son nom en anglais (Marsh Harrier), est présent dans des zones de marais (7% de sa répartition) contrairement aux deux autres espèces. Notons que cette catégorie représente moins d'un pourcent de l'occupation du sol de la zone d'étude.

Tableau 15 : Comparatif des milieux occupés par les busards et disponibles dans la zone d'étude

CLC	CA	CP	CC	HD
Nombre de classes	17	12	11	28
Terres arables non irriguées (4)	65,5	92,3	96,9	37,3
Forêt de feuillus (5)	2,2	2,6	1,2	19,4
Pâturages (4)	9,8	2,8	<1	11,7
Marais intérieurs (10)	7,1	0	0	<1
Tissu urbain discontinu (1)	1,1	2,1	<1	8,0
Terres principalement occupées par l'agriculture avec d'importantes zones de végétation naturelle (6)	<1	5,4	<1	2,3
Modes de culture complexes (6)	<1	3,4	<1	4,9
Installations sportives et de loisirs (1)	<1	<1	<1	<1
Forêt de conifères (7)	<1	0	<1	6,5
Forêt mixte (7)	<1	0	<1	4,2
Arbustes forestiers de transition (7)	0	<1	<1	<1
Plans d'eau (11)	<1	<1	0	<1
Unités industrielles ou commerciales (1)	<1	<1	0	1,1

3.2. QUELLES SONT LES VARIABLES INFLUENÇANT LA NIDIFICATION ? (ANALYSES EXPLORATOIRES)

3.2.1. BUSARD DES ROSEAUX (*C. AERUGINOSUS*)

L'AFM a été utilisée pour résumer le data set comprenant cinq variables indépendantes et 533 variables dépendantes sur deux dimensions. Ces deux dimensions (correspondant aux deux premières proposées par l'AFM) représentent 9,60 et 8,11% de la variabilité totale, à elle deux elles expliquent 17,71% de l'information.

Le graphique des groupes (Figure 9) indique que CLC est fortement corrélé avec les deux dimensions. DP est également fortement corrélé à la deuxième dimension mais pas du tout à la 1^{ère}. WAW et N2K sont modérément corrélés avec le 1^{er} axe et pas du tout avec le 2^{ème}. Enfin ELEV est faiblement corrélé avec le premier axe et pas du tout avec le second. On peut en conclure que les plus grandes sources de variabilités dans le jeu de données sont dans l'ordre les variables CLC, DP, WAW et N2K.

Le cercle des corrélations (Figure 10) indique que plus une donnée sera corrélée avec la dimension 2, plus elle présentera une densité de population importante, de même plus une donnée aura une valeur proche de « 1 » sur la 1^{ère} dimension plus elle présentera de faible altitude.

N2K_1 signifiant « compris dans le réseau Natura 2000 » et les modalités de WAW étant les suivantes : 0 = sec, 4 = humide temporaire, 1 = eau permanente et 3 = humide permanent, les deux graphiques des modalités (Figure 11) indiquent que plus une variable sera décalée sur la droite (corrélée avec la 1^{ère} dimension), plus elle aura de chance de se situer dans le réseau Natura 2000 ou dans un milieu humide.

Pour l'occupation du sol, les 44 catégories peuvent être regroupées en quatre classes : urbanisé (1 à 11), agricole (12 à 22), sauvage (23 à 33) et humide (34 à 44). Ainsi, plus les données sont décalées vers le haut et la gauche, plus elles correspondent à la catégorie

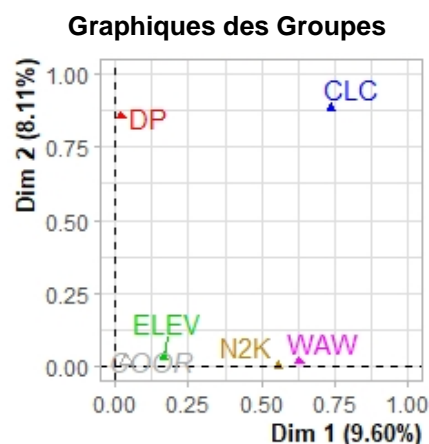


Figure 9 : Graphique des groupes représentant les variables indépendantes et l'importance de leur influence sur la répartition du busard des roseaux lors de la nidification.

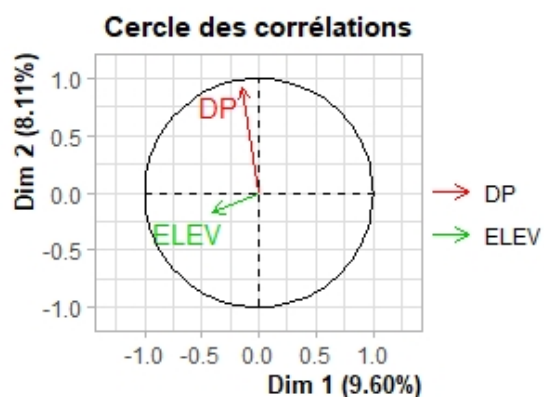


Figure 10 : Cercle de corrélation des variables quantitatives du jeu de données du busard des roseaux

« urbanisé » (ce qui concorde avec l'interprétation de la densité de population, en particulier la modalité 10 (espace vert urbain) qui présente une plus grande influence que toutes les autres modalités d'occupation du sol). À l'opposé, plus elles sont décalées vers le bas et la droite, plus elles correspondent à la catégorie « sauvage ». La catégorie agricole se situe au centre du graphique. Quant à la catégorie « humide », elle est décalée sur la droite (cette dernière information concorde avec l'analyse réalisée pour les modalités d'humidité).

Graphiques des modalités

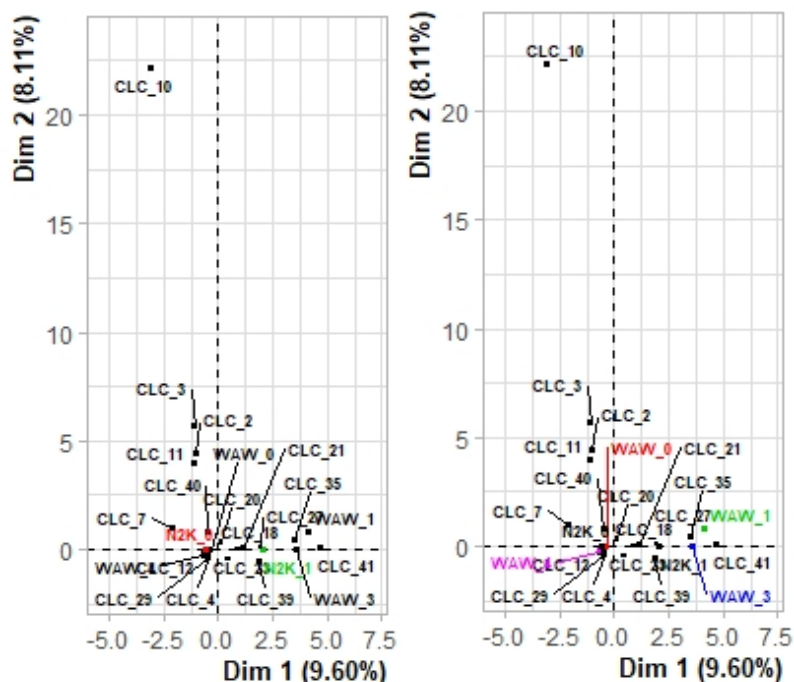


Figure 11 : Graphiques représentant les modalités des variables qualitatives sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard des roseaux. Le graphique de gauche met en évidence la variable N2K et celui de droite, la variable WAW.

Enfin, le graphe des individus (Figure 12) indique, selon les analyses précédentes, que les *C. aeruginosus* se situent majoritairement en milieu agricole sec à des altitudes moyennes, hors réseau Natura 2000 et relativement peu anthropisé, avec de faibles densités de population humaine (ellipse verte). Une partie des données se situent dans des milieux plus anthropisés – la présence d'un nid dans un espace vert urbain est notable – (ellipse rouge), et une dernière partie se situe dans des milieux plus sauvages, humides, compris dans le réseau Natura 2000 et présentant de plus faibles altitudes (ellipse bleu).

Graphiques des individus

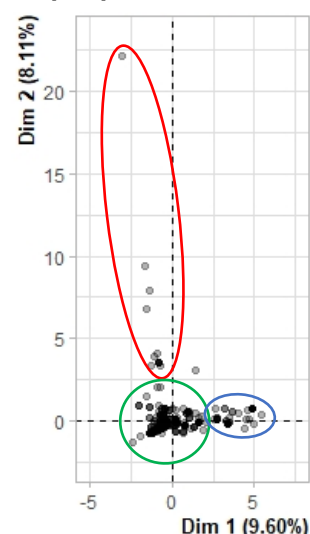


Figure 12 : Graphique représentant la répartition des individus sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard des roseaux.

3.2.2. BUSARD SAINT-MARTIN (*C. CYANEUS*)

Les deux premières dimensions représentent 11,99 et 9,98 % de la variabilité totale soit 21,97% de l'information.

Le graphe des groupes (Figure 13) indique que CLC est modérément corrélé avec les deux dimensions. DP est également modérément corrélé à la deuxième dimension mais pas du tout à la 1^{ère}. Inversement, N2K est modérément corrélé avec la 1^{ère} dimension et pas du tout avec la 2^{ème}. ELEV est faiblement corrélé avec la 2^{ème} dimension et pas du tout avec la seconde. Enfin, WAW n'est corrélé avec aucune des deux dimensions. On peut en conclure que les plus grandes sources de variabilités dans le jeu de données sont dans l'ordre les variables CLC, DP et N2K. Dans ce cas, WAW n'apporte aucune information.

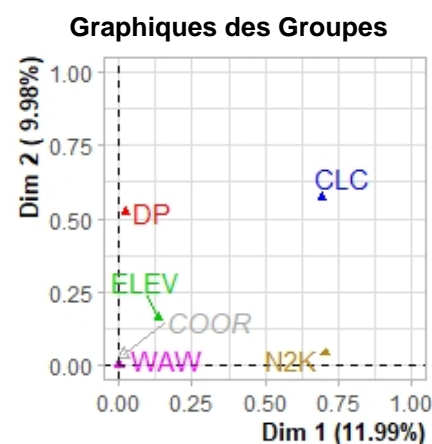


Figure 13 : Graphique des groupes représentant les variables indépendantes et l'importance de leur influence sur la répartition du busard Saint-Martin lors de la nidification.

Le cercle des corrélations (Figure 14) indique que plus une donnée sera corrélée avec la dimension 2, plus elle présentera une densité de population importante. Plus une donnée aura une valeur élevée sur la 1^{ère} dimension en même temps que faible sur la seconde, plus elle présentera de hautes altitudes.

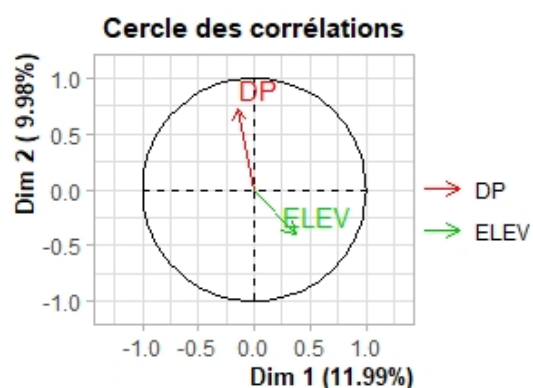


Figure 14 : Cercle de corrélation des variables quantitatives du jeu de données du busard Saint-Martin.

Le graphique des modalités (Figure 15 - gauche) indique que plus une variable sera décalée sur la droite, plus elle aura de chance de se situer dans le réseau Natura 2000. WAW n'apportant aucune information, il n'est pas décrit.

Concernant l'occupation du sol, deux modalités semblent avoir plus d'influence que les autres : 2 (tissus urbain discontinu) et 24 (forêt de conifères). Les autres, rassemblées aux centres, comprennent essentiellement des modalités « agricoles » (12, 20, 21, 18) et « sauvage » (25, 29, 23) - notons que ces 3 modalités concernent des strates arbustives et arborées. La modalité 2 correspond à l'analyse réalisée sur DP. Par conséquent, plus les données seront décalées vers le haut, plus leur localisation correspondra à des milieux urbanisés. Les données centrées seraient plutôt en milieux agricole ou forestier à l'exception

des données concernant les forêts de conifères qui seraient plus décalées sur la droite (Figure 15 à gauche).

Enfin, le graphe des individus (Figure 15 à droite) indique, selon les analyses précédentes, que les *C. cyaneus* se situent majoritairement en milieu agricole et forestier hors réseau Natura 2000, relativement peu anthropisé, avec de faibles densités de population humaine et dans une grande diversité d'altitude (ellipse verte). Une partie des données se situerait dans des milieux plus anthropisés (ellipse rouge) et une dernière partie se situerait dans des forêts de conifères ou dans le réseau Natura 2000 (ellipse bleue).

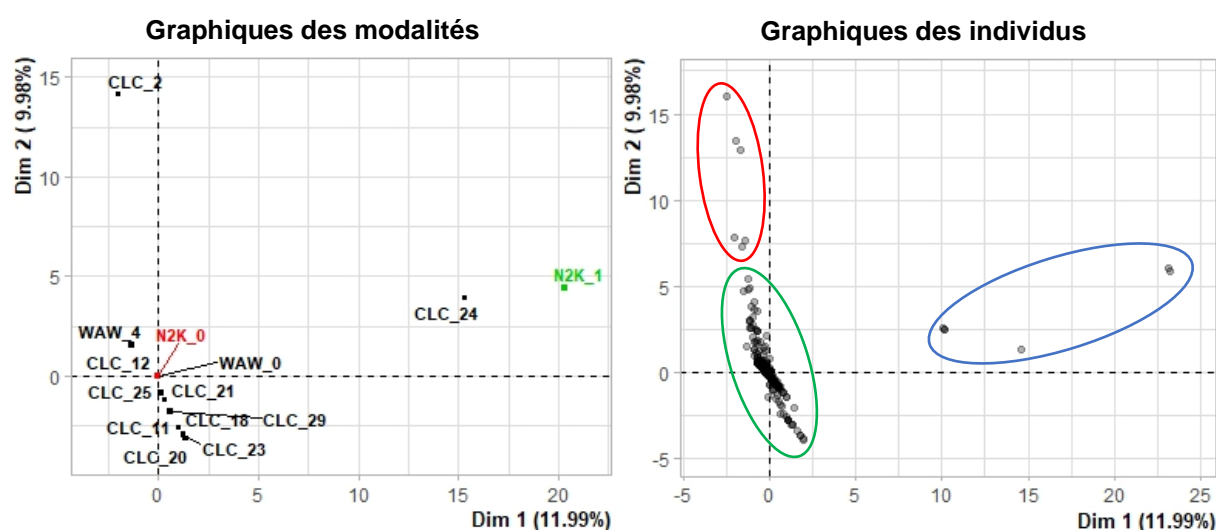


Figure 15 : A gauche, le graphique représentant les modalités des variables qualitatives sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard Saint-Martin. À droite, le graphique représentant la répartition des individus sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard Saint-Martin

3.2.3. BUSARD CENDRÉ (*C. PYGARGUS*)

Les deux premières dimensions représentent 9,92 et 9,24 % de la variabilité totale, soit 19,16% de l'information.

Le graphique des groupes (Figure 16) indique que CLC est modérément corrélé avec les deux dimensions. DP est également modérément corrélé à la première dimension et faiblement à la seconde. Inversement, N2K est faiblement corrélé avec la 2^{ème} dimension et pas du tout avec la 1^{ère}. ELEV est modérément corrélé avec la 2^{ème} dimension et faiblement avec la seconde. Enfin, WAW n'est corrélé avec aucune des deux dimensions. On peut en

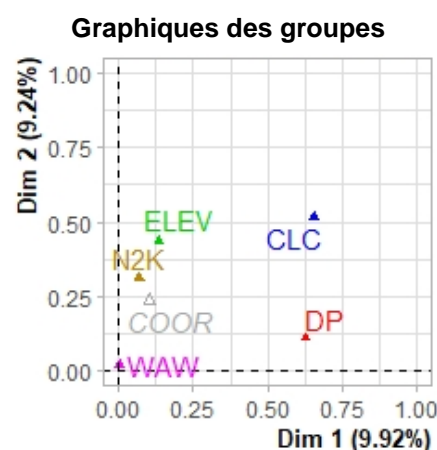


Figure 16 : Graphique des groupes représentant les variables indépendantes et l'importance de leur influence sur la répartition du busard cendré lors de la nidification.

conclure que les plus grandes sources de variabilités dans le jeu de données sont dans l'ordre les variables CLC, DP et ELEV. Dans ce cas, WAW n'apporte aucune information.

Le cercle des corrélations (Figure 17) indique que plus une donnée sera corrélée avec la dimension 1, plus elle présentera une densité de population importante. Et, plus une donnée aura une valeur élevée sur la 2ème dimension plus elle présentera de hautes altitudes

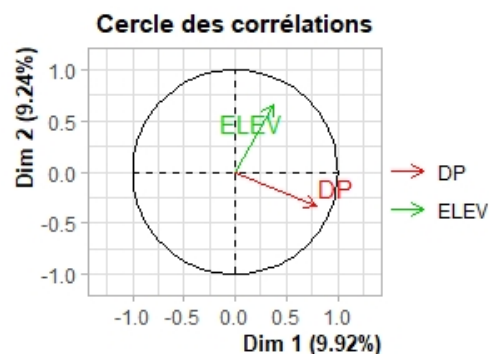


Figure 17 : Cercle de corrélation des variables quantitatives du jeu de données du busard cendré.

La Figure 18 à gauche indique que plus une variable sera décalée vers le haut, plus elle aura de chance de se situer dans le réseau Natura 2000. WAW n'apportant aucune information, il n'est pas décrit.

Concernant l'occupation du sol, une modalité semble avoir plus d'influence que les autres : 3 (Unités industrielles ou commerciales). Les autres modalités paraissent se stratifier selon trois classes, du bas et la droite vers le haut et la gauche, il y a d'abord les modalités de type anthropique (3, 2, 11) (ce qui est cohérent avec l'analyse de DP), suivie de modalités de type agricole (20, 12, 21, 16 et 18) et, enfin, des modalités forestières (24, 25 et 23).

Enfin, le graphique des individus (Figure 18 à droite) indique, selon les analyses précédentes, que les *C. pygargus* se situent majoritairement en milieu agricole et forestier hors réseau Natura 2000, peu anthropisé, avec de faible densité de population humaine et dans une faible diversité d'altitude (ellipse verte). Une partie des données se situerait dans des milieux plus anthropisés à faible altitude (ellipse rouge) et une dernière partie se situerait dans des milieux agricoles et forestiers au sein du réseau Natura 2000 et à plus haute altitude (ellipse bleue).

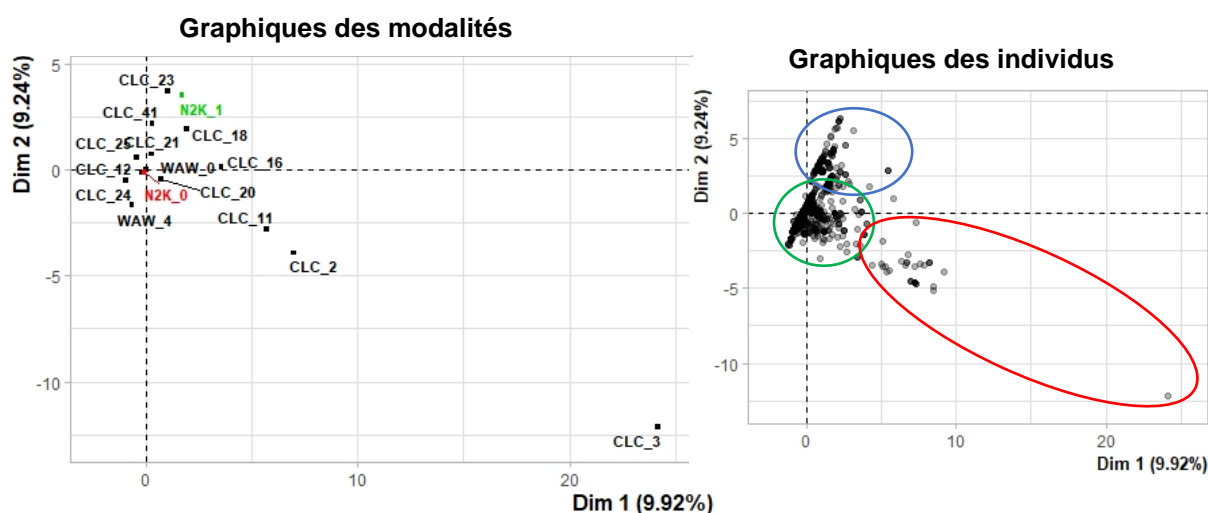


Figure 18 : A gauche, le graphique représentant les modalités des variables qualitatives sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard cendré et à droite, le graphique représentant la répartition des individus sur les deux premières dimensions de l'AFM du busard cendré.

3.2.4. COMPARAISON DES RÉSULTATS DES AFM ENTRE LES ESPÈCES.

Les AFM des trois busards ont mis en avant l'occupation du sol comme étant la source de variabilité la plus importante suivie soit par la densité de population pour les busards des roseaux et cendré, soit par le réseau Natura 2000 pour le busard Saint-Martin.

Seule l'AFM du busard des roseaux a considéré l'humidité du milieu comme une source de variabilité notable (après l'occupation du sol et la densité de population).

La présence du réseau Natura 2000 est considérée comme étant une source de variabilité négligeable pour le busard cendré et de faible importance pour le busard des roseaux.

Toutes les AFM considèrent l'altitude comme étant une faible source de variabilité.

3.3. QUELLES SONT LES ZONES DE NIDIFICATION POTENTIELLES ? (ANALYSES PRÉDICTIVES)

3.3.1. BUSARD DES ROSEAUX (*C. AERUGINOSUS*)

La [Figure 19](#) permet de visualiser le jeu de données à partir duquel le HSM a été réalisé. Celui-ci comprenait 533 données de présence (en vert) pour 2 000 pseudo-absences (en rouge). Ces dernières sont réparties de manière aléatoire sur l'ensemble de la zone étudiée, contrairement aux données de présence.

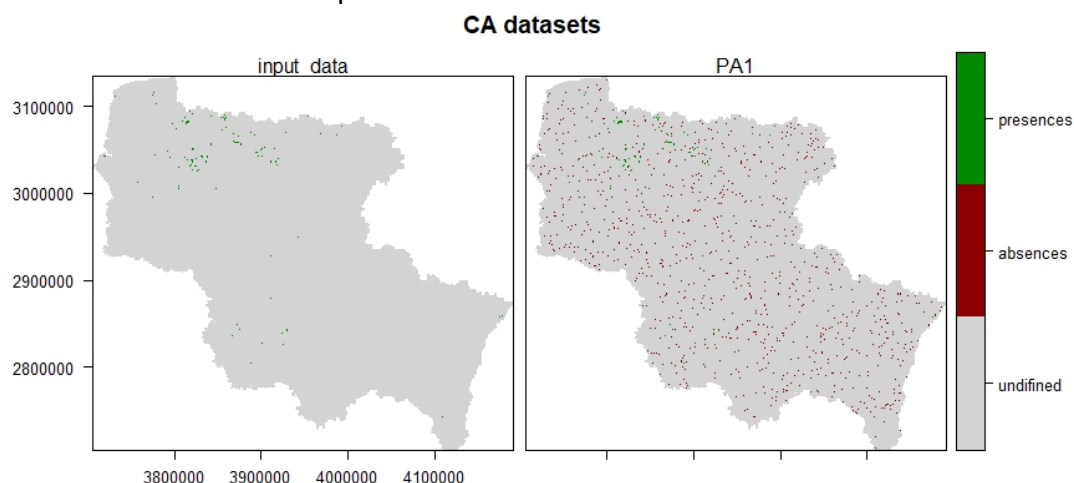


Figure 19 : visualisation du jeu de données du busard des roseaux, présentant en vert les données de présence et en rouge les pseudo-absences

La [Figure 20](#) présente TSS en fonction de ROC, les deux méthodes d'évaluation des modèles. Les scores de ROC sont au-delà de 0,9 et ceux de TSS oscillent autour de 0,7, ce qui indique des prédictions bonnes à très bonnes pour les trois algorithmes. Notons que sur l'axe de TSS, l'algorithme RF présente une variabilité plus importante que les deux autres modèles (cela indique que d'une cross-validation à l'autre, les résultats varient légèrement). Les modèles devant présenter un TSS d'au moins 0,7 ([Tableau 16](#)) pour être assemblés, les trois algorithmes ont été utilisés.

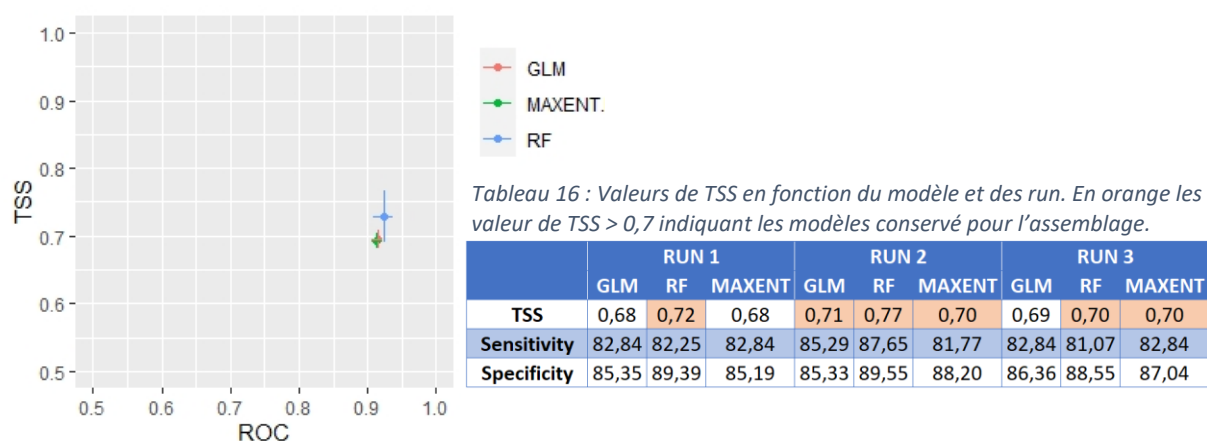


Figure 20 : A gauche, le graphique de TSS en fonction de ROC pour le busard des roseaux.

La variable la plus importante dans la distribution des sites de nidification du busard des roseaux semble être l'altitude, suivie de loin par l'occupation du sol et la densité de population (Tableau 17).

Tableau 17 : importance des variables indépendante en fonction des modèles pour le busard des roseaux

	GLM	RF	MAXENT
CLC	0.16	0.09	0.05
WAW	0.00	0.00	0.00
N2K	0.02	0.03	0.02
DP	0.03	0.15	0.05
ELEV	0.82	0.89	0.91

Selon les courbes de réponse (Figure 21), le busard des roseaux peut se trouver dans de nombreux types de milieux différents, mais les probabilités de le trouver dans des zones de végétation rase (CLC – 8) ou de sol nu (CLC – 9) sont plus faibles. Les probabilités de le trouver en zone sèche (WAW – 1) ou humide (WAW – 2) sont équivalentes. De même, il est aussi probable de le trouver au sein du réseau Natura 2000 (N2K – 1) qu'en dehors (N2K – 2). Au-delà de 1 000 habitant/km² ou de 200 m d'altitude, sa présence devient moins probable.

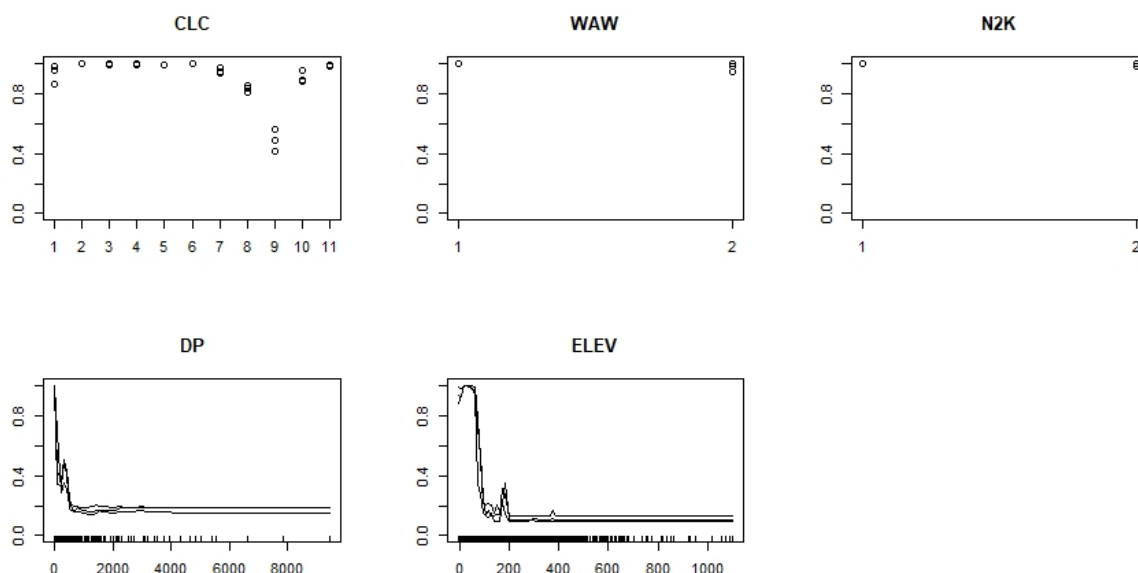


Figure 21 : Courbes de réponse des variables environnementales selon le modèle RF pour le busard des roseaux.

L'assemblage des modèles présente un score d'évaluation plus élevé que les modèles pris séparément (TSS = 0,81 ; Sensibilité = 90,72 et Spécificité= 90,13). Le cut-off correspondant à ce score est 0.398, cette information a été utilisée comme seuil pour binariser les résultats de répartition de la carte des probabilités de présence (Annexe VII : Figure 51) afin d'obtenir la carte de présence-absence (Annexe VII : Figure 52).

3.3.2. BUSARD SAINT-MARTIN (*C. CYANEUS*)

La [Figure 22](#) permet de visualiser le jeu de données à partir duquel le HSM a été réalisé. Celui-ci comprenait 1 130 données de présence représentées en vert pour 2 000 pseudo-absences en rouge. Ces dernières sont réparties de manière aléatoire sur l'ensemble de la zone d'études contrairement aux données de présence.

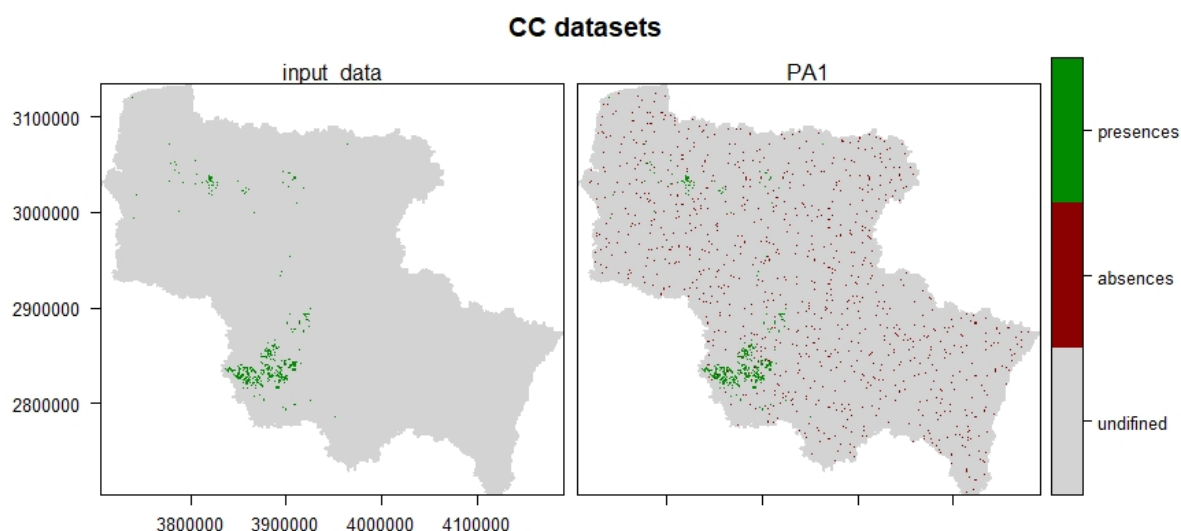


Figure 22 : visualisation du jeu de données du busard Saint-Martin, présentant en vert les données de présence et en rouge les pseudo-absences.

La [Figure 23](#) présente TSS en fonction de ROC, les deux méthodes d'évaluation des modèles. Les scores de ROC sont compris entre 0,878 et 0,909 ; ceux de TSS oscillent autour de 0,7, ce qui indique des prédictions utiles à bonnes pour les trois algorithmes. Les 3 algorithmes ne présentent quasiment aucune variation. Les modèles, pour être assemblés, devaient présenter un TSS d'au moins 0,7 ([Tableau 18](#)). Par conséquent, deux algorithmes ont été utilisés : RF et Maxent.

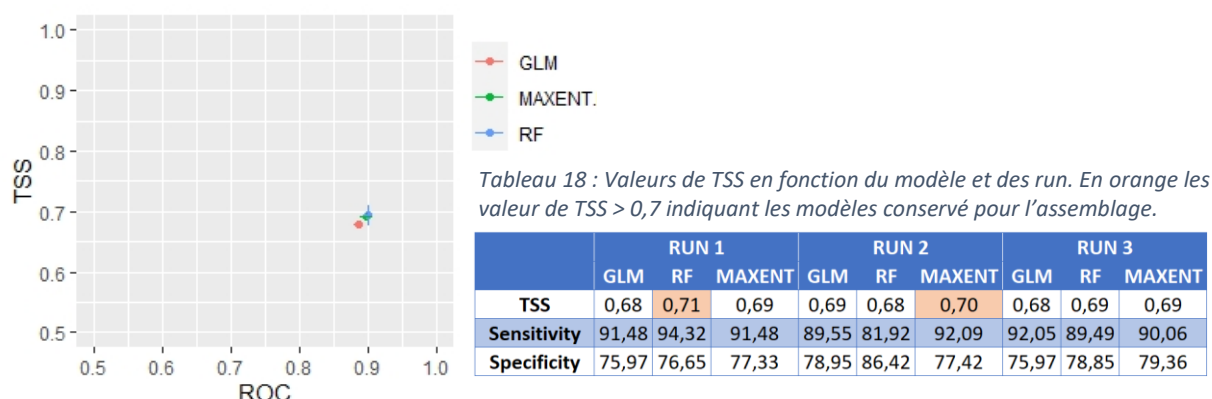


Figure 23 : A gauche, le graphique de TSS en fonction de ROC pour le busard Saint-Martin.

L'ordre d'importance des variables varie d'un modèle à l'autre. Maxent et GLM s'accordent sur l'altitude, suivie de la densité de population et de l'occupation du sol. Selon RF, la densité de population précède l'altitude. Il semble que la présence du réseau Natura 2 000 n'a qu'un faible impact sur la distribution du busard Saint-Martin et que l'humidité n'en a aucun (Tableau 19).

Tableau 19 : Importance des variables indépendante en fonction des modèles pour le busard Saint-Martin.

	GLM	RF	MAXENT
CLC	0.22	0.20	0.19
WAW	0.00	0.01	0.00
N2K	0.05	0.05	0.04
DP	0.19	0.46	0.33
ELEV	0.53	0.38	0.48

Selon les courbes de réponse (Figure 24), le *Circus cyaneus* peut se trouver dans de nombreux types de milieux différents, mais les probabilités sont plus élevées dans des zones à proximité de réseau hydrographique (CLC – 11), d'agriculture herbacée (CLC – 4), arbustives ou arborées (CLC – 5) ou extensives (CLC – 6). Les probabilités de le trouver en zone sèche (WAW – 1) sont nettement plus élevées qu'en zone humide (WAW – 2). De même, il est plus probable de le trouver hors du réseau Natura 2000 (N2K – 1). Au-delà de 100 habitants/km² ou en dehors de la fourchette d'altitude comprise entre 50 et 200 m, sa présence devient nettement moins probable.

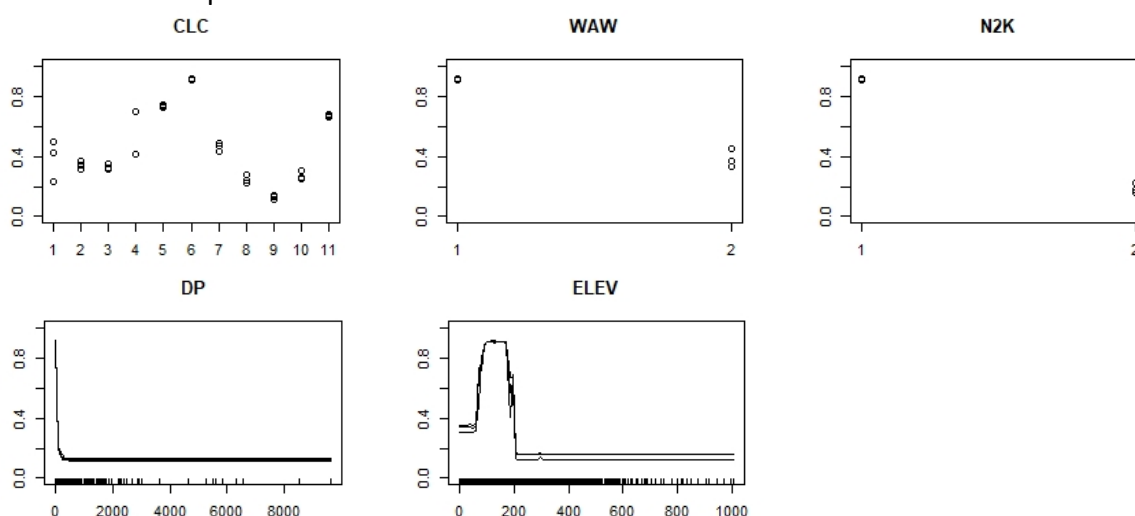


Figure 24 : Courbes de réponse des variables environnementales selon le modèle RF pour le busard Saint-Martin.

L'assemblage des modèles présente un score d'évaluation plus élevé que les modèles pris séparément (TSS = 0,77 ; Sensitivity = 96,9 et Specificity = 79,73). Notons que la spécificité est proche de 80%, par conséquent 20% des données que le modèle détermine comme des présences correspondent en réalité à des absences. Le cut-off correspondant à ce score est 0,206. Cette information a été utilisée comme seuil pour binariser les résultats de répartition de la carte des probabilités de présence (Annexe VII : Figure 53) afin d'obtenir la carte de présence-absence (Annexe VII : Figure 54).

3.3.3. BUSARD CENDRÉ (*C. PYGARGUS*)

La [Figure 25](#) permet de visualiser le jeu de données à partir duquel le HSM a été réalisé. Celui-ci comprenait, en vert, 2 589 données de présence pour 2 000 pseudo-absences en rouge. Ces dernières sont réparties de manière aléatoire sur l'ensemble de la zone d'études contrairement aux données de présence.

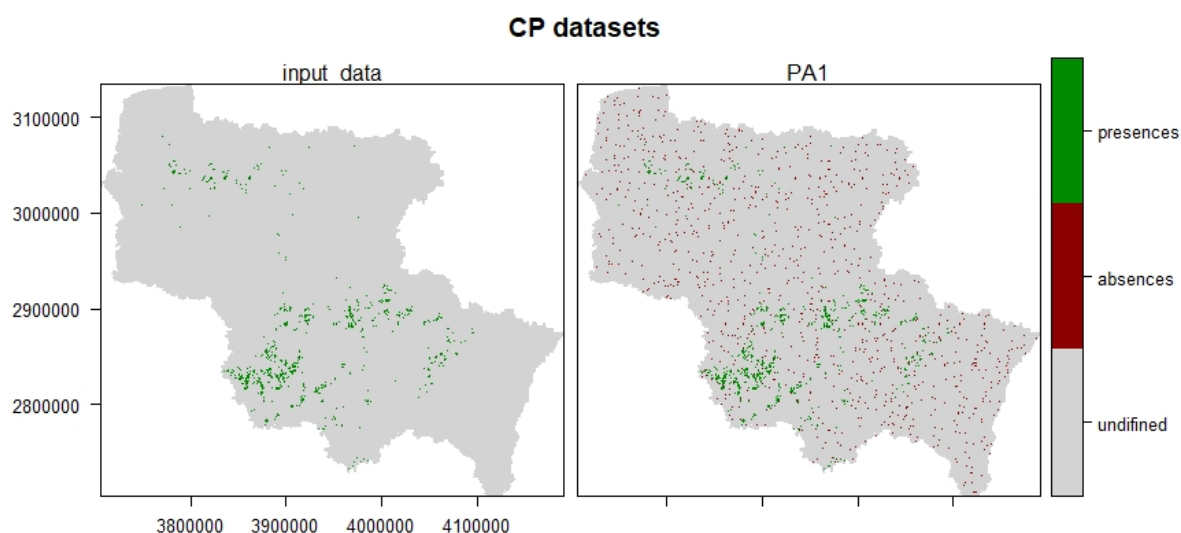


Figure 25 : visualisation du jeu de données du busard cendré, présentant en vert les données de présence et en rouge les pseudo-absences.

La [Figure 26](#) présente TSS en fonction de ROC, les deux méthodes d'évaluation des modèles. Les scores de ROC varient entre 0,78 et 0,86 et ceux de TSS oscillent entre 0,47 et 0,59, ce qui indique des prédictions utiles des trois algorithmes. Notons que sur l'axe de TSS, l'algorithme GLM présente une grande variabilité (cela indique que les résultats varient d'une cross-validation à l'autre). Comme aucun modèle ne présentait un TSS de 0,7 la sélection des modèles a été réalisée sur ROC également avec un score minimal de 0,7, ce qui implique que cette modélisation sera moins pertinente que celles des deux autres espèces ([Tableau 20](#)).

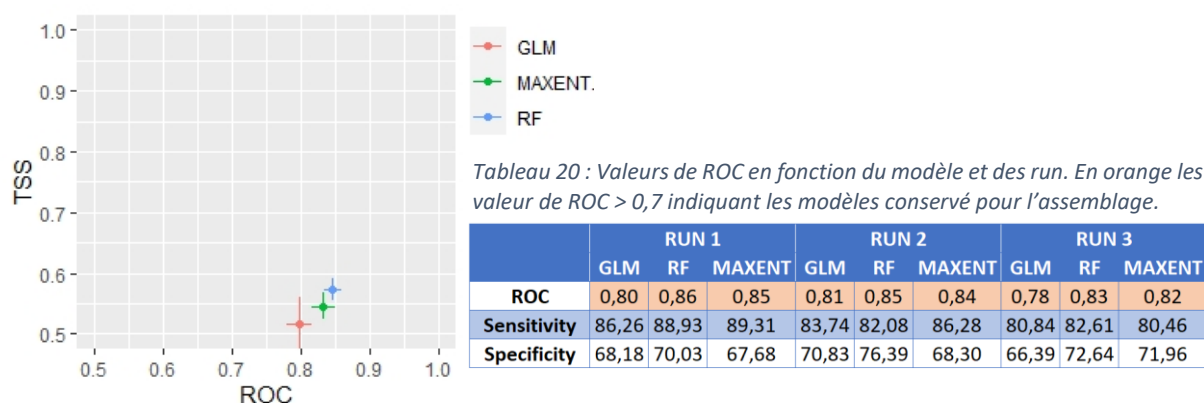


Figure 26 : A gauche, le graphique de TSS en fonction de ROC pour le busard cendré.

Les trois modèles ne présentent pas de consensus sur l'ordre d'importance des variables environnementales. Cependant, ils s'accordent sur l'absence d'impact des variables « humidité » et « Natura 2000 ». (Tableau 21)

Tableau 21 : importance des variables indépendantes en fonction des modèles pour le busard cendré

	GLM	RF	MAXENT
CLC	0,45	0,40	0,35
WAW	0,00	0,00	0,00
N2K	0,00	0,03	0,01
DP	0,22	0,41	0,33
ELEV	0,24	0,25	0,28

Selon les courbes de réponse (Figure 27), le busard cendré peut se trouver dans une diversité de milieux mais le milieu d'agriculture mixte (CLC – 6) est le type d'occupation de sol pour lequel la probabilité de présence est la plus élevée. Les probabilités de le trouver en zone sèche (WAW – 1) sont légèrement plus élevées que les probabilités de le croiser en zone humide (WAW – 2). Il est plus probable de le trouver hors du réseau Natura 2000 (N2K – 1). Au-delà de 500 habitants/km² ou de 400 m d'altitude, sa présence devient moins probable.

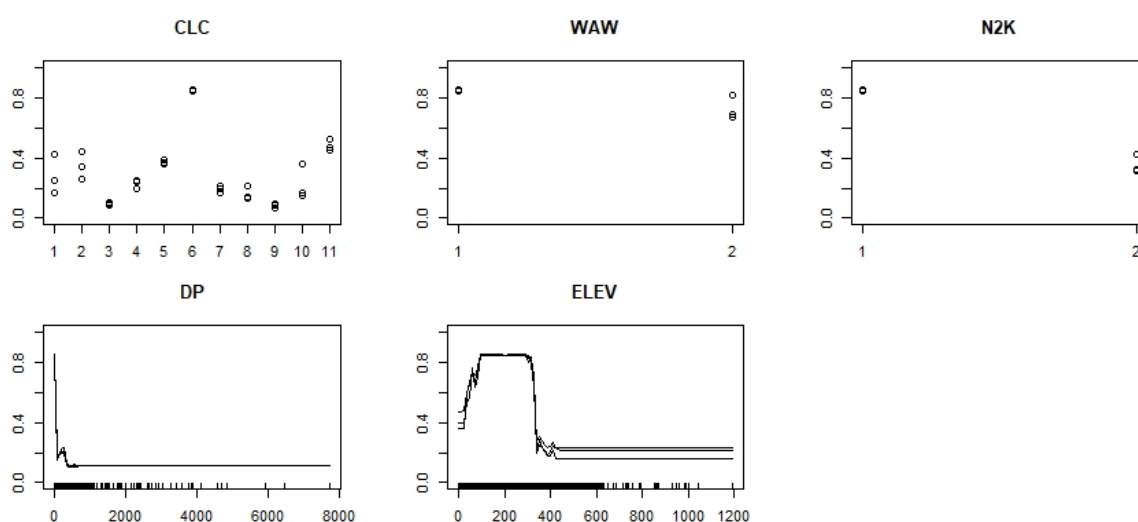


Figure 27 : Courbes de réponse des variables environnementales selon le modèle RF pour le busard cendré.

L'assemblage des modèles ne présente pas un score d'évaluation plus élevé que les modèles pris séparément (ROC = 0,854 ; Sensitivity = 85,15 et Specificity = 73,78). Par conséquent, 15% des données prédites comme « absence » correspondent en réalité à des présences et 26% des données prédites comme « présence » correspondent en réalité à des absences. Le cut-off correspondant à ce score est 0,550. Cette information a été utilisée comme seuil pour binariser les résultats de répartition de la carte des probabilités de présence (Annexe VII : Figure 55) afin d'obtenir la carte de présence-absence (Annexe VII : Figure 56).

3.3.4. COMPARAISON DES RÉSULTATS DES HSM ENTRE LES ESPÈCES

3.3.4.1. INFLUENCE DES VARIABLES

Seul le busard des roseaux présente le même ordre d'importance des variables environnementales selon les trois modèles. Bien que l'ordre varie d'une espèce à l'autre et d'un modèle à l'autre, les trois premières variables sont l'altitude, l'occupation du sol et la densité de population. En outre, tous les HSM s'accordent à propos des deux variables ayant le moins d'influence sur la probabilité de présence des busards : N2K et WAW. (Tableau 22)

Tableau 22 : Comparaison des ordres d'importance des variables environnementales selon les espèces et les algorithmes.

	CA	CC	CP
ELEV	1	1 ou 2	2 ou 3
CLC	2	2 ou 3	1 ou 2
DP	3	1 ou 2 ou 3	1 ou 2 ou 3
N2K	4	4	4
WAW	5	5	5

3.3.4.2. COURBES DE RÉPONSE

Occupation du sol

En dehors des milieux à proximité de réseaux de transport (2) et les zones humides (10), la probabilité de présence du busard cendré dans les différents milieux est toujours plus faible que celle du busard Saint-Martin, ce qui correspond à ce qui a été trouvé dans la littérature et résumé à l'Annexe IV. Par ailleurs, on voit que le busard des roseaux est le plus généralistes des trois espèces (Figure 28).

Malgré le faible pourcentage de busards présents dans des zones agricoles qualifiées « d'extensive » (6) (Tableau 15) il semble qu'il soit hautement probable de trouver les busards dans ces milieux quand ceux-ci sont disponibles (Figure 28).

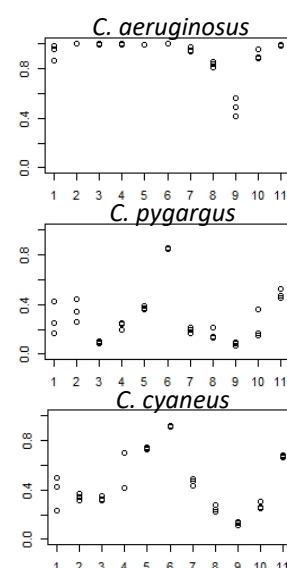


Figure 28 : Courbes de réponse de la variable occupation du sol selon RF

Eau et humidité

La Figure 29 démontre qu'il y a autant de probabilités de trouver le busard des roseaux en milieu humide (2) qu'en milieu sec (1). Il est légèrement moins probable de trouver un busard cendré en milieu humide plutôt que sec et il est beaucoup plus probable de trouver un busard Saint-Martin en milieu sec qu'en milieu humide. Ces informations concordent également avec le comportement de ces espèces décrit en Annexe IV.

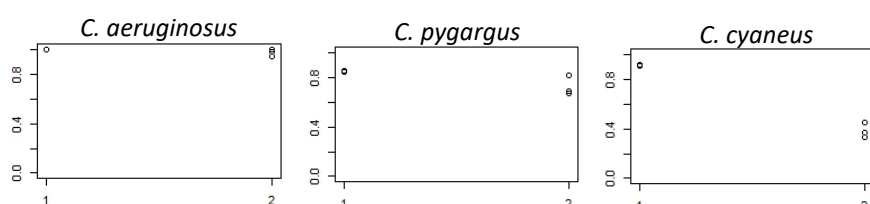


Figure 29 : Courbes de réponse de la variable humidité selon RF

Réseau Natura 2000

La probabilité qu'un busard des roseaux s'installe au sein du réseau Natura 2000 (2) est aussi élevée qu'il ne s'installe en dehors (1), contrairement au busard cendré et au busard Saint-Martin pour lesquels les probabilités de s'installer au sein du réseau sont nettement plus faibles que celles de s'installer en dehors (Figure 30).

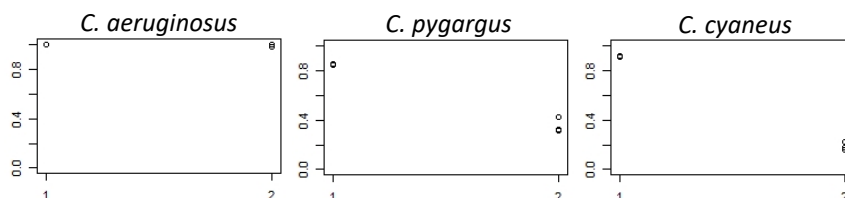


Figure 30 : Courbes de réponse de la variable réseau Natura 2000 selon RF

Densité de population

Le plus tolérant semble être le busard des roseaux (jusqu'à 1000 habitants/km²) et le plus exigeant serait le busard Saint-Martin (moins de 200 habitants/km²) (Figure 31).

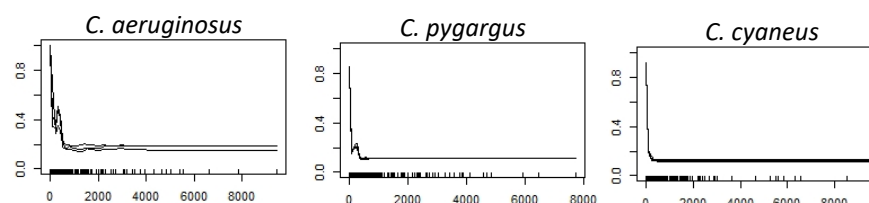


Figure 31 : Courbes de réponse de la variables densité de population selon RF

Altitude

Le plus tolérant semble être le busard cendré (de 30 à 300m d'altitude) et le plus exigeant serait le busard des roseaux de 50 à 200 m d'altitude) (Figure 32).

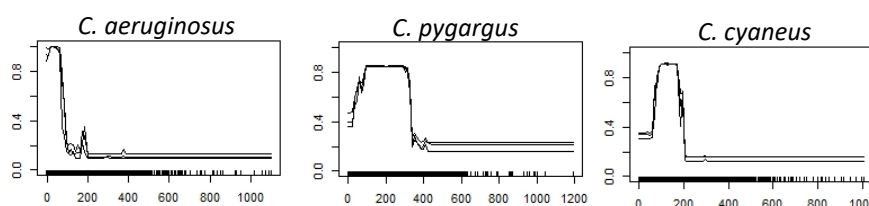


Figure 32 : Courbes de réponse de la variable altitude selon RF

3.3.4.3. RÉPARTITION

Les cartes des répartitions potentielles des busards obtenues présentent la répartition du busard des roseaux comme la plus restreinte et celle du busard cendré comme la plus vaste (Figure 33), ce qui concorde avec les résultats de ELEV pour ces deux busards. Cela ne correspond pas au résultat de CLC (indiquant que le busard Saint-Martin était plus tolérant que le cendré) cependant, les variables d'altitude et de densité de population prime sur l'occupation du sol en ce qui concerne le busard Saint-Martin, suivant ces résultats, il est normal que la répartition du busard Saint-Martin soit moins étendue que celle du busard cendré.

Par ailleurs la répartition du busard cendré recouvre quasiment en totalité la répartition du busard Saint-Martin (beaucoup de brun et peu de bleu sur la carte). Leurs répartitions recouvrent en partie celle du busard des roseaux, mais le jaune reste plus important à proximité du réseau hydrographique ce qui concorde avec les courbes de réponse présentant la présence des busards Saint-Martin et cendré comme moins probable dans des zones humides que dans des zones sèches (Figure 34).



Figure 33 : Miniatures des répartitions potentielles des trois busards disponibles en Annexe IX

Répartition potentielle des busards en Wallonie, dans les Hauts-de-France
et dans le Grand Est. 2010 - 2020

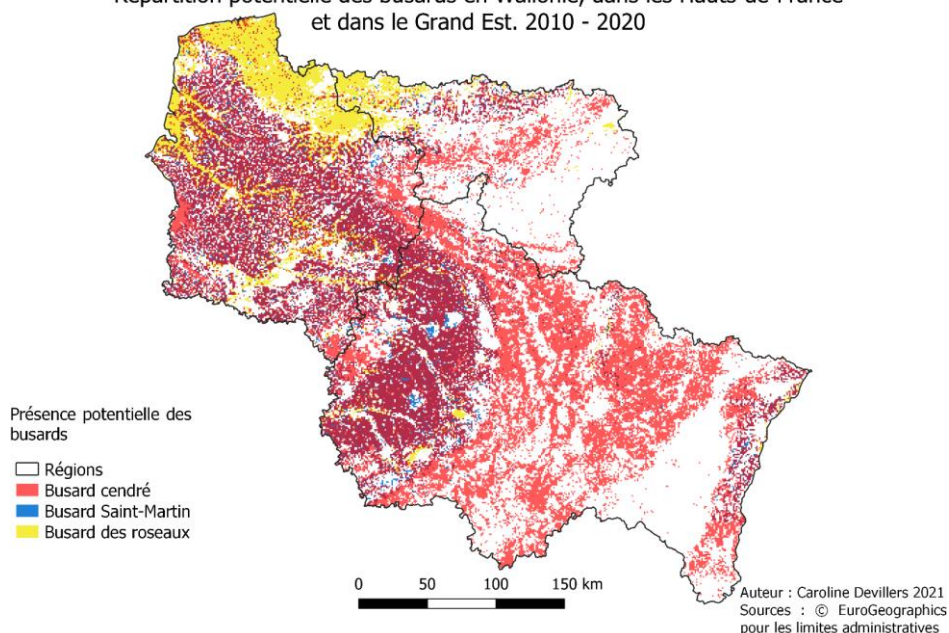


Figure 34 : Superposition des répartitions potentielles des trois busards.

4. DISCUSSION

4.1. RÉSULTATS

Les différentes questions présentées dans les objectifs ont trouvé réponse grâce aux analyses descriptives, exploratoires et prédictives. Les interprétations de ces réponses sont présentées ci-après :

Quel est l'habitat disponible et utilisé en Wallonie et dans le Nord de la France entre 2010 et 2020 pour la nidification des busards ?

D'après les analyses descriptives, l'habitat disponible est constitué d'une densité moyenne de population de 254 habitants par km², d'une altitude moyenne de 231,15 m, de 97,7% de zone sèche, de 11,5% de surface comprise dans le réseau Natura 2000 et de 28 catégories d'occupations de sol dont 5 majoritaires (terres arables non irriguées, forêts de feuillus, pâturages, tissus urbains discontinus et forêts de conifères).

Cependant, les trois busards n'occupent pas l'ensemble de l'espace disponible, leurs répartitions sont limitées à des zones de densité d'habitants plus faible, d'altitudes plus basses et à un nombre plus limité de catégories d'occupation du sol (de 11 à 17). 15% de la population du busard des roseaux se situe en zone humide et 21,6% en zone Natura 2000 contre, respectivement, moins de 1% et moins de 4% pour les deux autres busards.

L'analyse exploratoire ainsi que les courbes de réponse ont révélé que le busard cendré semblait plus exigeant sur l'ouverture des milieux qu'il fréquentait que le busard Saint-Martin. Cela correspond à ce qui est décrit dans la littérature et résumé en [Annexe IV](#).

Les points [1.2.3](#) et [1.2.5](#) mettaient en avant la colonisation des milieux agricoles par les trois espèces. Les analyses descriptives ont confirmé que le type de milieu principalement exploité par les busards entre 2010 et 2020 sont les terres arables non irriguées (entre 65 et 96%) alors qu'elles ne représentent que 37% de l'occupation du sol disponible dans la zone étudiée.

Les analyses descriptives ont mis en exergue un très faible pourcentage de présence des busards Saint-Martin et cendré au sein du réseau Natura 2000. Ces chiffres sont certainement dus au fait que peu de zones de cultures intensives se situent au sein de ce réseau. Or ce sont précisément les zones de cultures intensives où se concentrent les populations de busards cendré et Saint-Martin. Bien que la répartition du busard des roseaux atteigne 21% de zones en réseau Natura 2000, cela reste une faible proportion. Ce chiffre est probablement atteint soit du fait de la plus grande tolérance de cette espèce par rapport aux différentes catégories

d'occupation du sol, soit du fait que le réseau Natura 2000 protégerait les zones humides en particulier.

Les cultures intensives et les réseaux Natura 2000 étant peu compatibles, les MAEC seraient des mesures cruciales pour assurer la protection des busards dans les terres arables non irriguées.

L'analyse descriptive a relevé sept catégories de milieux communs aux trois espèces. Prêter une attention particulière à ces milieux dans le cadre des MAEC permettrait probablement de protéger les trois espèces.

Cette même analyse descriptive en lien avec les courbes de réponse ont montré que malgré le faible pourcentage de busards présents dans des zones agricoles qualifiées « d'extensive », il semble hautement probable de les trouver dans ces zones lorsqu'elles sont disponibles. Cela confirme l'intérêt de mettre en place des MAEC visant précisément à varier les cultures en zone agricoles ou à leurs abords.

Quelles sont les variables influençant les zones de nidification des busards en Wallonie et dans le nord de la France entre 2010 et 2020 ?

Selon les AFM, l'occupation du sol est la première source de variabilité. En second lieu, vient la densité de population ou la présence du réseau Natura 2000, selon l'espèce. En troisième position on trouve l'humidité pour le busard des roseaux, le réseau Natura 2000 pour le busard Saint-Martin et l'altitude pour le busard cendré (Tableau 23). Selon les HSM, les variables environnementales les plus importantes sont l'altitude, l'occupation du sol et la densité de population, l'ordre variant d'une espèce à l'autre (Tableau 23).

Tableau 23: Comparaison des ordres d'importance des variables environnementales selon les AFM et HSM

	CA		CC		CP	
	AFM	HSM	AFM	HSM	AFM	HSM
ELEV	5	1	4	1 ou 2	3	2 ou 3
CLC	1	2	1	2 ou 3	1	1 ou 2
DP	2	3	3	1 ou 2 ou 3	2	1 ou 2 ou 3
N2K	4	4	2	4	4	4
WAW	3	5	5	5	5	5

Les résultats entre les HSM et les AFM varient légèrement (Tableau 23). Cependant ces deux techniques n'ont pas la même utilité : l'AFM sert à mettre en avant les sources de variabilité au sein d'un jeu de données, alors que le HSM est utilisé pour trouver les critères de sélection communs dans un jeu de données (permettant de décrire une niche ou une distribution). Par conséquent, il est normal que l'altitude, dont l'amplitude de variation est faible pour les busards des roseaux et Saint-Martin, soit d'une part une variable expliquant

peu la variabilité du jeu de données et d'autre part une variable importante dans la définition de leurs répartitions de nidification.

Sur base des variables sélectionnées et grâce à l'utilisation des techniques de modélisation, quelles sont les zones de nidification potentielles pour les différentes espèces en Wallonie et dans le nord de la France ?

Les cartes obtenues aux termes des HSM (présentées en Annexe IX) exposent les répartitions potentielles des trois busards en Wallonie et dans le nord de la France.

Les différences de tailles entre les aires de répartition des trois busards s'expliquent par les différents niveaux de tolérance pour les variables d'altitude et de densité d'habitants caractéristiques à chaque espèce. L'occupation du sol ayant une importance secondaire, le fait que le busard des roseaux puisse être présent dans 17 catégories de milieux (par rapport à 12 et 11 pour les deux autres busards) n'influence pas de manière visible sa répartition potentielle.

Notons que l'altitude est connue pour être corrélée aux précipitations et aux températures. [100,101] Le HSM mettant en avant l'altitude comme étant une variable importante, il se peut qu'indirectement les précipitations et les températures soient également des variables importantes dans la définition des répartitions de nidification des trois busards.

Et enfin, en quoi diffèrent les espèces de busards au regard de la niche de nidification établie ?

La comparaison des trois répartitions potentielles met en évidence une différence du nombre de zones adaptées pour les nidifications des trois espèces : le busard des roseaux présentant la répartition potentielle la plus étroite et le busard cendré la plus vaste.

Le manque d'habitat adapté pour le busard des roseaux explique probablement un nombre plus faible de données de présence (533) récoltées sur une période de 10 ans par rapport aux deux autres busards (1130 et 2589).

4.2. LIMITATIONS

Rappelons que les résultats obtenus se basent sur des modélisations ne représentant que partiellement la réalité.

Bien que leur choix soit justifié par la littérature, seules cinq variables environnementales ont été retenues pour les modélisations, parmi un grand nombre d'autres possibilités.

De plus, afin de ne manipuler qu'une seule carte par variable environnementale, l'hypothèse a été émise que les informations cartographiques d'une année étaient valables pour la période de 10 ans considérée.

Au travers de l'ensemble des analyses, il est fréquemment apparu que la variable d'occupation du sol donnait des résultats cohérents avec les variables d'humidité et de densité d'habitants. En effet, les corrélations étaient de 0,65 et 0,69, ce qui est non négligeable. Cependant, les trois variables environnementales ont été conservées car aucune corrélation n'atteignait le seuil d'exclusion fixé à 0,7 ; car elles avaient été toutes les trois mises en avant par la littérature (résumée dans l'introduction et les annexes) ; et parce que la densité de population et l'humidité apportaient des nuances que l'occupation du sol ne distinguait pas (par exemple : s'il y a plus de chance pour qu'une zone à forte densité de population soit urbanisée, l'inverse n'est pas forcément vrai).

Le nombre de validations croisées était de trois ce qui correspond au minimum requis.

Les résultats du busard cendré, en particulier, sont à prendre avec d'autant plus de prudence que les modèles assemblés ont été sélectionnés sur base de la méthode d'évaluation ROC qui est moins robuste que TSS. [72,99]

5. CONCLUSION

Ce travail a présenté succinctement l'écologie de la nidification, les menaces et les statuts de protection ainsi que les mesures de protection (protection des nids, MAEC, suivi des populations) des busards des roseaux (*C. aeruginosus*), Saint-Martin (*C. cyaneus*) et cendré (*C. pygargus*) valables en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand-Est. Il a également introduit les notions de niche écologique et les méthodes de modélisation de ces niches.

Afin d'optimiser d'éventuelles recherches de nids à protéger et d'aider les experts, chargés de la mise en place des MAEC, à identifier les zones où les busards feraient partie des enjeux environnementaux en Wallonie et dans le nord de la France, les objectifs spécifiques suivants ont été déterminés : décrire l'habitat disponible, décrire l'habitat utilisé, sélectionner les variables environnementales influençant les zones de nidification, identifier la répartition potentielle de nidification et comparer les résultats obtenus pour les différentes espèces.

Des analyses descriptives (analyse uni- et bivariable), exploratoires (Analyse Factorielle Multiple) et prédictives (Habitat Suitability Models) ont permis de décrire l'habitat disponible ainsi que l'habitat utilisé par les busards, ce dernier étant nettement restreint par rapport à l'habitat disponible.

Les AFM et HSM ont mis en évidence l'importance des variables « occupation du sol », « altitude » et « densité d'habitants » sur la répartition des busards. Ils ont également mis en évidence la faible importance de l'humidité et du réseau Natura 2000 sur ces mêmes répartitions.

Les HSM ont généré neuf modèles par espèces, parmi ces neuf modèles, certains ont été assemblés sur base des méthodes d'évaluation TSS ou ROC pour fournir un modèle combiné. Les trois modèles combinés obtenus ont permis de générer chacun une projection de la répartition de la nidification d'une des trois espèces pour la Wallonie et le nord de la France.

Les projections des répartitions ont été comparées à l'aide des informations obtenues au cours des différentes analyses. Il en est ressorti que le busard des roseaux présente la plus petite répartition potentielle de nidification, le busard cendré la plus grande et celle du busard Saint-Martin se situe entre les deux, ceci en raison de leurs différents niveaux de tolérance par rapport aux variables environnementales « altitude » et « densité de population ».

Enfin, les résultats et les méthodes utilisés pour obtenir ces répartitions ont été discutés. Il semblerait que les mesures agro-environnementales et climatiques puissent avoir un impact important sur la protection des busards en milieu agricole.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail pourraient être éventuellement utilisés comme support pour la prise de décision concernant les MAEC en Wallonie et dans le Nord de la France. Ils pourraient également être utilisés pour optimiser la recherche des nids à protéger.

6. PERSPECTIVES

Afin d'obtenir des modélisations plus pertinentes, les résultats pourraient être à nouveau générés en considérant une cartographie des variables environnementales par année – dans la mesure de leur disponibilité – ou en augmentant le nombre de validations croisées, ou en incluant d'autres variables environnementales, ou en quantifiant les variables catégorielles par des calculs de distance à la catégorie.

En matière de protection des busards, il pourrait être intéressant de réaliser des projections sur base de variables environnementales prévisionnelles afin d'anticiper leurs répartitions potentielles futures.

Les cartes des répartitions potentielles obtenues semblent indiquer le tracé de plusieurs fleuves et rivières des zones étudiées (Somme, Aisne, lacs de Champagne...).

Il serait sans doute intéressant de prendre en compte la distance par rapport à ces réseaux hydrographiques dans de futures modélisations des niches des busards.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gill F, Donsker D, Rasmussen P. (Eds). 2021. IOC World Bird List (v11.1). doi : 10.14344/IOC.ML.11.1. 2021. <https://www.worldbirdnames.org/new/bow/raptors/> (accessed February 22, 2021).
- [2] Lerner HRL, Mindell DP. Phylogeny of eagles, Old World vultures, and other Accipitridae based on nuclear and mitochondrial DNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 2005;37:327–46. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2005.04.010>.
- [3] Paton PWC, Messina FJ, Griffin CR. A Phylogenetic Approach to Reversed Size Dimorphism in Diurnal Raptors. *Oikos* 1994;71:492–8. <https://doi.org/10.2307/3545837>.
- [4] Ferguson-Lees J, Christie DA. *Raptors of the World: A Field Guide*. Bloomsbury Publishing; 2020.
- [5] LPO. Rapaces - Les busards 2021. <http://rapaces.lpo.fr/busards/les-busards> (accessed April 11, 2021).
- [6] Lartique S. Circus pygargus male. Site de busards-meuse ! n.d. <https://busards-meuse.jimdofree.com/la-mission/les-busards/> (accessed May 18, 2021).
- [7] Hofman R. Circus aeruginosus male n.d. <https://www.oiseaux.net/photos/rein.hofman/busard.des.roseaux.3.html> (accessed May 18, 2021).
- [8] Khorshed M. Circus cyaneus male n.d. <http://zoozoo.hu/erkeznok-a-csodalatos-telelo-ragadozok-kekes-retihejak-gatyas-olyvek-kis-solymok/> (accessed May 18, 2021).
- [9] LPO. Observatoire Rapaces - Busard des roseaux. Observatoire-RapacesLpoFr 2021. http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php?m_id=20051 (accessed April 26, 2021).
- [10] Clarke R. Montagu's Harrier. Arlequin Press. Chelmsford, Essex: 1996.
- [11] Clarke R. Marsh Harrier. Hamlyn Species Guides. London: 1995.
- [12] LPO. Observatoire Rapaces - Busard Saint-Martin. Observatoire-RapacesLpoFr 2021. http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php?m_id=20052 (accessed March 22, 2021).
- [13] LPO. Observatoire Rapaces - Busard cendré. Observatoire-RapacesLpoFr 2021. http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php?m_id=20050 (accessed April 26, 2021).
- [14] Aves. Biologie des busards en général. Aves, pôle ornithologique de Natagora, association de protection de la nature 2021. <https://www.aves.be/index.php?id=2323> (accessed March 27, 2021).
- [15] Leroux A. *Le Busard cendré*. Belin. Paris: 2004.
- [16] Schipper WJA. A Comparison of Prey Selection in Sympatric Harriers, Circus, in Western Europe. Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique; 1973.
- [17] Forsman D, Dick. *The Raptors of Europe and the Middle East: A Handbook of Field Identification*. Christopher Helm; 2007.
- [18] BirdLife International. IUCN Red List for birds 2021. <http://www.birdlife.org> (accessed May 15, 2021).
- [19] Simmons RE, Simmons PFI of AOR. *Harriers of the World: Their Behaviour and Ecology*. Oxford University Press; 2000.
- [20] Lebeau J. *Opération SOS busards dans les champs de céréales : appel aux agriculteurs pour les préserver* 2019.
- [21] Cormier J-P, Fustec J, Python J, Choisy P. Selection of nesting habitat by Montagu's Harriers Circus pygargus and Hen Harriers Circus cyaneus in managed heaths: Capsule Montagu's Harriers avoided tree plantations and selected plots with dense heath of intermediate height, while sympatric Hen Harriers preferred afforested or taller plots of heath. *Bird Study* 2010;March 1:86–93. <https://doi.org/10.1080/00063650809461508>.
- [22] Millon A, Bourrioux J-L, Riols C, Bretagnolle V. Comparative breeding biology of Hen Harrier and Montagu's Harrier: An 8-year study in north-eastern France. *Ibis* 2002;144:94–105. <https://doi.org/10.1046/j.0019-1019.2001.00009.x>.
- [23] Sternalski A, Blanc J-F, Augiron S, Rocheteau V, Bretagnolle V. Comparative breeding performance of Marsh Harriers Circus aeruginosus along a gradient of land-use intensification and implications for population management. *Ibis* 2013;155:55–67. <https://doi.org/10.1111/ibi.12003>.
- [24] Aves. Biologie du busard Saint-Martin. Aves, Pôle Ornithologique de Natagora, Association de Protection de La Nature 2021. <https://www.aves.be/index.php?id=2425> (accessed March 22, 2021).
- [25] Arroyo BE, Bretagnolle V, Leroux A. Interactive effects of food and age on breeding in the Montagu's Harrier Circus pygargus: Food and age effects on Montagu's Harrier breeding. *Ibis* (London, England) 2007;149:806–13. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2007.00716.x>.
- [26] Arroyo B, Mougeot F, Bretagnolle V. Colonial Breeding and Nest Defence in Montagu's Harrier (Circus pygargus). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 2001;50:109–15.
- [27] Cormier JP. The role of the vegetation in the choice of breeding sites by Circus cyaneus L. and Circus pygargus in areas planted with conifers 1984.

Bibliographie

- [28] Amar A, Redpath SM. Determining the cause of the hen harrier decline on the Orkney Islands: an experimental test of two hypotheses. *Animal Conservation* 2002;5:21–8. <https://doi.org/10.1017/S1367943002001038>.
- [29] Arroyo BE. Diet of Montagu's Harrier *Circus pygargus* in central Spain: analysis of temporal and geographic variation. *Ibis* 1997;139:664–72. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1997.tb04689.x>.
- [30] Garcia JT, Arroyo BE. Intra- and interspecific agonistic behaviour in sympatric harriers during the breeding season. *Animal Behaviour* 2002;64:77–84. <https://doi.org/10.1006/anbe.2002.3035>.
- [31] Hoyo J del, Elliott A, Sargatal J, Cabot J, Christie D. Handbook of the Birds of the World: New world vultures to guineafowl. Lynx Edicions; 1992.
- [32] Cramp S, Simmons KEL, Gillmor R, Hollom PAD, Hudson R, Nicholson EM, et al. Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Birds of the Western Palearctic Volume II Hawks to Bustards. vol. 2. Oxford University Press. Oxford: Oxford edition; 1980.
- [33] Arroyo BE, Garcia JT, Bretagnolle V. Conservation of the Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in agricultural areas. *Animal Conservation* 2002;5:283–90.
- [34] Mateo R, Estrada J, Paquet J-Y, Riera X, Domínguez L, Guitart R, et al. Lead shot ingestion by marsh harriers *Circus aeruginosus* from the Ebro delta, Spain. *Environmental Pollution - ENVIRON POLLUT* 1999;104:435–40. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00169-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00169-9).
- [35] CMS. Convention de Bonn. Convention Sur La Conservation Des Espèces Migratrices Appartenant à La Faune Sauvage 1983. <https://www.cms.int/fr/legalinstrument/cms> (accessed March 31, 2021).
- [36] CITES. Convention de Washington 1973. <https://cites.org/fra/disc/text.php> (accessed May 26, 2021).
- [37] Gailly R. Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*). La Biodiversité En Wallonie n.d. <http://biodiversite.wallonie.be/fr/circus-aeruginosus.html?IDC=312&IDD=50334094> (accessed March 30, 2021).
- [38] Gailly R. Busard cendré (*Circus pygargus*). La Biodiversité En Wallonie n.d. <http://biodiversite.wallonie.be/fr/circus-pygargus.html?IDD=50334096&IDC=312> (accessed May 15, 2021).
- [39] Gailly R. Busard Saint-Martin (*Circus cyaneus*). La Biodiversité En Wallonie n.d. <http://biodiversite.wallonie.be/fr/circus-cyaneus.html?IDD=50334095&IDC=312> (accessed May 26, 2021).
- [40] INPN. *Circus pygargus*. Inventaire National du Patrimoine Naturel 2021. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2887 (accessed January 26, 2021).
- [41] INPN. *Circus aeruginosus*. Inventaire National du Patrimoine Naturel 2021. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2878 (accessed January 27, 2021).
- [42] INPN. *Circus cyaneus*. Inventaire National du Patrimoine Naturel 2021. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2881 (accessed May 26, 2021).
- [43] Convention de Berne. Conseil de l'Europe Portail 1979. <https://www.coe.int/fr/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/104> (accessed May 13, 2021).
- [44] Parlement Européen, Conseil de l'Union Européenne. Directive 2009/147/CE. 2009.
- [45] Conseil de l'Union Européenne. Règlement 338/97/CE relatif à la protection des espèces de faune et de flore sauvages par le contrôle de leur commerce. 1996.
- [46] Parlement Français. Loi n° 76-629. 1976.
- [47] Gouvernement Français. Arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. 2009.
- [48] Loi sur la conservation de la nature. 1973.
- [49] Aves. Biologie du busard des roseaux. Aves, pôle ornithologique de Natagora, association de protection de la nature 2021. <https://www.aves.be/index.php?id=2426> (accessed March 22, 2021).
- [50] Aves. Biologie du busard cendré. Aves, pôle ornithologique de Natagora, association de protection de la nature 2021. <https://www.aves.be/index.php?id=2424> (accessed March 22, 2021).
- [51] Bourrioux J-L, Paris S. Programme de conservation des trois espèces de busards en Champagne-Ardenne. Beurville: LPO et GEPB; 2020.
- [52] Aves. Actions pour les Busards. Aves, Pôle Ornithologique de Natagora, Association de Protection de La Nature 2021. <https://www.aves.be/index.php?id=1395> (accessed January 26, 2021).
- [53] Actions d'améliorations des sites d'habitats à long terme: Aves, pôle ornithologique de Natagora, association de protection de la nature n.d. <https://www.aves.be/index.php?id=2449> (accessed July 26, 2021).
- [54] Pierret N. Réponse d'une guildes d'oiseaux de milieux ouverts à l'aménagement agro-environnemental des zones de grandes cultures en Hesbaye liégeoise 2020.

Bibliographie

- [55] Natagriwal - MAEC. Natagriwal 2019. <https://www.natagriwal.be/fr/mesures-agro-environnementales/en-quelques-mots> (accessed July 25, 2021).
- [56] De Waele E. Evaluation de la diversité floristique des prairies en MAEC « MC4 - prairie de haute valeur biologique » en Wallonie 2020.
- [57] Cornier B. Impact de la mise en place des parcelles ou des bandes aménagées dans la matrice agricole sur le choix du territoire chez le bruant proyer (*Emberiza calandra*) 2019.
- [58] Schlaich A. Migrants in double jeopardy: Ecology of Montagu's Harriers on breeding and wintering grounds. University of Groningen, 2019.
- [59] Suivi et conservation - Busards - LPO Rapaces n.d. <http://rapaces.lpo.fr/busards/suivi-et-conservation> (accessed July 26, 2021).
- [60] Chercher les nidifications: Aves, pôle ornithologique de Natagora, association de protection de la nature n.d. <https://www.aves.be/index.php?id=2448> (accessed July 26, 2021).
- [61] Groupe d'étude pour les busards. Consignes de prospection. BusardsCom 2020. https://busards.com/index.php/Enquete_2019/consignes (accessed February 11, 2021).
- [62] Aureau I, Bigorne J-L, Boileau N, Bourrioux J-L. Cahier technique Busards version 2 2017.
- [63] actions de protections des nids: Aves, pôle ornithologique de Natagora, association de protection de la nature n.d. <https://www.aves.be/index.php?id=2447> (accessed July 26, 2021).
- [64] Peterson AT, Ball LG, Cohoon KP. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* 2002;144:E27–32. <https://doi.org/10.1046/j.0019-1019.2001.00031.x>.
- [65] Faria TP. Understanding the geographic distribution of species: An evaluation of different methods for modeling species distributions and a test of the niche characteristics hypotheses. - ProQuest. University of Missouri - St. Louis, 2007.
- [66] Collart F, Hedenäs L, Broennimann O, Guisan A, Vanderpoorten A. Intraspecific differentiation: Implications for niche and distribution modelling. *Journal of Biogeography* 2021;48:415–26. <https://doi.org/10.1111/jbi.14009>.
- [67] Magain N. Biodiversité 2018.
- [68] Frédéric B. Biodiversité - Ecologie 2018.
- [69] Collart F. Predicting the dynamics of range shifts under climate change: assumptions and applications to the European bryophyte flora. Université de Liège, Liège, Belgique, 2021.
- [70] Vanderpoorten A. Biogéographie 2019.
- [71] Zurell D, Engler JO. Ecological niche modelling. Oxford University Press; n.d.
- [72] Guisan A. Habitat suitability and distribution models: with applications in R. Cambridge: University Press; 2017.
- [73] Piza-Roca C, Zelfde M van 't, Haye MJL, Jongejans E, Raes N. European badger habitat requirements in the Netherlands – combining ecological niche models with neighbourhood analysis. *Wbio* 2018;2018. <https://doi.org/10.2981/wlb.00453>.
- [74] Feng X, Park DS, Walker C, Peterson AT, Merow C, Papeş M. A checklist for maximizing reproducibility of ecological niche models. *Nat Ecol Evol* 2019;3:1382–95. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0972-5>.
- [75] Sillero N, Barbosa AM. Common mistakes in ecological niche models. *International Journal of Geographical Information Science* 2020;0:1–14. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1798968>.
- [76] R Core Team. R: The R Project for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2020.
- [77] QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Open Source Geospatial Foundation; 2021.
- [78] Microsoft Corporation. Microsoft Excel. 2018.
- [79] Hijmans RJ. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. 2020.
- [80] Wickham H, Hester J, Francois R, RStudio, library) <https://github.com/mandreyel/> (mio, implementation) JJ (grisu3, et al. readr: Read Rectangular Text Data. 2021.
- [81] Wickham H, François R, Henry L, Müller K, RStudio. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. 2021.
- [82] Husson F, Josse J, Le S, Mazet J. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. 2020.
- [83] Vaissie P, Monge A, Husson F. Factoshiny: Perform Factorial Analysis from "FactoMineR" with a Shiny Application. 2021.
- [84] Thuiller W, Georges D, Gueguen M, Engler R, Breiner F. biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. 2021.
- [85] Fourcade Y, Besnard AG, Secondi J. Paintings predict the distribution of species, or the challenge of selecting environmental predictors and evaluation statistics. *Global Ecology and Biogeography* 2018;27:245–56. <https://doi.org/10.1111/geb.12684>.

Bibliographie

- [86] Blanchet FG, Cazelles K, Gravel D. Co-occurrence is not evidence of ecological interactions. *Ecology Letters* 2020;23:1050–63. <https://doi.org/10.1111/ele.13525>.
- [87] Densité de population. Eurostat n.d. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/population-distribution-demography/geostat#geostat11> (accessed July 30, 2021).
- [88] Corine Land Cover. Copernicus n.d. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=metadata> (accessed July 30, 2021).
- [89] Water & Wetness. Copernicus n.d. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/water-wetness/status-maps/water-wetness-2018> (accessed July 30, 2021).
- [90] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S, van Velthuisen HT, Verelst L, Wiberg D. Portail d'information sur les sols. Organisation Des Nations Unies Pour l'alimentation et l'agriculture 2008. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/cartes-historiques-et-bases-de-donnees-des-sols/base-harmonisee-mondiale-de-donnees-sur-les-sols-version-12/fr/> (accessed July 30, 2021).
- [91] Natura 2000. EEA Geospatial Data Catalogue - European Environment Agency n.d. <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/eea/fre/catalog.search#/metadata/b1777027-6c85-4d19-bdf2-5840184d6e13> (accessed July 30, 2021).
- [92] Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 2013;36:27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
- [93] Abdi H, Williams LJ. Principal component analysis. *WIREs Computational Statistics* 2010;2:433–59. <https://doi.org/10.1002/wics.101>.
- [94] Pagès J. Analyse factorielle de données mixtes. *Revue de Statistique Appliquée* 2004;52:93–111.
- [95] Araújo MB, New M. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 2007;22:42–7. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>.
- [96] Nelder JA, Wedderburn RWM. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A (General)* 1972;135:370–84. <https://doi.org/10.2307/2344614>.
- [97] Breiman L. Random Forests. *Machine Learning* 2001;45:5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- [98] Phillips SJ, Anderson RP, Dudík M, Schapire RE, Blair ME. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 2017;40:887–93. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>.
- [99] Allouche O, Tsoar A, Kadmon R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 2006;43:1223–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>.
- [100] Haiden T, G P. Intensity-dependent parameterization of elevation effects in precipitation analysis. *Advances in Geosciences* 2009;20. <https://doi.org/10.5194/adgeo-20-33-2009>.
- [101] Lancaster N. Relationships Between Altitude and Temperature in Malawi. *South African Geographical Journal* 1980;62:89–97. <https://doi.org/10.1080/03736245.1980.10559624>.
- [102] Collin D. Circus pygargus male dorsal view n.d. <https://www.oiseaux.net/photos/didier.collin/busard.cendre.10.html> (accessed May 18, 2021).
- [103] Verroen R. Circus cyaneus male dorsal view. Raptor Persecution UK 2020. <https://raptorpersecutionscotland.wordpress.com/2020/03/12/hen-harrier-shot-on-grouse-moor-north-yorkshire-police-make-an-arrest/> (accessed May 18, 2021).
- [104] Hofman R. Circus aeruginosus male dorsal view n.d. <https://www.oiseaux.net/photos/rein.hofman/busard.des.roseaux.1.html> (accessed May 18, 2021).
- [105] Henrion B. Circus pygargus male ventral view. Bétails de min coin n.d. <http://betails-de-min-coin.over-blog.com/2017/06/busard-thierache-axonaie.html> (accessed May 18, 2021).
- [106] Perelle C. Circus cyaneus male ventral view. Observatoire Rapaces LPO n.d. http://observatoire-rapaces.lpo.fr/index.php?m_id=20052 (accessed May 18, 2021).
- [107] Lepron R. Circus aeruginosus male ventral view n.d. <https://www.oiseaux.net/photos/remy.lepron/busard.des.roseaux.2.html> (accessed May 18, 2021).
- [108] Srikumar B. Circus pygargus female dorsal view n.d. http://orientalbirdimages.org/search.php?Bird_ID=848 (accessed May 18, 2021).
- [109] Brelsford C. Circus cyaneus female dorsal view n.d. <https://ebird.org/species/norhar1> (accessed May 18, 2021).
- [110] Fasol M. Circus aeruginosus female dorsal view n.d. <https://www.oiseaux.net/photos/marc.fasol/busard.des.roseaux.5.html> (accessed May 18, 2021).
- [111] Fouarge J. Circus pygargus female ventral view n.d. <https://www.oiseaux.net/photos/jules.fouarge/busard.cendre.14.html> (accessed May 18, 2021).

Bibliographie

- [112] Chappuis A. Circus cyaneus female ventral view n.d.
<https://www.oiseaux.net/photos/alain.chappuis/busard.saint-martin.4.html> (accessed May 18, 2021).
- [113] Enoch H. Circus aeruginosus female ventrale view n.d.
<https://www.oiseaux.net/photos/herve.enoch/busard.des.roseaux.21.html> (accessed May 18, 2021).
- [114] Denys C, Liber M, Cuisin J. Première analyse taphonomique de pelotes de régurgitation de busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) de l'île d'Oléron (Charente Maritime, Sud-ouest France) 2007.
- [115] García J, Miguélez D, Astiárraga H, Zumalacárregui C. Factors determining the occupation of Marsh Harrier *Circus aeruginosus* breeding grounds in a Mediterranean environment. *Bird Study* 2015;62:331–8.
<https://doi.org/10.1080/00063657.2015.1032887>.
- [116] Fritz H, Guillemaini M, Stephane, Guillemain M, Guerin S. Changes in the frequency of prospecting fly-overs by Marsh Harriers *Circus aeruginosus* in relation to short-term fluctuations in dabbling duck abundance. *Ardea* 2000;88.
- [117] Garcia JT, Arroyo BE. Food-niche differentiation in sympatric Hen *Circus cyaneus* and Montagu's Harriers *Circus pygargus*. *Ibis* 2005;147:144–54. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2004.00377.x>.
- [118] Utilisation des zones Natura 2000 cartographiées grâce au busard des roseaux – LIFE Belgian Nature Integrated Project BNIP n.d. <https://www.life-bnip.be/fr/gebruik-natura-2000-gebieden-tijdens-trektocht-brunhilde-in-kaart-gebracht/> (accessed July 26, 2021).
- [119] Logos-Groupe-Life-BNIP-busards n.d.
<https://www.natagriwal.be/sites/default/files/kcfinder/images/newsletters/03-2019/Logos-Groupe-Life.gif> (accessed July 26, 2021).
- [120] Mercken K. LIFE Intégré : Préservons les busards. Natagriwal 2021.
<https://www.natagriwal.be/fr/actualites/life-integre> (accessed July 25, 2021).
- [121] Espèces - LIFE Avaloirs n.d. <https://life-avaloirs.parc-naturel-normandie-maine.fr/especes.html> (accessed July 26, 2021).
- [122] LIFE Avaloirs n.d. <https://life-avaloirs.parc-naturel-normandie-maine.fr/fr/> (accessed July 26, 2021).

8. ANNEXES

Annexe I. Détails de la classification des oiseaux de proies.

Au niveau de la classification, selon l'IOC²⁸ en février 2021, les oiseaux de proies sont divisés en trois ordres dont un est réservé aux rapaces dit « nocturnes », les Strigiformes. Parmi les rapaces dit « diurnes », on distingue les Falconiformes (faucon et caracaras) des Accipitriformes, qui rassemblent tous les autres rapaces diurnes. Au sein de ce dernier ordre, il existe quatre familles : Cathartidae représentant les vautours du nouveau monde, Pandionidae représentant les balbuzards, Sagittariidae dont la seule espèce est le Sagittarius serpentarius et Accipitridae comportant le reste des rapaces diurnes, ce qui représente 69 genres et 260 espèces. [1,2]

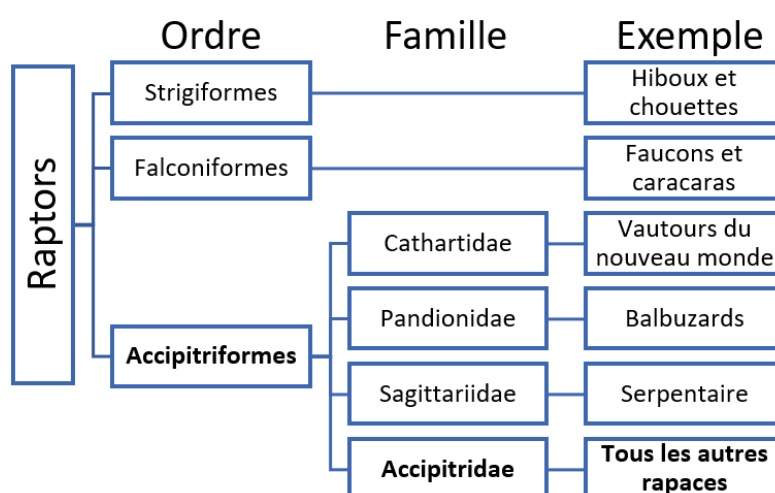


Figure 35 : Classification des rapaces

²⁸ International Ornithological Congress : la liste mondiale des oiseaux de la communauté internationale des ornithologues (IOC) est une ressource en libre accès. Elle présente une classification des oiseaux à jour. [1]

Annexe II. Détail des morphologies



Figure 36: *C. pygargus* mâle vue dorsale [102]



Figure 37: *C. cyaneus* mâle vue dorsale [103]



Figure 38: *C. aeruginosus* mâle vue dorsale [104]



Figure 39: *C. pygargus* mâle vue ventrale [105]



Figure 40: *C. cyaneus* mâle vue ventrale [106]



Figure 41: *C. aeruginosus* mâle vue ventrale [107]



Figure 42: *C. pygargus* femelle vue dorsale [108]



Figure 43: *C. cyaneus* femelle vue dorsale [109]



Figure 44: *C. aeruginosus* femelle vue dorsale [110]



Figure 45: *C. pygargus* femelle vue ventrale [111]



Figure 46: *C. cyaneus* femelle vue ventrale [112]



Figure 47: *C. aeruginosus* femelle vue ventrale [113]

Busard des roseaux - Circus aeruginosus

Le *C. aeruginosus* est la plus grande des 6 espèces de busards vivant sur le continent eurasiatique, pourtant, il a une taille moyenne pour un rapace. Il est aussi massif que la buse variable, il s'en distingue par une tête et un corps plus élancé, ainsi que par des ailes un peu plus longues, plus fine, avec des bords parallèles et un long balais. Tous les individus volants ont les rémiges noires. [4,5,9,11,17,19,31,32,49]

Ce rapace diurne présente un fort dimorphisme sexuel. Notons cependant que le leucisme partiel et le mélanisme partiel ou total ne sont pas rares, rendant la confusion inter genre possible. [9]

Le mâle se reconnaît à son aspect en mosaïque très contrasté. De loin, le corps semble brun roux. Les parties dorsales sont brunes avec plus ou moins de taches claires. Les parties ventrales sont d'un brun rouge et la queue est gris clair. La tête et le haut de la poitrine sont généralement de la même couleur et varient du crème au roussâtre finement striées de brun. L'iris est jaune. Les ailes déployées en vue dorsale sont tricolores (brun, gris et noir) et en vue ventrale bicolore (blanc et noir). [4,5,9,11,17,19,31,32,49]

La femelle, d'un brun soutenu, apparaît comme un oiseau très sombre à l'exception de la tête et de l'avant de l'aile crème en plus d'un bandeau brun passant sur l'œil. Les parties inférieures sont du même brun que les parties supérieures mais plus ou moins tachetées de crème. Enfin, la face inférieure des rémiges et les rectrices sont grisâtres. La couleur de l'iris varie avec l'âge, du brun ambré jusqu'à 2 ans, il virera pour devenir jaune à 4 ans ou plus. [4,5,11,17,19,31,32,49]

Le juvénile est d'un brun plus sombre que celui de la femelle. La tête est crème à nette nuance rousse, avec un large bandeau brun-noir passant sur l'œil dont l'iris est brune. Jusqu'à 2 ans, le juvénile ressemble fortement à une femelle. Le jeune mâle d'un an se reconnaît à son iris déjà jaune. Le plumage définitif est acquis au bout de plusieurs années (au minimum trois) mais certains oiseaux ne l'acquièrent jamais. [4,9,17,19,31,32]

Busard cendré – Circus pygargus

Le CP est le plus petit des trois espèces de busards. Il présente un dimorphisme sexuel très marqué au niveau de la coloration mais faible sur le plan de la taille. Des confusions sont possibles entre les femelles et les immatures de cette espèce et l'espèce CC. [4,5,10,13,15,17,19,31,32,50]

Annexes

Le mâle présente un plumage gris cendré dessus avec l'ensemble des rémiges primaires noires et une barre alaire également noire sur les rémiges secondaires. Le dessous du corps et des ailes est blanc grisâtre rayé de roux, à l'exception des rémiges primaires noires et on peut distinguer deux bandes noires sous les rémiges secondaires. [4,5,10,13,15,17,19,31,32,50]

La femelle est brune au-dessus avec des liserés roux sur la tête et la nuque. Au-dessous, le corps est chamois rayée de brun, les ailes brunes largement barrées de noir et le croupion blanc. Une tache pâle entourée de brun et de roux est visible sous l'œil. [5,13,15,50]

Le juvénile se distingue de la femelle surtout par le dessous roux jaunâtre presque uniforme du corps et l'iris sombre. [13]

1 à 5% des individus sont mélaniques donnant des mâles gris foncé voir noirâtres et des femelles chocolat foncé. [13]

Busard Saint-Martin - Circus cyaneus

Le busard Saint-Martin présente des dimensions intermédiaires entre celles du busard des roseaux et du busard cendré. Ses ailes sont beaucoup plus planes que celles des autres busards et plus large que celle du CP. D'ailleurs, il a un aspect plus massif que le busard cendré. Tous les individus matures ont l'iris jaune. Les deux sexes portent une tache blanche bien visible sur le bas du dos. [4,5,10,12,17,19,24,31,32]

Le mâle est uniformément gris à l'exception du ventre blanc et des extrémités des ailes noires (une partie seulement des rémiges primaires sont noires contrairement au busards cendré). En vue dorsale il ne présente pas de barre alaire, mais en vue ventrale, les extrémités noires des rémiges forment une bordure noire marquée sur le bord de fuite. [4,5,10,12,15,17,19,24,31,32]

La femelle a un plumage brun-roux foncé nuancé de zones pâles et présente une face inférieure crème et fauve striée de brun. Le croupion blanc contraste avec la queue brune rayée. La tête montre une face claire avec un point sombre devant l'œil et des sourcils blanchâtres bien marqués. [4,5,12,17,19,31,32]

Le juvénile ressemble beaucoup à la femelle : au-dessus il est d'un brun plus sombre et plus uniforme et au-dessous il est plus roussâtre et moins rayé. Sa tête est brun sombre avec des zones pâles : le front, la gorge, le sourcil, une tache sous-oculaire et le collier. Et Le croupion est blanc. [4,12,17,19,31,32]

Annexe III. Répartitions géographiques et mouvements migratoires : détails

Busard des roseaux - Circus aeruginosus

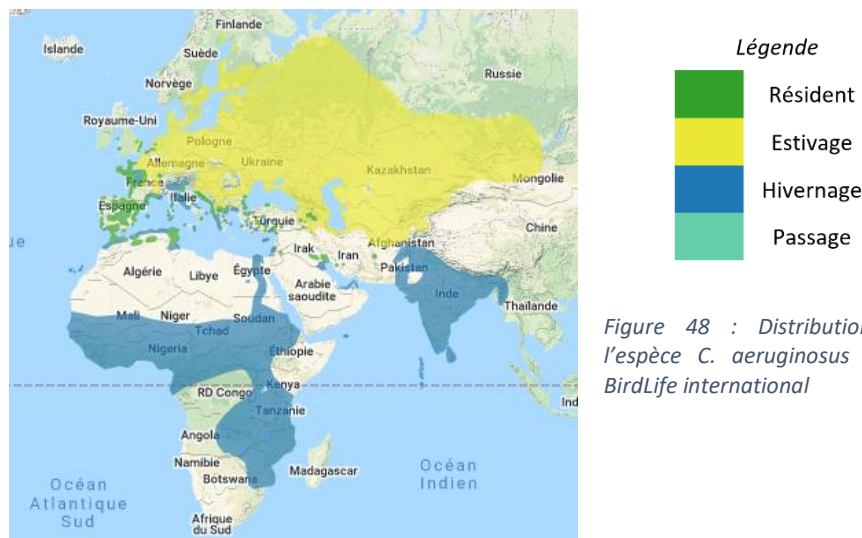


Figure 48 : Distribution de l'espèce *C. aeruginosus* selon BirdLife international

C'est un rapace largement répandu dans le Paléarctique occidental. On le rencontre dans la majeure partie de l'Eurasie ainsi que dans les pays du Maghreb. Sa zone de répartition s'étend du Maroc et de l'Espagne jusqu'au Japon. La limite septentrionale de l'espèce se situe vers 58-60° de latitude. [5,11]

Le Busard des roseaux constituerait pour certains ornithologues une seule espèce avec une large distribution géographique, pour d'autres, il existerait plusieurs sous-espèces. Ainsi, l'aire de distribution détaillée de la sous-espèce nominale *C. a. aeruginosus* serait limitée du côté ouest (Europe) par la mer Méditerranée, l'Angleterre, le sud de la Suède et de la Finlande et du côté est (Asie) par le lac Baïkal, l'Iran, le Turkestan et le sud de la mer Noire. [9]

Le busard des roseaux est une espèce migratrice, cependant certaines populations sont résidentielles. Le *C. aeruginosus* adopte un comportement de plus en plus sédentaire au fur et à mesure que l'on se dirige vers le sud de son aire de répartition. La puissance de vol du *C. aeruginosus* lui permet de s'abstraire des passages obligés des planeurs. Par conséquent, ils migrent sur un large front, très peu dépendants de la topographie des zones parcourues et des courants aériens et franchissent les étendues maritimes. Les suivis satellitaires montrent une migration différentielle jeunes/adultes, les jeunes par exemple ne traversant pas le Sahara. [4,9,11,17–19,31,32,114]

En automne, la migration postnuptiale intervient après une dispersion non directionnelle des jeunes oiseaux qui ont acquis leur indépendance. La migration débute mi-août et se termine en octobre-novembre, avec un pic en septembre. Certains oiseaux venant du nord

Annexes

terminent leur migration en Péninsule Ibérique et en France, mais des hivernants peuvent séjourner au nord dès la Hollande. La principale zone d'hivernage des oiseaux de l'Ouest paléarctique se situe en Afrique tropicale. Les busards atteignent ces contrées de mi-octobre à mi-novembre et y stationnent au minimum trois mois. Ainsi, le busard des roseaux est présent en Belgique toute l'année, mais certains individus de nos contrées partent plus au sud alors que d'autres viennent du nord pour hiverner chez nous. [4,9,17–19,31,32,49]

Au printemps, dès la fin du mois de février, la migration prénuptiale s'amorce, elle bat son plein de la mi-mars à la mi-avril et se termine fin mai en Finlande [4,9,17–19,31,32,49].

Habituellement solitaire, en période de migration il peut se montrer grégaire sur des sites d'alimentation particulièrement riche ou pour dormir et une vingtaine d'individus (de la même espèce, voire d'espèces du même genre) peuvent se rassembler pour occuper des gîtes de dortoir nocturne. [9,18,41,114]

Busard cendré - Circus pygargus

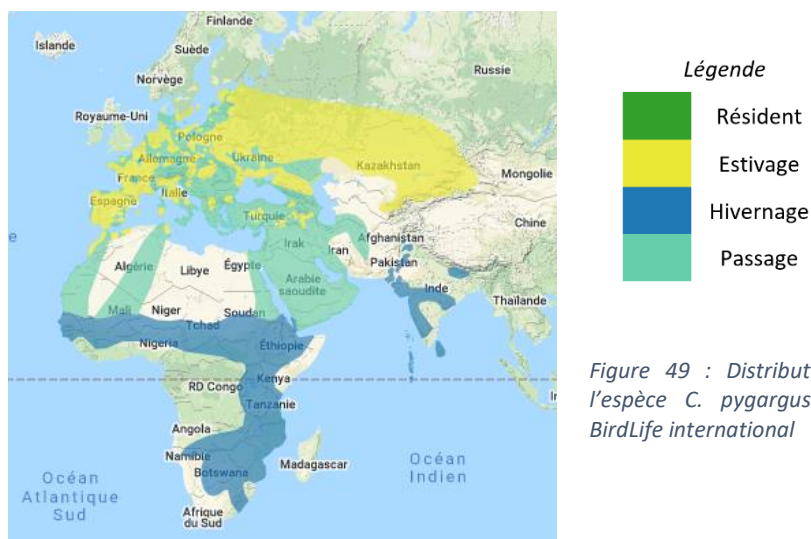


Figure 49 : Distribution de l'espèce *C. pygargus* selon BirdLife international

Le busard cendré se reproduit depuis les côtes d'Afrique du Nord jusqu'aux confins orientaux du Kazakhstan en couvrant le continent européen. [4,5,10,15,17,19,22,31,32]

L'espèce est monotypique, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de sous-espèce. Bien qu'il n'y ait pas de discontinuité, deux populations géographiques sont distinguées essentiellement par leur zone d'hivernage :

- la population européenne (incluant la partie européenne de la Russie) qui hiverne en Afrique au sud du Sahara dans les steppes et savanes d'Afrique tropicale, du Sénégal à l'Erythrée vers l'est et vers le sud jusqu'à la province du Cap en Afrique du Sud.

Annexes

- la population asiatique, depuis la mer Caspienne jusqu'à l'Ouest de la Sibérie, le Kazakhstan et l'Asie centrale, qui hiverne dans la péninsule indienne. [4,5,13,15,17,19,31,32,50]

Le busard cendré est un migrateur strict, il n'existe pas de recouvrement entre les zones de reproduction et celles d'hivernage. La population européenne du busard cendré effectue une migration circulaire dans la moitié nord du continent africain. La majorité des oiseaux passent par le détroit de Gibraltar en automne et par le cap Bon (Nord de la Tunisie) au printemps ou beaucoup plus rarement par le Proche-Orient. Cependant le busard cendré est aisément capable de migrer en passant par-dessus d'importante étendue d'eau. [10,15,22,50]

En automne, peu de temps avant le début de leur migration (vers le 15 août), les busards cendré se rassemblent en dortoirs souvent importants (jusqu'à 50 individus), notamment dans les zones présentant de fortes densités de proies. Ces dortoirs peuvent être plurispécifiques. Le pic de migration se situe à la fin août et se termine à la fin de septembre où elle devient rare durant la dernière 15aine. [5,10,13,15,18,50,114]

Au printemps, à leur retour d'Afrique tropicale le busard cendré est souvent le dernier des trois espèces à retrouver ses lieux de nidification. On observe son retour au-dessus des détroits méditerranéens à partir du 20 mars avec un pic début avril. Les plus précoces arrivent en Belgique début avril et le maximum des arrivées a lieu fin avril et début mai. [5,10,13,15,50]

Busard Saint-Martin – Circus cyaneus

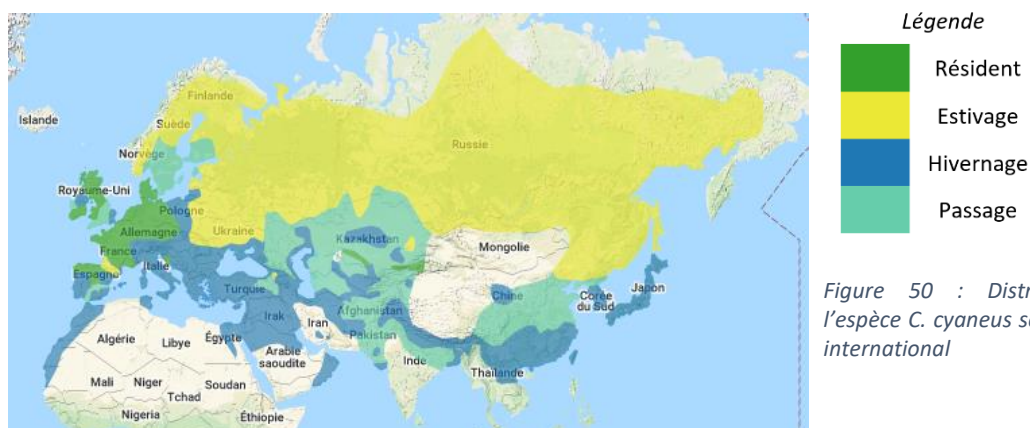


Figure 50 : Distribution de l'espèce *C. cyaneus* selon BirdLife international

C'est le plus septentrional des trois busards, son aire de répartition s'étend en continu sur l'ensemble de l'Eurasie. Les oiseaux d'Europe de l'Ouest sont partiellement sédentaires tandis que les populations nordiques sont migratrices. Parmi ces dernières, une minorité d'individus traversent la Méditerranée pour hiverner sur le continent Africain. [4,5,12,17,19,22,31,32]

Annexes

Les busards Saint-Martin migrateurs hivernent en Europe (entre le sud de la Suède et l'Europe méridionale, du Portugal à la Turquie), en Asie Mineure (au nord de la péninsule arabique), en Asie centrale (dans le nord de l'Inde), dans le sud-est asiatique (en Corée et au Japon) et dans l'ouest de l'Afrique. Ils estivent en Europe et en Asie entre 40° et 70° de latitude nord, au-delà du cercle polaire, de la Grande-Bretagne à l'extrême orient russe. [4,5,12,17,19,31,32]

En automne, c'est entre les mois d'août et d'octobre que les busards Saint-Martin du Nord de l'Europe entament leur migration vers le sud afin de rejoindre leurs quartiers d'hiver. Les populations sédentaires restent sur place ou se dispersent à proximité de leurs sites de nidification. [5,12,24]

Les busards Saint-Martin, sédentaires ou migrateurs, se déplacent isolément le jour et se regroupent le soir, formant des dortoirs collectifs pouvant rassembler plusieurs dizaines d'oiseaux, cela assure au groupe une protection contre les prédateurs. [4,12,17,19,31,32,114]

Annexe IV. Description spécifique des habitats

Busard des roseaux - Circus aeruginosus

De manière générale, le Busard des roseaux est plutôt inféodé aux milieux ouverts et humides (eau douce ou saumâtre), permanents ou temporaires, de basse altitude. On peut noter que jusqu'à 15% des individus ont été observés en zones boisées. [4,9,11,17,19,23,31,32]

Pour nidifier, il favorise les ceintures de végétation autour des plans d'eau et les zones marécageuses (eau douce ou saumâtre) avec de grands hélrophytes, généralement en plaine. On peut citer comme exemples : les grandes roselières, les bordures de lacs, d'étangs ou de grandes baies. Mais on peut le trouver aussi dans des marais côtiers, des salines abandonnées et sur des rives des cours d'eau lents. Il peut également se contenter de petits massifs de roseaux, voire de roselières linéaires le long de canaux ou de cours d'eau. Il chasse dans les milieux périphériques, aquatiques comme terrestres (à condition qu'ils soient suffisamment ouverts - donc à l'exclusion de la forêt). Il exploite les cultures riches en petits rongeurs et petits oiseaux. [4,5,9,17,19,31,32,115]

Lorsque ces milieux font défaut, on a observé ces dernières décennies qu'il colonisait des milieux de plus en plus secs. Ainsi, il peut nicher dans des dunes, des hauts de schorres ou des milieux à vocation agricole comme des prairies de fauche, des landes plus ou moins humides, des plantations de jeunes arbres, des plaines cultivées en céréales ou des fourrés denses de ronces et d'ajoncs. Cette évolution relativement récente lui a permis de (re)coloniser des secteurs dans le Nord-Pas-de-Calais, la Normandie, la Bretagne, la Champagne-Ardenne, le Poitou-Charentes, l'Aquitaine ... [5,9,115]

Ses préférences sont les mêmes en hivernage et au cours de ses périodes migratoires, on voit plus facilement un Busard des roseaux à proximité de l'eau qu'ailleurs. Il chasse au-dessus de tous les milieux précités en évitant les hautes altitudes et les étendues densément boisées. [4,9,17,19,31,32]

Busard cendré - Circus pygargus

Le milieu de vie du Busard cendré est constitué d'une grande variété de paysages ouverts - secs ou humides - comme des steppes, plaines, landes, friches, collines, marais, tourbières, prairies humides de fauche ou pâturées, garrigues basses, plaines cultivées ou plateaux consacrés à l'élevage... Ces milieux demeurent ses zones de chasse et de nidification de

prédilection. La localisation au sol de leurs nids les incite à privilégier les zones possédant une couverture herbacée relativement haute et dense de manière à les dissimuler au regard des prédateurs. Si la haute montagne, les massifs forestiers et les bocages à haies hautes sont évités, le Busard cendré niche cependant jusqu'à 1500 m en Asie centrale et hiverne jusqu'à 4000 m en Afrique. [4,5,10,13,15,17–19,22,31–33]

Notons que depuis les années 1970, le Busard cendré a massivement colonisé les plaines agricoles, désertant ses anciens milieux de prédilection. Il est également de plus en plus courant de le voir nicher dans des prairies pâturées ou fauchées, et surtout dans des champs de céréales. [5,13,15,21,22,28,33]

En France, les champs concentrent désormais l'essentiel des nidifications, comme pour le Busard Saint-Martin et plus rarement le Busard des roseaux. [13,22,33]

Busard Saint-Martin - Circus cyaneus

Le Busard Saint-Martin fréquente tous les milieux ouverts à végétation peu élevée tel que les steppes, marais, landes, tourbières, toundra nordique, prairies humides, friches, régénérations forestières, pelouses sèches et zones agricoles. Cependant le busard Saint-Martin consent à vivre dans des milieux plus fermés que le busard cendré, il tolère de plus grandes couvertures arborées et la présence de grands arbustes. [4,5,12,17,19,21,21,31,32]

Il niche à même le sol et a donc besoin d'un accès facile au nid. Rapace de plaines et de collines, le Busard Saint-Martin niche occasionnellement jusqu'à 1 900 m (dans les Pyrénées-Orientales), sur des versant montagneux dans la mesure où il y trouve des facies favorables. [4,12,17,19,31,32]

En période hivernale, l'espèce est présente sur l'ensemble du territoire, dans tous les milieux ouverts, mais c'est l'abondance des campagnols qui détermine sa présence. [4,12,17,19,31,32]

Comme pour le busard cendré, le busard Saint-Martin s'est installé dans les espaces cultivés, en effet, il se reproduit probablement en majorité dans ces milieux, soit à la suite de la raréfaction de ses milieux originels, soit par préférence pour ces habitats. Cependant, certaines régions accueillent encore une majorité de couples dans des milieux naturels parce qu'il est moins sélectif dans le choix de son site de nidification que le Busard cendré, et s'accommode d'une végétation moins haute et moins dense. [5,12]

Annexe V. Comportement reproducteur spécifique

Busard des roseaux - Circus aeruginosus

L'espèce est généralement monogame, mais il arrive que des mâles soient polygynes. Sur ses lieux de reproduction, le busard des roseaux ne présente généralement pas une forte densité de peuplement, les couples isolés étant plutôt la règle et la reproduction semi-coloniale²⁹ l'exception. [4,9,11,17,19,31,32,41]

La période de reproduction s'étend de mars à août mais varie suivant les régions, la latitude et le climat. Après une parade nuptiale assez complexe, le mâle approvisionne la femelle en matériaux pour qu'elle puisse construire le nid. Celui-ci est au niveau du sol et généralement situé à couvert dans une végétation dense et haute dans un environnement inondé ou humide (rarement sec), ce qui par définition correspond à une roselière. Ils peuvent être exceptionnellement construits sur des buissons ou des arbrisseaux voir au sommet d'un arbre élevé (très rare). [4,5,9,17–19,31,32]

Souvent, le nid est construit dans le même secteur d'une année sur l'autre. Il est fabriqué à partir d'un entassement de roseaux, mais aussi de branches de saules ou d'aulnes. La largeur varie de 60 à 80 cm et la hauteur est d'au moins 25 cm ou plus selon le niveau relatif de l'eau. Les adultes ajoutent du matériel tout au long de la période de reproduction. Il est également possible d'observer des plateformes secondaires construites par le mâle et destinées à servir de dortoir ou de lieux d'accouplement. [4,5,17,19,31,32,41,49]

C'est l'espèce de busard pour laquelle la ponte est la plus précoce (mi-avril, début mai). La femelle assure la couvaison de 3 à 6 œufs en moyenne, pondus à intervalles de 1-2 jours et couvés dès le premier. Les poussins éclosent de manière échelonnée au bout de 31 à 34 jours puis restent au nid environ 30 à 40 jours. Les poussins s'envolent à 40-45 jours mais restent dépendants les 15 à 25 jours suivants le premier envol afin de terminer leurs apprentissages. Vers 55 jours, ils sont aptes à voler correctement. [4,5,9,17,19,31,32,49]

Le rôle du mâle est de nourrir la femelle ainsi que les jeunes au cours des premières semaines ensuite les deux adultes chassent lorsque l'homéothermie est acquise par les poussins. En moyenne, 3 jeunes arrivent à l'envol. [4,5,17,19,31,32]

La dispersion définitive intervient début août lors des premiers mouvements postnuptiaux. La maturité sexuelle peut être acquise dès la première année pour les femelles et à deux ans

²⁹ Le couple accepte le voisinage d'autres nids à quelques dizaines de mètres.

pour les mâles, mais nombre d'individus attendent un âge nettement plus avancé pour entamer leur première reproduction. Sur les sites, 30% des adultes présents peuvent ne pas se reproduire. [9]

Busard cendré - Circus pygargus

Bien que l'espèce soit généralement monogame, certains cas de polygamie ou de changement de partenaire peuvent intervenir. [4,10,15,17,19,31,32]

Des couples peuvent nicher seuls. Toutefois, pour se reproduire dans les secteurs favorables avec abondance de proies, ils ont tendance à se regrouper en colonies lâches pouvant atteindre plusieurs dizaines d'oiseaux (les densités fluctuent fortement d'une année à l'autre). L'attraction et le succès reproducteur conspécifiques peuvent influencer le choix de la zone de nidification. [4,10,13,15,17,19,22,26,30–33]

La période de reproduction s'étend de mai à août mais varie suivant les régions, la latitude et le climat. Arrivés sur les sites de reproduction, les mâles, plus rarement les femelles, exécutent leur parade nuptiale assez complexe et semblable à celle du Busard des roseaux. Puis le mâle propose plusieurs sites de nidification à la femelle, parmi lesquels elle n'en choisira qu'un. Le nid est ensuite construit à même le sol dans une végétation permettant de le dissimuler au regard des prédateurs. Cette végétation doit être assez haute (70 à 100 cm) et assez dense, mais sans avoir la rigidité et la hauteur d'une roselière à phragmites. La femelle utilise des brindilles sèches de faible section pour aménager une plateforme ronde de 25 cm de diamètre environ, mais peu épaisse, sauf si le nid est humide ou inondé. Ce nid restera inchangé durant toute la période de nidification jusqu'à l'envol des jeunes. [4,5,10,13,15,17,19,21,22,31,32,50]

La ponte a généralement lieu, dans nos régions, de la mi-mai à la mi-juin selon les latitudes (dès la fin avril dans les pays du sud). On comptera habituellement entre 3 et 5 œufs pondus à 2 jours d'intervalle. L'incubation, assurée par la femelle, débute souvent dès la ponte du premier œuf et dure en moyenne 28 à 30 jours par œuf ce qui entraîne un décalage dans les éclosions et des différences de tailles. Les jeunes prennent leur envol à l'âge de 28-35 jours. Ils demeurent dépendants des parents de 25 à 30 jours après l'envol. [4,5,10,13,15,17,19,31,32,50]

Tant que les poussins n'ont pas acquis la thermorégulation, seul le mâle ravitaille toute la famille en proies, ensuite les parents nourrissent tout deux les jeunes. [10,13,29]

Au début du mois d'août, les adultes et les jeunes se dispersent. L'âge d'accession à la reproduction intervient au plus tôt à un an pour les femelles et deux ans pour les mâles. Chez ces derniers cependant, certains individus ne se reproduisent pas avant cinq ans. La proportion d'individus non nicheurs dans la population représente presque la moitié des individus mûres. [10,13,15]

La densité de couples reproducteurs, la taille des pontes et le succès reproducteur du Busard cendré varient selon les années avec les moissons, les conditions météorologiques, la prédation et l'abondance des ressources alimentaires, en particulier celle de la proie la plus consommée, le campagnol des champs (*Microtus arvalis*). [4,10,13,15,17,19,31,32]

Busard Saint-Martin - Circus cyaneus

Durant la nidification l'espèce est agressivement territoriale. Pour pouvoir observer une colonie de trois ou quatre couples de busards nichant au même endroit des conditions fortement favorables sont requises, en particulier la suffisance de ressources alimentaires. Les nids sont alors distants de 100 à 300 mètres, 50 mètres pour des busards polygames. Les relations polygynes sont fréquentes, le nombre de femelle(s) par mâle dépend alors de la quantité de nourriture disponible. [4,5,17,19,24,28,30–32]

Les parades nuptiales commencent fin mars dès le retour sur les sites de reproduction et durent jusqu'à la fin avril, parfois en mai. Les deux sexes parquent mais les mâles sont plus démonstratifs que les femelles. [12,24]

Le nid du busard Saint-Martin est installé sur le sol, généralement dans une végétation assez haute (1-2 m en milieu naturel et 60-80 cm dans les cultures) qui le dissimule à la vue et le protège ainsi des prédateurs. Certains nids peuvent être situés dans des peuplements de résineux (8-10m de haut) avec un sous-étage de fougères, de bruyères et d'ajoncs. Bien que le mâle participe parfois, c'est principalement la femelle qui construit le nid. [5,12,21,22,24]

De la première décade d'avril à début juin (en fonction des latitudes), la femelle pond 4 à 6 œufs en fonction de la quantité de nourriture disponible. L'incubation débute avec le 2^{ème} ou le 3^{ème} œuf et dure de 29 à 37 jours pour chaque œuf. Les éclosions se répartissent sur une semaine environ (parfois plus) ce qui entraîne une différence de taille parmi les poussins. [5,12,24]

Les poussins sont protégés par la femelle pendant 15 à 20 jours après l'éclosion. Durant cette période sensible ainsi que l'incubation, seul le mâle ravitaille toute la famille. Par la suite,

Annexes

la femelle se met à chasser sans trop s'éloigner de sa nichée. 31 à 35 jours après l'éclosion des œufs, les petits sont prêts à prendre leur envol. Ils restent toutefois dépendants des parents entre 25 et 30 jours supplémentaires. L'émancipation intervient en général entre mi-juin et mi-juillet, et pour les nichées les plus tardives, jusqu'à mi-août. [5,12,24,28]

Annexe VI. Comportement alimentaire spécifique

Busard des roseaux - Circus aeruginosus

Il chasse dans les espaces ouverts aquatiques et terrestres à l'affût posé, en vol de repérage, en vol de poursuite, ou encore à la course au sol. Lorsqu'il chasse en volant, souvent à très basse altitude, il alterne le vol battu et les longs glissés planés. Durant l'estive, les terrains de chasses sont dans un rayon de 2km autour des sites de nidifications. [4,9,16,17,19,31,32,116]

Le Busard des roseaux est un prédateur généraliste et opportuniste qui se nourrit majoritairement de proies animales vivantes, terrestres ou aquatiques, en pleine forme ou blessées, mais il ne délaisse pas pour autant les proies mortes, les charognes et les œufs d'autres espèces d'oiseaux. Bien que les petits mammifères et les oiseaux forment la majorité de son alimentation, son régime est très varié et dépend des régions du monde qu'il fréquente : rongeurs, oiseaux, amphibiens, lapereaux, insectes, poissons En Europe de l'Ouest, les proies classiques sont les jeunes foulques, les canards et les rongeurs aquatiques avec, pour appoint : rats, campagnols des champs, alouettes des champs, bergeronnettes, pipits, etc. Les insectes sont plutôt chassés en Afrique durant l'hivernage. [4,5,9,17–19,23,31,32,114,116]

Busard cendré - Circus pygargus

Il chasse à l'affût ou en volant lentement à très basse altitude (deux ou trois mètres de hauteur). Il survole les champs et les fossés en longues glissades silencieuses. Le succès de sa traque dépend essentiellement de son aptitude à surprendre sa proie. En effet, le busard ne poursuit pas ses proies et celles qui ont le bon réflexe de s'envoler, ont en général la vie sauve. Ses terrains de chasse peuvent être très éloignés des sites de nidifications (plus de 12km). [4,10,16,17,19,21,31,32,117]

Étant donné le gabarit du *Circus pygargus*, son mode de chasse et les milieux qu'il fréquente, la taille de ses proies est limitée. Il se nourrit essentiellement de petits rongeurs (en particulier le Campagnol des champs), d'insectes (notamment des Orthoptères), des amphibiens, des reptiles (lézards, orvets et jeunes couleuvres) et de passereaux capturés au sol (surtout des alouettes, des bruants et des pipits). Les proportions de ces proies dans son régime varient en fonction des régions et des années. En de rares occasions, il peut s'attaquer à des proies de format plus important tels que des perdrix, faisans, lapins et même des lièvres. [4,5,10,13,15,17,19,29,31–33]

Busard Saint-Martin - Circus cyaneus

La proie est typiquement repérée en vol à 2 ou 3 m du sol, vol battu lent alternant avec des temps de vol plané et des basculements sur l'aile pour optimiser la prospection et la recherche visuelle. Les territoires de chasse peuvent se situer à plus de 3km des sites de nidification. [4,16,17,19,31,32,117]

Le busard Saint-Martin est un prédateur opportuniste, et sa taille lui permet de capturer un large éventail de proies, allant du lombric jusqu'au pigeon. Néanmoins, lorsque les densités de campagnols des champs sont suffisamment élevées, le busard Saint-Martin se spécialise volontiers. Les campagnols constituent la majorité de la diète, suivi par les passereaux et leurs nichées (en particulier ceux nichant au sol). Les petits oiseaux (jeunes galliformes, rallidés et limicoles), les grenouilles, les reptiles et les insectes complètent ce régime, dont l'importance varie selon l'année et la région. [4,5,12,17,19,31,32]

Annexe VII. Quelques projets de protection des busards Wallons et Français



Depuis 2007, le « Groupe de Travail Busard » (GTB) de l'ASBL Natagora protège les oiseaux du genre *Circus*. Il vise à augmenter la qualité du milieu de vie de ces espèces ainsi que leur nombre. Pour ce faire, le GTB a trois rôles [52] :

- 1) Rechercher les nids – ce qui consiste en la détection à distance et le signalement des nids au DNF et éventuellement à l'agriculteur concerné. [60]
- 2) Protéger les nids – une fois le nid repéré il peut être nécessaire de le protéger. La protection doit être visible pour les entrepreneurs qui feront la moisson (piquets) mais également efficace contre les prédateurs (grillage). [63]
- 3) Améliorer les sites d'habitat à long terme via la sensibilisation et l'encouragement à la mise en place de MAEC. [53]

Le projet LIFE « Belgian Nature Integrated Project » (BNIP) a été mis sur pied en Belgique en 2015 (pour une durée de 8 ans) afin d'atteindre les objectifs de Natura 2000. Cofinancé par l'Europe, il se compose d'une cinquantaine d'actions visant à renforcer la protection des espèces et des habitats les plus précieux et les plus menacés en Europe. [20,118–120]

Le plan d'action pour les busards nicheurs en milieux agricoles est un exemple concret d'actions dans le cadre du BNIP concernant les busards en Wallonie. Mis en place par Natagriwal³⁰, il a pour objectif de sensibiliser les agriculteurs à la protection des nids³¹ (opération SOS busards) et à l'aménagement des plaines agricoles (MAEC) pour améliorer les capacités d'accueil des busards dans les zones de grandes cultures. [20,118–120]

En France, le « LIFE Avaloirs » est un projet porté par le Parc naturel régional Normandie-Maine. L'objectif est de permettre la sauvegarde des landes, des tourbières et des oiseaux

³⁰ ASBL dont la principale mission est d'informer, conseiller et encadrer les agriculteurs, forestiers et propriétaires publics ou privés dans la mise en œuvre du programme agro-environnemental et du réseau écologique européen Natura 2000.

³¹ Selon la méthode décrite par AVES avec une indemnité compensatoire proposée par le DNF aux agriculteurs ayant un nid de busards avéré et protégé dans leur parcelle. [20]

remarquables présents sur le Mont des Avaloirs et la Corniche de Pail (Mayenne) entre 2018 et 2023. Ce projet a pour ambition de restaurer de grandes étendues de lande et de permettre au busard Saint-Martin (l'une des espèces d'oiseaux remarquables concernée par le projet) de retrouver une place de choix sur ce territoire qui correspond à son milieu de prédilection. [121,122]

Les busards comptent parmi les « Missions Rapaces » de la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO). Les bénévoles concernés par ce volet sont chargés de la surveillance des couples nicheurs, comme ceux d'AVES. Cela consiste à repérer les couples dans les cultures, en informer les agriculteurs, éventuellement les sensibiliser aux menaces pesant sur ces espèces et, avec leur accord, localiser les nids à l'intérieur des champs pour mettre en place une mesure de protection adaptée en fonction des besoins. D'un autre côté, la LPO s'investit pour une meilleure prise en compte de l'environnement dans les politiques et les pratiques agricoles. Elle agit, aux niveaux national et européen, auprès des décideurs politiques, et au niveau local en soutenant et conseillant des agriculteurs. La LPO a également un programme de marquage alaire afin de mieux connaître la dynamique des populations de busards et d'améliorer en conséquence leurs actions de protection. [5]

Le Groupe d'étude et de Protection des busards (GEPB), structure informelle créée en 1994, rassemble des bagueurs du Centre de recherche sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO) et des chercheurs (CNRS, IMBE [Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie] à l'Université d'Aix-Marseille, ...). Ensemble, ils étudient et mènent des programmes de recherche sur les busards visant la mise en relation des personnes actives intervenant en France et à l'étranger (chercheurs, protecteurs...), la diffusion des connaissances, l'évaluation des modes de protection et la mise en place d'une réflexion pour favoriser les expérimentations et la gestion des espaces utilisés par les espèces. [51]

Enfin, coordonnée par des membres de la LPO, du GEPB, d'IMBE et du CEBC-CNRS Chizé, l'enquête busards-milans met en relation les naturalistes et les scientifiques. Elle vise à produire une estimation des effectifs et la tendance nationale sur les 20 dernières années des populations pour les trois espèces de busards et les deux espèces de milans nicheuses en France. Notons que ces espèces sont des indicateurs de l'évolution de la biodiversité des milieux agricoles étant donné qu'elles se positionnent au sommet des chaînes trophiques et que leurs habitats couvrent l'essentiel des deux grands types de production agricole en France (céréales & élevage bovin). [5,61]

Annexe VIII.Modalités des variables environnementales qualitatives

Catégories d'occupation du sol (CLC)			
ID	Légende	Biomod	ID Biomod
1	Tissu urbain continu	Citadin	1
2	Tissu urbain discontinu	Citadin	1
3	Unités industrielles ou commerciales	Citadin	1
4	Réseaux routiers et ferroviaires et terrains associés	Transport	2
5	Zones portuaires	Transport	2
6	Aéroports	Transport	2
7	Sites d'extraction de minéraux	Chantier	3
8	Décharges	Chantier	3
9	Chantiers de construction	Chantier	3
10	Espaces urbains verts	Citadin	1
11	Installations sportives et de loisirs	Citadin	1
12	Terres arables non irriguées	Agriculture herbacée	4
13	Terres irriguées de façon permanente	Agriculture irriguée	12
14	Rizières	Agriculture irriguée	12
15	Vignobles	Agriculture arbustive/ arborée	5
16	Arbres fruitiers et plantations de baies	Agriculture arbustive/ arborée	5
17	Oliveraies	Agriculture arbustive/ arborée	5
18	Pâturages	Agriculture herbacée	4
19	Cultures annuelles associées à des cultures permanentes	Agriculture extensive	6
20	Modes de cultures complexes	Agriculture extensive	6
21	Terres principalement occupées par l'agriculture avec d'importantes zones de végétation naturelle	Agriculture extensive	6
22	Zones agro-forestières	Agriculture arbustive/ arborée	5
23	Forêt de feuillus	Forestier	7
24	Forêt de conifères	Forestier	7
25	Forêt mixte	Forestier	7
26	Prairies naturelles	Végétation rase	8
27	Marais et landes	Végétation rase	8
28	Végétation sclérophylle	Végétation rase	8
29	Arbustes forestiers de transition	Forestier	7
30	Plages - dunes - sables	Sol nu	9
31	Roches nues	Sol nu	9
32	Zones à végétation clairsemée	Sol nu	9
33	Zones brûlées	Sol nu	9
34	Glaciers et neige perpétuelle	Humide	10
35	Marais intérieurs	Humide	10
36	Tourbières	Humide	10
37	Marais salés	Humide	10
38	Salines	Humide	10
39	Vasières intertidales	Humide	10
40	Cours d'eau	Réseau hydrographique	11
41	Plans d'eau	Réseau hydrographique	11
42	Lagunes côtières	Réseau hydrographique	11
43	Estuaires	Réseau hydrographique	11
44	Mer et océan	Réseau hydrographique	11

Annexes

Catégories de plan d'eau et de surface humide (WAW)			
ID	Légende	Biomod	ID Biomod
0	Sec	Sec	1
1	Eau permanente	Humide	2
2	Eau temporaire	Humide	2
3	Zone humide permanente	Humide	2
4	Zone humide temporaire	Humide	2
253	Eau maritime	Humide	2

Réseau Natura 2000 (N2K)		
ID	Légende	ID Biomod
0	Zone non comprise dans le réseau Natura 2000	1
1	Zone comprise dans le réseau Natura 200	2

Annexe IX. Cartes obtenues au terme des HSM

Probabilités de présence du busard des roseaux en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est. 2010 - 2020

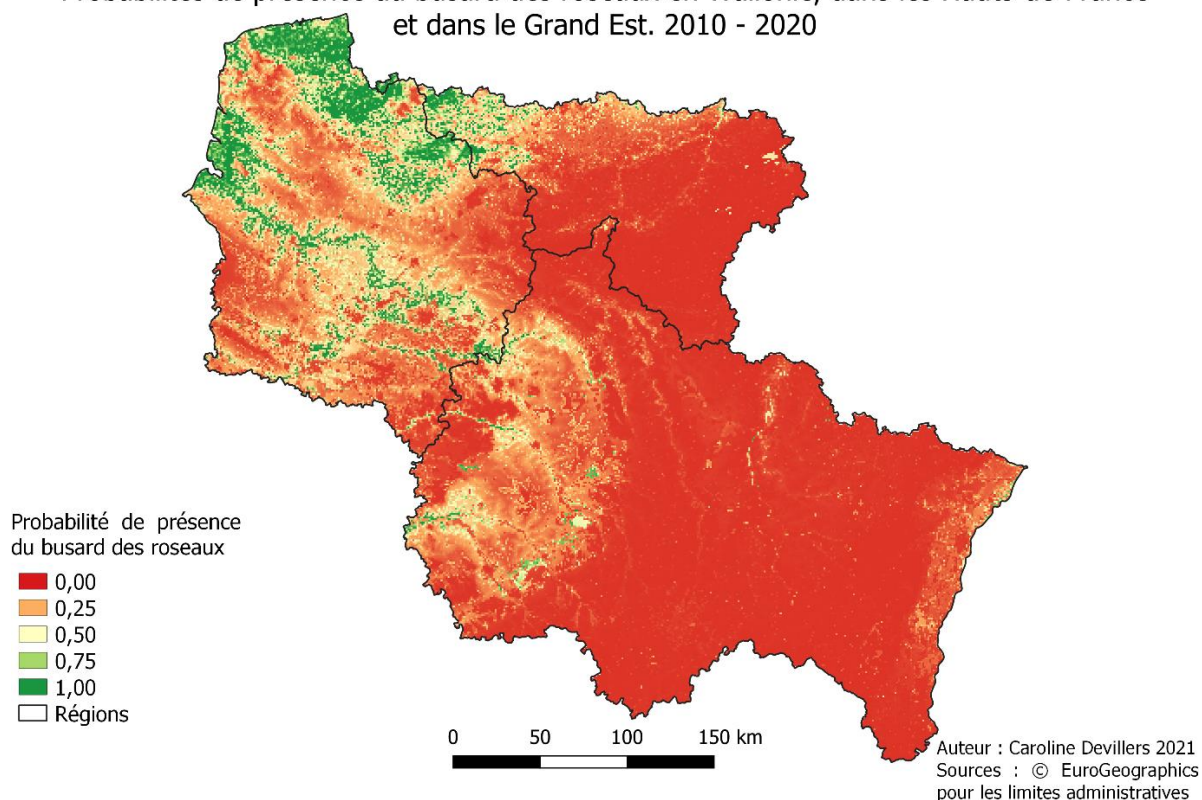


Figure 51 : Carte des probabilités de présence du busard des roseaux en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020

Répartition potentielle du busard des roseaux en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est. 2010 - 2020

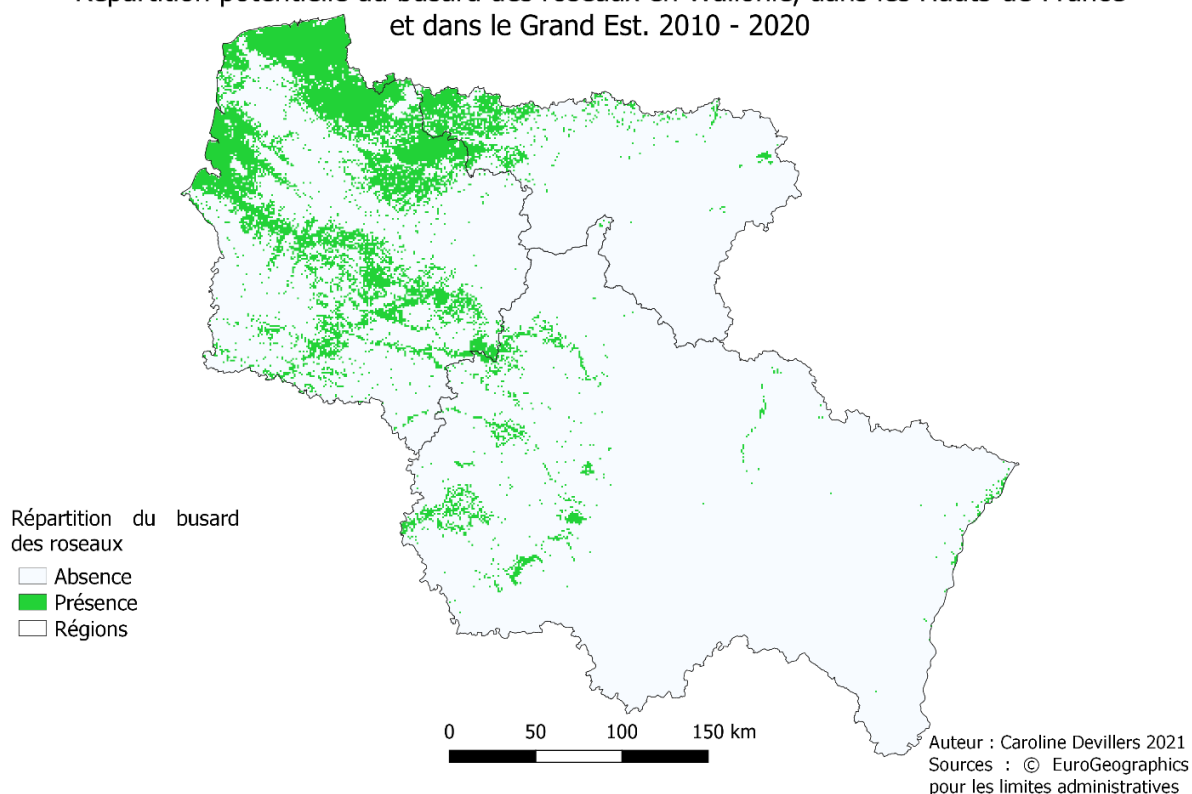


Figure 52 : Carte de la répartition potentielle du busard des roseaux en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020

Probabilités de présence du busard Saint-Martin en Wallonie, dans les Hauts-de-France
et dans le Grand Est. 2010 - 2020

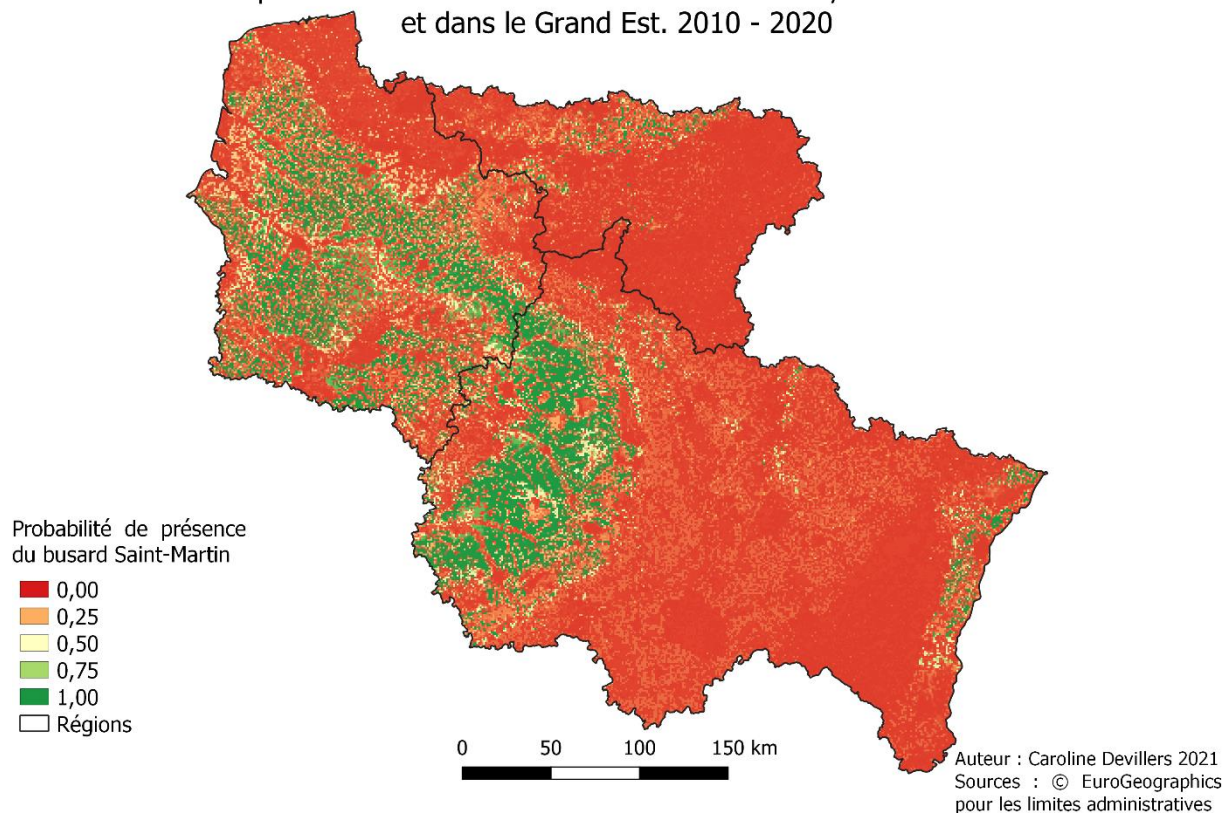


Figure 53 : Carte des probabilités de présence du busard Saint-Martin en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020

Répartition potentielle du busard Saint-Martin en Wallonie, dans les Hauts-de-France
et dans le Grand Est. 2010 - 2020

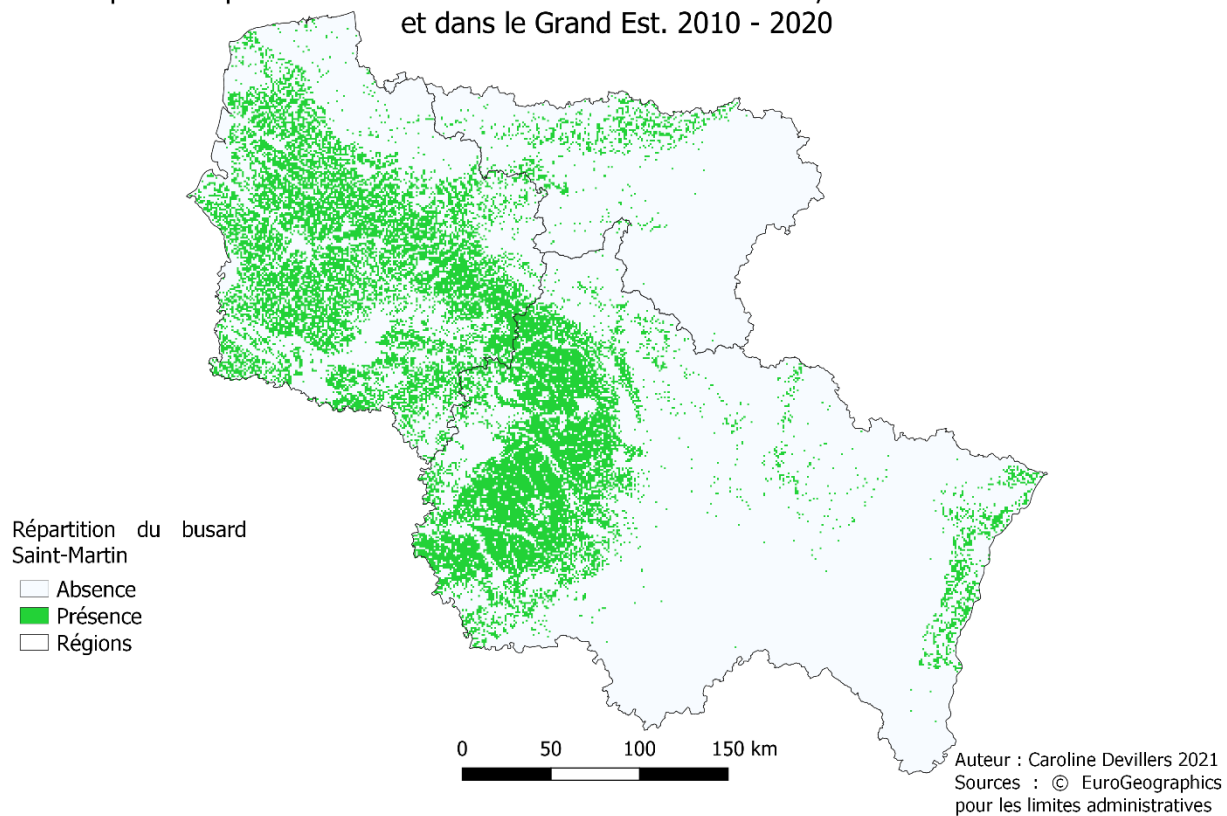


Figure 54 : Carte de la répartition potentielle du busard Saint-Martin en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020

Annexes

Probabilités de présence du busard cendré en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est. 2010 - 2020

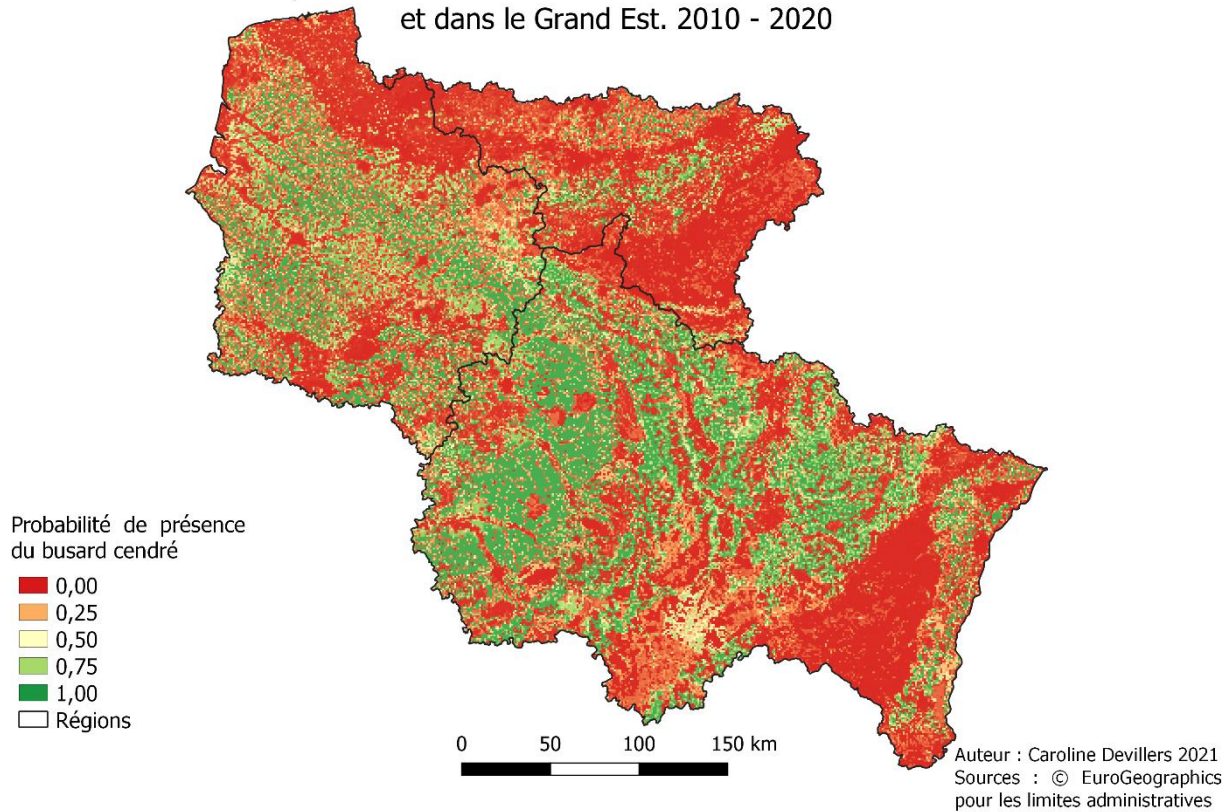


Figure 55 : Carte des probabilités de présence du busard Cendré en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020

Répartition potentielle du busard cendré en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est. 2010 - 2020

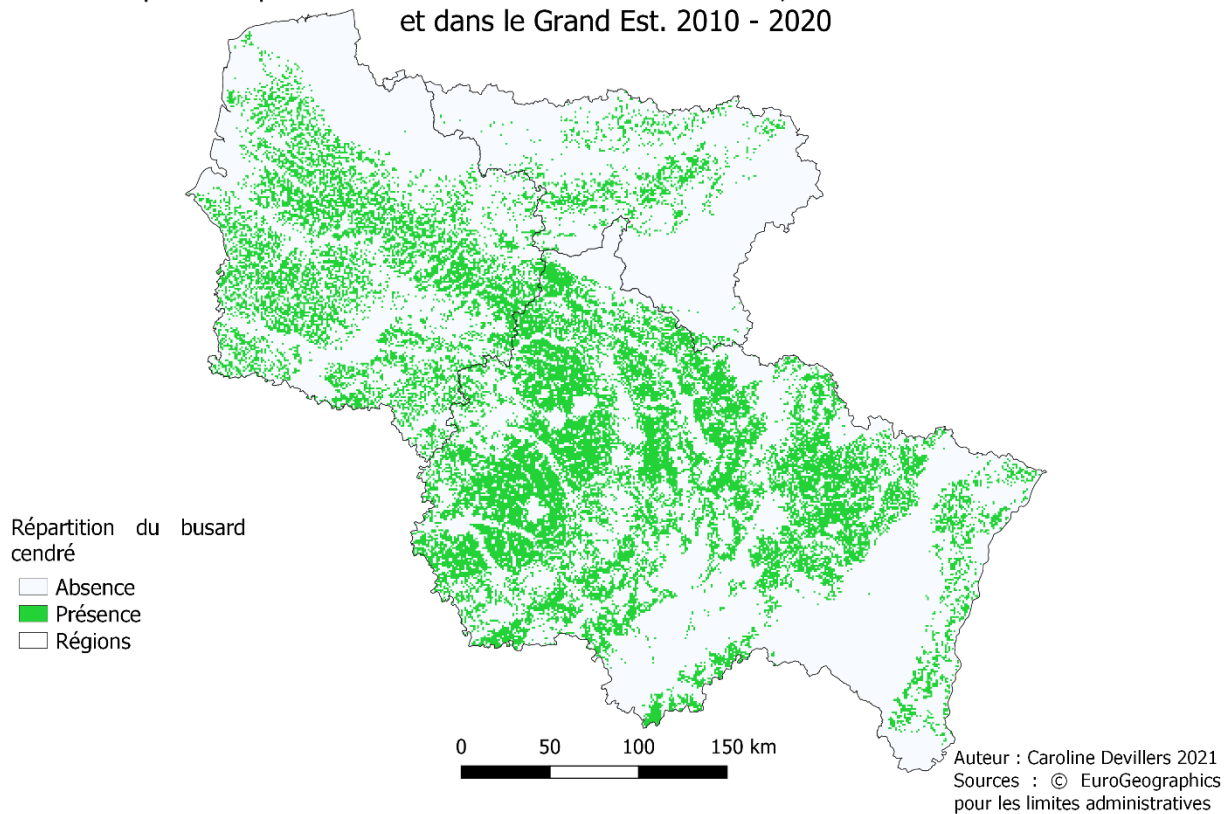


Figure 56 : Carte de la répartition potentielle du busard cendré en Wallonie, dans les Hauts-de-France et dans le Grand Est entre 2010 et 2020