

Etude et modélisation des habitats de chasse potentiels des chiroptères en Wallonie sur base de données acoustiques

Auteur : Flipo, Antoine

Promoteur(s) : Dufrêne, Marc; 5583

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, à finalité spécialisée

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5119>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**ETUDE ET MODELISATION DES HABITATS DE
CHASSE POTENTIELS DES CHIROPTERES EN
WALLONIE SUR BASE DE DONNEES ACOUSTIQUES**

ANTOINE FLIPO

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'ENVIRONNEMENT**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2017-2018

(CO)-PROMOTEURS : MARC DUFRENE, QUENTIN SMITS

**ETUDE ET MODELISATION DES HABITATS DE
CHASSE POTENTIELS DES CHIROPTERES EN
WALLONIE SUR BASE DE DONNEES ACOUSTIQUES**

ANTOINE FLIPO

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'ENVIRONNEMENT**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2017-2018

(CO)-PROMOTEURS : MARC DUFRENE, QUENTIN SMITS

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

Le présent document ne peut être diffusé qu'avec l'autorisation écrite préalable de l'ASBL Natagora ainsi que le Service Public de Wallonie SPW.

Remerciements :

Marc Dufrêne, Quentin Smits, Pierrette Nyssen, Anais Gorel, Claire Brabant, Jessica Delangre pour leur aide, leur écoute et leur disponibilité.

Ma famille pour leur présence, leur confiance et leur soutien.

Mes amis pour ces belles années passées, ces moments inoubliables et ces rencontres toujours tellement enrichissantes et Marie pour son soutien inconditionnel, sa patience et son aide précieuse.

Mes frères et sœurs de passion (Glass Museum, Waldo, Gustave) sans qui la vie serait bien différente, merci à vous pour ce chemin parcouru, ces souvenirs, ces voyages mémorables !

Table des matières

I.	Introduction.....	2
1.	Contexte général de l'étude.....	2
2.	Objectifs de l'étude	3
II.	Les chauves-souris	4
1.	Généralités.....	4
2.	Les chauves-souris en Belgique	5
3.	Habitat de chasse des chiroptères.....	6
4.	Menaces qui pèsent sur les chauves-souris	6
4.1.	Modification et fragmentation de l'habitat	6
4.2.	Modification des conditions environnementales des habitats.....	7
4.3.	Un cycle biologique particulièrement vulnérable	8
5.	Intérêt et enjeux du parc Natura 2000	8
6.	Recensement par détecteur d'ultrason.....	9
6.1.	Contexte.....	9
6.2.	Principe	10
6.3.	Stratégies d'échantillonnage	14
7.	Présentation des espèces étudiées	16
7.1.	La Barbastelle d'Europe (<i>Barbastella barbastellus</i>)	16
7.2.	La Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>).....	16
7.3.	Le Grand murin (<i>Myotis myotis</i>).....	17
7.4.	Le Murin de Natterer (<i>Myotis natterii</i>)	17
7.5.	La Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>).....	17
7.6.	La Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)	18
7.7.	La Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	18
7.8.	L'Oreillard roux (<i>Plecotus auritus</i>)	19
7.9.	L'Oreillard gris (<i>Plecotus austriacus</i>)	19
7.10.	Le Grand rhinolophe (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>).....	20
7.11.	Le Petit rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposideros</i>)	20
8.	Modélisation et cartographie de la distribution spatiale d'une espèce.....	21
8.1.	Les modèles de distribution d'espèces (SDM)	21
8.2.	MaxEnt.....	21

8.3.	ENMeval	23
III.	Matériel et méthodes	24
1.	Acquisition des données acoustiques	24
1.1.	Contexte	24
1.2.	Détecteurs à ultrason	24
2.	Traitement des données acoustiques	24
2.1.	Décompression des données : Kaleidoscope	25
2.2.	Identification préliminaire : Sonochiro	25
2.3.	Suppression des faux positifs	25
2.4.	Validation des données : Batsound	26
3.	Modélisation MaxEnt	30
3.1.	Génération des données de présence pour chaque espèce	30
3.2.	Génération des données environnementales	30
3.3.	Obtention des paramètres de modélisation minimisant l'AICc : ENMeval	32
3.4.	Exécution du modèle MaxEnt avec les paramètres adéquats	32
4.	Mise en lien avec le réseau Natura 2000	33
4.1.	Création de cartes présence/absence	33
4.2.	Proportion des zones de présence contenues dans le parc Natura 2000	33
IV.	Résultats et discussion	34
1.	Exploration des résultats de l'analyse ENMeval	34
2.	Impact des variables environnementales sur la distribution	35
2.1.	Exploration de la sensibilité générale moyenne aux variables	35
2.2.	Impact des facteurs environnementaux sur la distribution de chaque espèce de chiroptère	37
3.	Analyse spécifique	40
3.1.	La Barbastelle d'Europe (<i>Barbastellus barbastella</i>)	41
3.2.	La Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>)	43
3.3.	Le Grand murin (<i>Myotis myotis</i>)	45
3.4.	Le Murin de Natterer (<i>Myotis nattereri</i>)	47
3.5.	La Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	49
3.6.	La Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)	51
3.7.	La Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	53
3.8.	L'Oreillard gris (<i>Plecotus Austriacus</i>)	55

3.9.	Le Grand rhinolophe (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>)	57
3.10.	Le Petit rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposediros</i>)	59
4.	Analyse de la richesse biologique en Wallonie.....	61
5.	Recommandations en termes d'aménagement et de conservation de l'habitat.....	62
6.	Critique de la localisation du parc Natura 2000 wallon	63
7.	Limites et faiblesses des modèles présentés.....	64
V.	Conclusion et perspectives	65
VI.	Bibliographie.....	66
VII.	Annexes.....	71

Liste des figures:

Figure 1. Petite chauve-souris brune (<i>Myotis lucifugus</i>). (Source: data.abuledu.org/)	5
Figure 2. Petit rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposideros</i>). (Source: data.abuledu.org/)	5
Figure 3. Degré de fragmentation des habitats naturels (Source: cpdt.wallonie.be/)	7
Figure 4. Réseau Natura 2000 wallon	8
Figure 5. Représentation des différentes dynamiques d'émissions. (Source: Natagora.be/)	10
Figure 6. Représentation des quatre grands types d'ultrason en fonction du temps et de la fréquence. (Source : Russo et Jones 2002).....	10
Figure 7. Ultrasons en fréquence constante en fonction du temps et de la fréquence. (Source: Russo et Jones 2002).....	11
Figure 8. Ultrasons en fréquence modulée abrupte en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002).....	11
Figure 9. Ultrasons en fréquence modulée aplanie en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002).....	11
Figure 10. Ultrasons en fréquence quasi constante en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002).....	11
Figure 11. Représentation de cris sociaux en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002).....	12
Figure 12. Exemple d'une séquence d'ultrasons ouverte dans le logiciel Batsound	12
Figure 13. Barbastelle d'Europe (<i>Barbastellus barbastella</i>) (Source: biodiversite.wallonie.be/).....	16
Figure 14. Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/).....	16
Figure 15. Grand murin (<i>Myotis myotis</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/).....	17
Figure 16. Murin de natterer (<i>Myotis nattereri</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/)	17
Figure 17. Noctule de Leisler (<i>Nyctalus Leisleri</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/).....	17
Figure 18. Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/)	18
Figure 19. Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/).....	18
Figure 20. Oreillard roux (<i>Plecotus auritus</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/).....	19
Figure 21. Oreillard gris (<i>Plecotus austriacus</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/)	19
Figure 22. Grand rhinolophe (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/)	20
Figure 23. Petit rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposideros</i>). (Source: biodiversite.wallonie.be/)	20
Figure 24. Représentation d'une séquence d'ultrason ouverte dans le logiciel Batsound.	26
Figure 25. Lieu de la mesure de la fréquence initiale.....	27
Figure 26. Lieu de la mesure de la fréquence terminale.....	28
Figure 27. Mesure de la durée de l'ultrason à l'aide de l'oscillogramme.	28
Figure 28. Mesure de la fréquence du maximum d'énergie à l'aide de l'outil "power spectrum"	28
Figure 29. Interface des macros de Michel Barataud dans laquelle sont insérées les valeurs mesurées	29
Figure 30. Diagrammes bivariés dynamiques de Michel Barataud.....	29
Figure 31. Représentation de la couche écotope à différentes échelles.....	31
Figure 32. Moyenne des gains apportés aux modèles sur toutes les espèces étudiées.....	35

<i>Figure 33. Distribution spatiale modélisée pour la Barbastelle d'Europe</i>	41
<i>Figure 34. Résultats du test Jackknife pour la Barbastelle d'Europe</i>	41
<i>Figure 35. Distribution spatiale modélisée pour la Sérotine commune</i>	43
<i>Figure 36. Résultats du test Jackknife pour la Sérotine commune</i>	43
<i>Figure 37. Distribution spatiale modélisée pour le Grand murin</i>	45
<i>Figure 38. Résultats du test Jackknife pour le Grand murin</i>	45
<i>Figure 39. Distribution spatiale modélisée pour le Murin de Natterer</i>	47
<i>Figure 40. Résultats du test Jackknife pour le Murin de Natterer</i>	47
<i>Figure 41. Distribution spatiale modélisée pour la Noctule de Leisler</i>	49
<i>Figure 42. Résultats du test Jackknife pour la Noctule de Leisler</i>	49
<i>Figure 43. Distribution spatiale réalisée pour la Noctule commune</i>	51
<i>Figure 44. Résultats du test Jackknife pour la Noctule commune</i>	51
<i>Figure 45. Distribution spatiale modélisée pour la Pipistrelle de Nathusius</i>	53
<i>Figure 46. Résultats du test Jackknife pour la Pipistrelle de Nathusius</i>	53
<i>Figure 47. Distribution spatiale modélisée pour l'Oreillard gris</i>	55
<i>Figure 48. Résultats du test Jackknife pour l'Oreillard gris</i>	55
<i>Figure 49. Distribution spatiale modélisée pour le Grand rhinolophe</i>	57
<i>Figure 50. Résultats du test Jackknife pour le Grand rhinolophe</i>	57
<i>Figure 51. Distribution spatiale modélisée pour le Petit rhinolophe</i>	59
<i>Figure 52. Résultats du test Jackknife pour le Petit rhinolophe</i>	59
<i>Figure 53. Richesse biologique prédite sur base des dix espèces étudiées</i>	61
<i>Figure 54. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Grand murin</i>	71
<i>Figure 55. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Sérotine commune</i>	71
<i>Figure 56. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Barbastelle d'Europe</i>	71
<i>Figure 57. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Noctule commune</i>	72
<i>Figure 58. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Noctule de Leisler</i>	72
<i>Figure 59. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Murin de Natterer</i>	72
<i>Figure 60. Courbes de réponse obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Grand rhinolophe</i>	73
<i>Figure 61. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de l'Oreillard gris</i>	73
<i>Figure 62. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Pipistrelle de Nathusius</i>	73

<i>Figure 63. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Petit rhinolophe.....</i>	<i>74</i>
<i>Figure 64. Superposition des zones de présence de la Barbastelle d'Europe avec le réseau Natura 2000.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 65. Superposition des zones de présence du Grand Rhinolophe avec le réseau Natura 2000.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 66. Superposition des zones de présence du Petit rhinolophe avec le réseau Natura 2000.....</i>	<i>75</i>

Abstract

To develop effective conservation strategies, environmentally responsible management plans and stop the erosion of biodiversity, it is necessary to scrupulously understand the relationships between natural species and the environment around them. This work focuses on the study of the spatial distribution of chiroptera hunting habitats in Wallonia. To do this, a MaxEnt model was built for each species of bat studied using, on the one hand, the presence points collected by ultrasonic detector and on the other hand the input parameters defined by the ENMeval package. The results of these models made it possible to understand the significantly negative effect of agricultural zones, artificial zones or even light intensity on the suitability of these environments for chiroptera hunting practices. The maps obtained underline the importance of maintaining Walloon forest cover and connectivity between the various landscape elements in order to ensure communication between the various hunting sites. These same maps linked to the Natura 2000 network highlight the usefulness of this one for the conservation of bat species and identify different areas that could be justified for inclusion in the Natura 2000 network.

Key words: bats, spatial distribution, model, Natura 2000.

Résumé

Pour élaborer des stratégies efficaces de conservation, des plans d'aménagement respectueux de l'environnement et enrayer l'érosion de la biodiversité en cours, il est nécessaire de comprendre scrupuleusement les relations existantes entre les espèces naturelles et l'environnement qui les entoure. Le présent travail se concentre sur l'étude de la distribution spatiale des habitats de chasse des chiroptères en Wallonie. Pour se faire, un modèle MaxEnt a été construit pour chaque espèce de chauve-souris étudiée utilisant, d'une part, les points de présences récoltés par détecteur à ultrason et d'autre part, les paramètres d'entrée définis par le package ENMeval. Les résultats de ces modèles ont permis de comprendre l'effet significativement négatif des zones agricoles, de zones artificielles ou encore de l'intensité lumineuse sur l'adéquation de ces milieux pour la chasse des chiroptères. Les cartes obtenues soulignent l'importance du maintien du couvert forestier wallon et d'une connectivité entre les différents éléments du paysage afin d'assurer la communication entre les divers terrains de chasse. Ces mêmes cartes mises en lien avec le réseau Natura 2000 mettent en évidence l'utilité de celui-ci pour la conservation des espèces de chauves-souris et font ressortir différentes zones dont l'intégration à ce réseau pourrait se justifier.

Mots clés : chauves-souris, distribution spatiale, modélisation, Natura 2000.

I. Introduction

1. Contexte général de l'étude

Depuis près d'un siècle, l'intensification de l'agriculture, le développement urbain et l'augmentation des infrastructures et du maillage des voies de communication ont entraîné une fragmentation et une dégradation de la richesse biologique du continent européen (Stoate et al. 2001; Fahrig 2003; Turner 1996; Brooks 2009).

Parmi cette richesse biologique, les chauves-souris, particulièrement sensibles aux modifications d'habitat (Cosson, Pons et Masson 1999a) et aux divers produits sanitaires tels que les insecticides ou les DDT (Mitchell-Jones et al. 1989; Racey et Swift 1986), ont, elles aussi, vu leur population chuter durant la deuxième moitié du XX^e siècle (Kervyn et al. 2009; Dietz 2009; Hutson et Mickleburgh 2001).

Ne bénéficiant pas toujours d'une bonne réputation auprès du public, ces mammifères discrets et encore trop peu connus jouent un rôle pourtant important en raison de leur alimentation de base, les insectes (Kunz et al. 2011). Ainsi, les chiroptères nous permettent de bénéficier d'une régulation des populations d'insectes. Ceci présente un intérêt sanitaire, évitant l'accroissement de ces porteurs de maladies, mais aussi économique assurant aux agriculteurs la diminution d'insectes ravageurs de leurs récoltes (Boyles et al. 2011).

Comprenant le risque que présenterait la disparition de cette diversité biologique et les nombreux avantages que ces espèces nous apportent, de multiples réglementations ont vu le jour dans le but de stabiliser leur population. C'est ainsi que depuis 1992, le réseau Natura 2000 s'efforce, au travers de différentes actions, de constituer un vaste réseau de sites préservés dont le but est de protéger les nombreuses espèces menacées et ainsi prévenir la diminution de leurs populations (Albalat, Sané, et Cosson 2015; Conseil européen 1992).

En Belgique, les 24 espèces de chauves-souris que nous possédons sont strictement protégées. Sept d'entre elles se retrouvent en annexe IIa du décret Natura 2000 du 6 décembre 2001 et toutes figurent sur l'annexe IV. Par conséquent, un rapport présentant l'état de conservation de ces espèces doit être réalisé tous les six ans (Conseil européen 1992). Cependant, la particularité et la grande diversité de leurs mœurs confèrent aux données récoltées par les différentes méthodes existantes un caractère non homogène, ce qui rend difficile l'évaluation des statuts de conservation (JULIEN et al. 2013).

En 2007, l'arrivée des enregistreurs automatiques d'ultrasons a permis d'apporter aux méthodologies de recensement déjà existantes de nombreux avantages dont l'obtention d'un jeu de données homogènes qui permettrait de déterminer de façon systématique la présence de chaque espèce, de quantifier l'activité nocturne de celles-ci et enfin de mieux caractériser la distribution de leurs habitats (Gorresen et al. 2008; JULIEN et al. 2013).

2. Objectifs de l'étude

Dans ce contexte d'amélioration constante du réseau Natura 2000, la présente étude vise à **mieux comprendre les relations complexes existantes entre les espèces de chauves-souris et leur environnement** qui déterminent la distribution de leur population dans les multiples types d'habitats que procure la Wallonie.

Pour ce faire, un protocole précis a été développé afin de modéliser la distribution des populations de chiroptères et obtenir des cartes prédictives de zones qui permettront, potentiellement de :

- Déduire quels sont les facteurs écologiques principaux influençant la répartition spatiale des espèces de chauves-souris en Wallonie,
- En faire ressortir des recommandations en termes d'aménagement du territoire et de conservation de l'habitat,
- Critiquer la pertinence du réseau Natura 2000 sur base des cartes obtenues.

Les résultats obtenus permettront d'apporter aux professionnels de la conservation de la nature une aide à la prise de décision en termes de gestion de l'habitat raisonnée ainsi que de se rendre compte de l'efficacité et de la pertinence des actions déjà mises en place.

II. Les chauves-souris

1. Généralités

Les chiroptères, ou plus communément appelés chauves-souris, sont présents sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique. On estime à plus d'un millier le nombre d'espèces existantes, ce qui fait de l'ordre des chiroptères le deuxième plus important après celui des rongeurs. Ces mammifères présentent donc une diversité de tailles, de formes, d'habitats ou de mœurs particulièrement remarquable (Dietz 2009).

Ces mammifères généralement nocturnes sont caractérisés notamment par leur capacité à voler de façon active. Leurs membranes allaires sous-tendues par les phalanges des doigts, les os des membres inférieurs et postérieurs ainsi que la queue leur permettent de parcourir de grandes distances les distinguant donc des autres mammifères volants (écureuils volants, marsupiaux, dermoptères), incapables de remonter en battant des ailes. (Dietz 2009).

Malgré leur taille relativement petite, les chauves-souris possèdent une grande longévité leur permettant de vivre dix fois plus longtemps qu'un rongeur de même gabarit. Ces chauves-souris doivent leur faible mortalité à leur activité nocturne et aux niches écologiques qu'elles ont conquises dans lesquelles le risque de prédation est bien plus faible qu'ailleurs.

Se déplaçant la nuit sans pour autant avoir la capacité de voir suffisamment pour se mouvoir dans leur environnement, les chiroptères ont développé un système d'orientation quasiment unique chez les mammifères terrestres : le sonar. Grâce à des cris émis par leur bouche ou par leur nez, les chauves-souris sont capables d'identifier précisément leur environnement en percevant les échos des objets les entourant et ainsi de localiser et attraper leurs proies sans se servir de leur vue.

À l'arrivée de l'hiver, les 45 espèces européennes cherchent un lieu aux températures et conditions hygrométriques idéales pour hiberner et leur permettre de passer cette période en dépensant un minimum d'énergie. Au printemps, avec la hausse des températures, les chauves-souris se déplacent vers leur gîte d'été pour pratiquer leurs activités de chasse et refaire des réserves. En parallèle, les femelles se regroupent à partir de mai pour mettre au monde un, ou plus rarement, deux petits (Dietz 2009).

En Europe, les populations de chauves-souris seraient caractérisées, après une longue période de déclin, par une stabilisation voir une légère augmentation des populations (Van der Meij et al. 2015). Cette tendance a été observée à partir de 16 espèces de chiroptères, mais présente de grandes différences entre les neuf pays observés.

2. Les chauves-souris en Belgique

En Belgique, nous pouvons retrouver 24 espèces de chauves-souris différentes qui sont réparties en deux grandes familles :

- Les **Vespertilionidés** sont des chauves-souris de taille moyenne, majoritairement insectivores, caractérisées par leur tragus (petite pointe de cartilage située devant le trou de l'oreille) pointu ou parfois arrondi à la base de l'oreille et le museau lisse. Ils constituent la famille la plus représentée dans notre pays avec leurs 22 espèces présentes.

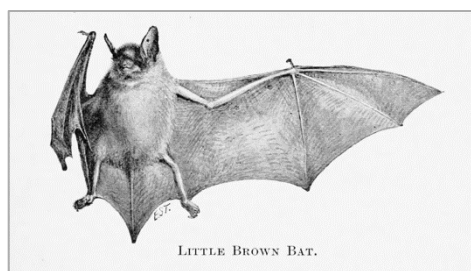


Figure 1. Petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*). (Source: data.abuledu.org/)

- Les **Rhinolophidés** sont caractérisés par leur appendice nasal en forme de fer à cheval et sont représentés par seulement deux espèces différentes en Belgique ; le Grand et le Petit rhinolophe.

Ces 24 espèces sont protégées en Belgique par le décret Natura 2000. Cela implique d'assurer le maintien de leurs habitats naturels et d'améliorer la cohérence écologique en développant des éléments du paysage permettant la conservation de ces espèces. Malgré cela, un récent rapport indique qu'en Wallonie les effectifs des populations de nombreuses espèces continuent de diminuer (Kervyn et al. 2009).

Plusieurs organismes belges s'efforcent donc de réaliser des inventaires et des suivis de la biodiversité présente en Wallonie. Ainsi *Plecotus*, le groupe de travail chauves-souris de *Natagora* de même que le Département de la Nature et des Forêts (DNF) et Département de l'Etude du milieu naturel et agricole (DEMNA) de la Région wallonne mettent en place différentes stratégies de recensement basées sur l'utilisation de détecteurs à ultrasons, la capture au filet japonais ou la recherche de colonies par télémétrie. Ces différentes techniques permettent notamment de faire une évaluation périodique de l'état de conservation de ces espèces et d'en observer les tendances.



Figure 2. Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*). (Source: data.abuledu.org/)

3. Habitat de chasse des chiroptères

Afin de trouver les proies idéales pour son régime alimentaire, chaque espèce de chauves-souris occupe un habitat de chasse particulier, susceptible de lui fournir un milieu dans lequel les conditions structurelles et environnementales lui permettent d'exploiter au mieux les ressources qui y sont présentes.

Le degré de corrélation élevé de ces conditions environnementales rend difficile l'identification de leurs effets pris un à un et complexifie leur interprétation. Quelques études ont cependant permis de déterminer plusieurs facteurs principaux impliqués dans la relation chauves-souris-habitats.

La présence d'eau et de forêts est pour beaucoup d'espèces un facteur corrélé positivement à la présence de chauves-souris. Effectivement, ces milieux présentent une concentration plus importante d'insectes qui constituent la base de leur régime alimentaire.

La présence de forêts apporte, de plus, aux chauves-souris des sites de gîtes et des abris (Boonman 2000). Certaines espèces plus grandes préfèrent quant à elles chasser le long des lisières boisées qui présentent des zones de vol sans encombre ainsi qu'une quantité importante d'insectes (Morris, Miller et Kalcounis Rueppell 2010).

Beaucoup des espèces exploitent également les zones agricoles à la recherche de nourriture avec pour certaines une préférence marquée pour les exploitations biologiques par rapport aux pratiques conventionnelles (Wickramasinghe et al. 2003).

4. Menaces qui pèsent sur les chauves-souris

4.1. Modification et fragmentation de l'habitat

La deuxième moitié du XX^e siècle a été caractérisée par une intensification accrue de l'agriculture qui a significativement modifié le paysage rural. La taille des champs s'est vue agrandie, les bordures de haies supprimées et le nombre de parcelles boisées raréfié pour permettre une exploitation plus efficiente (Boughey et al. 2011a). Cela a eu comme conséquences une homogénéisation et une simplification presque généralisée des habitats naturels présents aujourd'hui (Benton, Vickery et Wilson 2003).

La distribution des espèces qui exploitent ces habitats est directement affectée par une diminution et une isolation des ressources disponibles. Les effets néfastes qu'ont ces modifications diffèrent selon les espèces (Gorresen, Willig et Strauss 2005). Les espèces à la mobilité plus faible seront plus fortement impactées, n'ayant pas la possibilité d'accéder à un autre site de chasse (Cosson, Pons et Masson 1999b).

Ainsi, Boughey et al. (2011b) met en évidence l'importance de la connectivité des parcelles boisées. Les lignes d'arbres, les haies, les berges des rivières sont ainsi perçues comme des voies de communication indispensables au déplacement à travers un paysage fragmenté.

En Wallonie, entre 2001 et 2007, le niveau moyen de fragmentation, calculé à l'aide de l'indice de Jaeger, a augmenté de 5,4 % alors que la valeur médiane de cet indice est restée stable. En effet, cette augmentation vient de la détérioration localisée des connexions écologiques des zones appartenant au plateau de l'Ardenne du Nord-est, du haut plateau de l'Ardenne centrale ainsi que des côtes Lorraines.

La carte suivante présente l'état de fragmentation des différentes régions naturelles wallonnes. Celle-ci suggère que les zones présentes en Lorraine, en Fagne-Famenne, en Ardenne et dans une moindre mesure sur le Plateau condrusien sont caractérisées par une fragmentation modérée. A contrario, l'ensemble des zones situées au nord du Sillon industriel est caractérisé par des niveaux de fragmentations élevés.

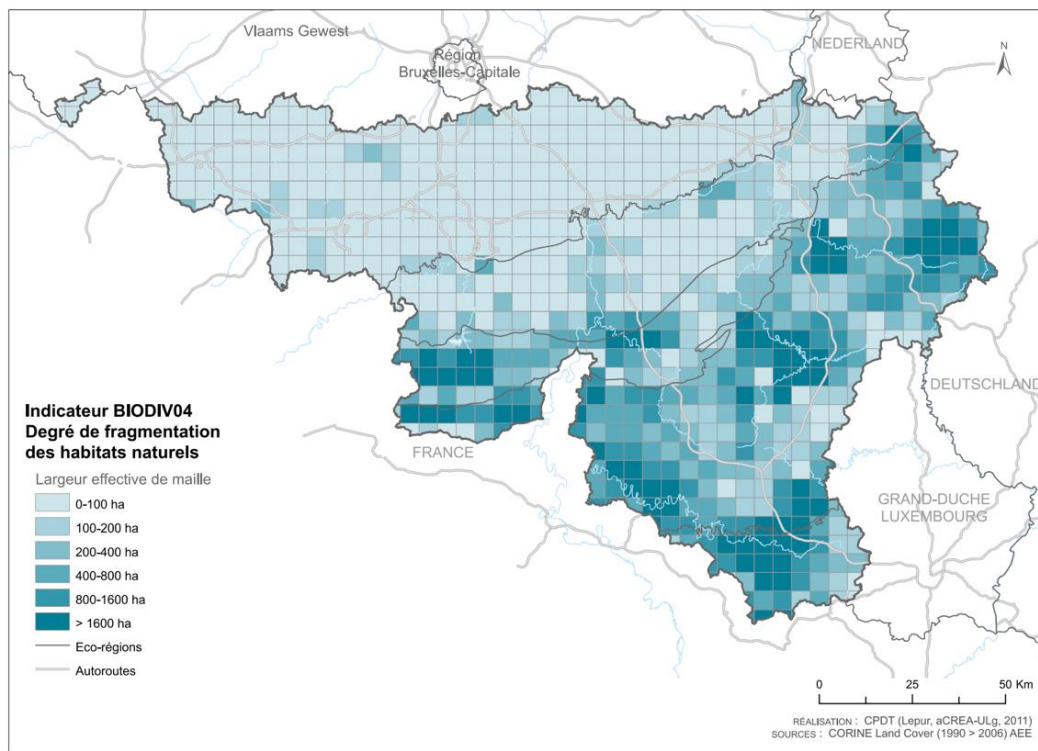


Figure 3. Degré de fragmentation des habitats naturels (Source: cpdt.wallonie.be/)

La cause première de l'augmentation de la fragmentation en Wallonie vient de la conversion des prairies permanentes en cultures permanentes. Il est donc compréhensible que les régions situées au nord du Sillon industriel présentent un morcellement du paysage plus intense.

4.2. Modification des conditions environnementales des habitats

La hausse des températures, l'élévation du niveau de la mer ainsi que la fréquence accrue et plus intense des événements venteux et pluvieux influence de même la stabilité des populations de chiroptères (Humphries Thomas, et Speakman 2002).

Ces mammifères sont, de plus, fortement sensibles aux contaminants environnementaux comme les insecticides qui ont un impact direct sur leur biologie (Clark 1988) ainsi qu'un impact indirect ; la réduction des insectes dans les milieux agricoles, constituant principal de leur régime alimentaire. Les produits utilisés pour le traitement du bois ont été eux aussi évalués comme ayant un impact sur leur biologie (Mitchell-Jones et al. 1989).

4.3. Un cycle biologique particulièrement vulnérable

Les chauves-souris présentent un cycle biologique atypique pour des mammifères de cette taille. En effet, celles-ci peuvent vivre jusqu'à 20 ou 30 ans prenant plusieurs années avant d'atteindre la maturité. En moyenne, les chiroptères ne mettent au monde qu'un petit par an. Ainsi ce rythme de vie rend leur rétablissement face à un déclin potentiel particulièrement complexe (Findley 1993). Pour exemple, la deuxième moitié du XX^{ème} siècle fut marquée par un déclin dramatique des populations de grands rhinolophes dont l'aire de répartition fut considérablement contractée (Ransome 1989).

5. Intérêt et enjeux du parc Natura 2000

Le réseau Natura 2000 est un projet qui met en œuvre les directives « Oiseaux » et « Habitats » en Europe. L'objectif de ce réseau est de protéger et de garantir l'état de conservation d'un certain nombre de populations d'espèces et de biotopes ayant un intérêt écologique particulier à l'échelle européenne. Ainsi, la directive « Oiseaux » datant de 1979 définit des « Zones de Protection Spéciale » (ZPS) alors que la directive « Habitats », datant de 1992, délimite des « Zones Spéciales de Conservation » (ZSC). La juxtaposition de ces deux types de zones forme des « Sites d'Importance Communautaire » (SIC).

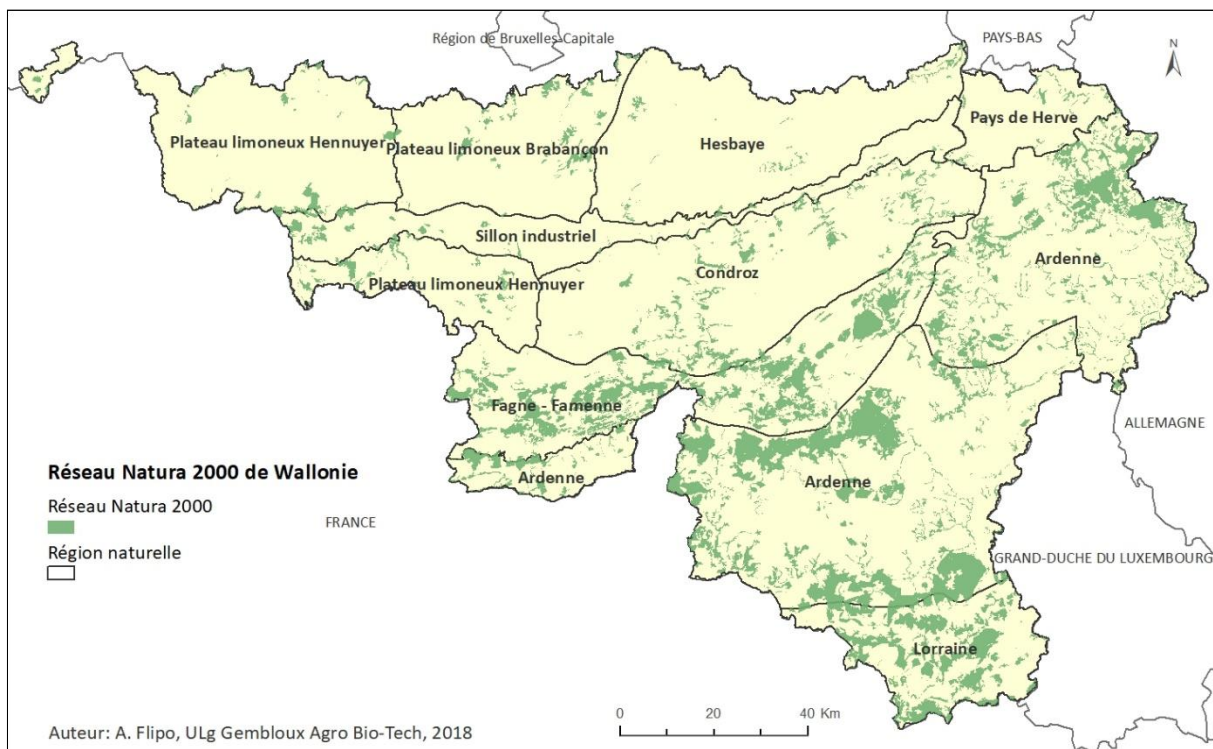


Figure 4. Réseau Natura 2000 wallon

En Wallonie, le réseau Natura 2000 comprend 240 sites qui couvrent 220 944 hectares pour lesquels des mesures de conservation sont mises en place. Ces différentes actions ont comme objectif la réduction de l'érosion de la biodiversité et le maintien de celle-ci.

L'enjeu majeur du réseau Natura 2000 est donc de pouvoir cartographier les zones d'intérêt biologique qui comprennent les habitats de reproduction, les terrains de chasse ainsi que les éventuelles zones de migration. La définition de ces zones nécessite donc des études approfondies sur les comportements et mœurs des espèces protégées en Wallonie.

6. Recensement par détecteur d'ultrason

6.1. Contexte

Les chiroptères sont des mammifères difficiles à étudier en raison de leur activité nocturne et de leur discrétion. Ils passent la plupart de leur temps dans de petites cachettes difficilement accessibles à l'homme, ce qui rend leur recensement complexe.

Plusieurs méthodes se sont développées au cours du temps pour l'étude de leur écologie générale. Le recensement de ces espèces a commencé par la découverte d'individus morts permettant d'établir des premières descriptions. La capture au filet japonais a ensuite permis d'apporter de nombreuses informations sur la composition des espèces présentes sur un site, sur leur état sanitaire et sur le type d'habitat fréquenté.

Avec le développement des nouvelles technologies, la télémétrie a pu être mise en place permettant de suivre un individu par radio-tracking et de trouver d'éventuelles colonies. Étant très coûteuse, cette technologie n'est utilisée que pour certaines missions particulières.

Malheureusement, ces différentes méthodes de recensement demandent un investissement humain et un effort d'échantillonnage non négligeable et donc coûteux pour l'obtention d'une quantité de données souvent trop peu importante pour l'étude précise de leur distribution d'habitat.

C'est ainsi que dans les années 2000, le recensement par détecteur d'ultrasons s'est développé. Sachant que chaque chauve-souris émet des ultrasons propres à son espèce, il est possible de les identifier et d'étudier pour chaque espèce les comportements de chasse, l'utilisation des habitats, la prédilection pour les différents éléments structurels présents dans le milieu naturel sans devoir capturer celles-ci. Le principal avantage que cette méthode apporte est la génération de données sur de longues périodes, ce qui permet d'étudier le comportement des chauves-souris tout au long de la nuit.

6.2. Principe

6.2.1. L'écholocation

Pour se repérer dans la nuit, en plus de leurs yeux, les chauves-souris ont développé un système ingénieux qui leur permet d'améliorer considérablement la façon dont elles perçoivent le milieu dans lequel elles se meuvent : l'écholocation. Ces mammifères émettent des cris de fréquences élevées (de 10 à 150 kHz) en comprimant l'air au niveau de leurs plis vocaux. Ces cris vont ensuite être amplifiés en passant par des résonateurs (le nez ou la gorge) et se réfléchir sur les éléments structurels qui se découvrent devant eux. En fonction du temps que prend l'écho pour revenir à elles, les chauves-souris vont pouvoir déduire la distance qui les sépare de l'objet, sa nature, sa vitesse ainsi que sa position dans l'espace (Dietz 2009).

En fonction de l'environnement dans lequel les chauves-souris se déplacent, la largeur de bande exploitée sera plus ou moins importante. En milieu ouvert, elles émettent en général un ultrason par battement d'ailes, qui leur permet de visualiser leur environnement de manière globale. En phase d'approche, lorsque les chauves-souris sont à l'affût d'une proie, elles diminuent l'intervalle intercri pour mieux visualiser la proie poursuivie. Enfin, en phase de capture, les chauves-souris accroissent de façon considérable le nombre de cris émis par seconde afin de ne pas manquer leur proie. Cette dernière phase de capture est appelée « buzz de capture » (Dietz 2009).

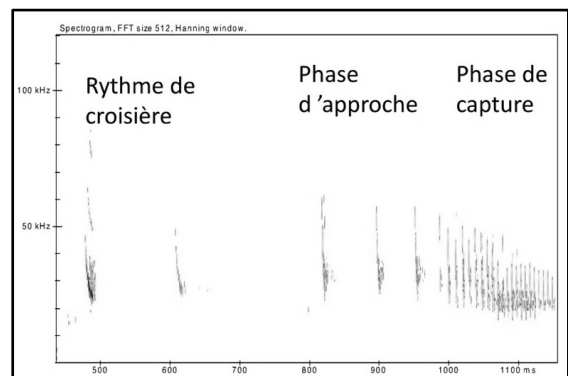


Figure 5. Représentation des différentes dynamiques d'émissions. (Source: Natagora.be/)

6.2.2. La détermination acoustique

Se déplaçant dans des habitats différents, chaque espèce présente un cri propre, induit par sa physiologie et adapté aux caractéristiques structurelles de son milieu. Ceci rend donc la détermination acoustique possible.

a. Les grandes catégories de cris

En fonction des espèces, de leur comportement et de l'environnement dans lequel elles évoluent, les ultrasons émis vont prendre des valeurs différentes de fréquence d'émission, de largeur de bande et de durée, ce qui permet de discerner plusieurs grandes catégories relatives aux comportements. (Russo et Jones 2002). Ainsi, il existe en Belgique quatre grands types de cris qui permettent une première grande différenciation. Les **fréquences constantes**, les **fréquences modulées aplanies**, les **fréquences quasi constantes** et les **fréquences modulées abruptes** (Barataud 2012a).

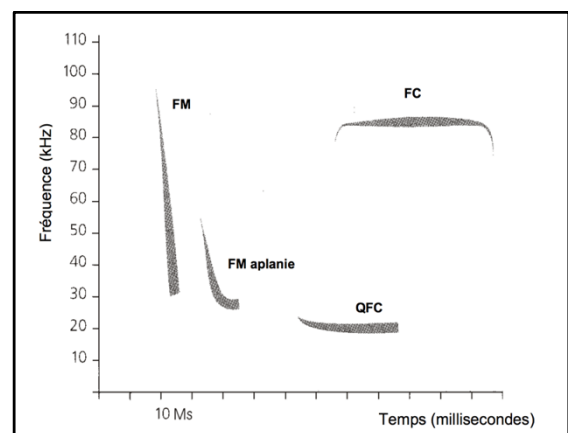


Figure 6. Représentation des quatre grands types d'ultrason en fonction du temps et de la fréquence. (Source : Russo et Jones 2002)

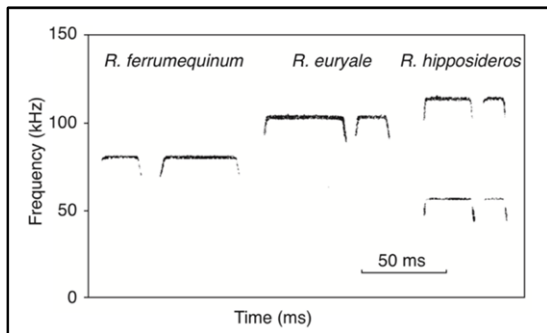


Figure 7. Ultrasons en fréquence constante en fonction du temps et de la fréquence. (Source: Russo et Jones 2002)

Les **fréquences constantes (FC)** sont caractéristiques de la famille des rhinolophes. Ces cris sont émis par leurs narines et sont focalisés par les feuilles nasales en forme de fer à cheval leur permettant de produire des ultrasons à la fréquence constante. En raison de leur forme particulière, ce type d'ultrason est le plus facilement identifiable (Barataud 2012b).

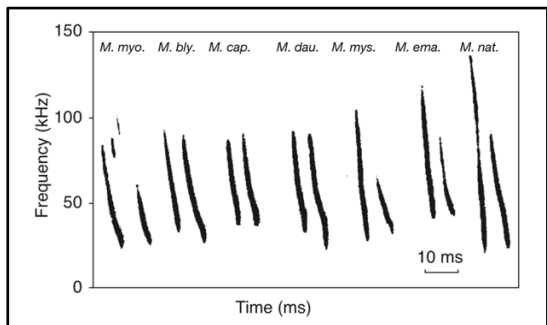


Figure 8. Ultrasons en fréquence modulée abrupte en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002)

Les **fréquences modulées abruptes (FM abruptes)** balayent une large gamme de fréquences en un temps très court. Les espèces produisant ce type d'ultrason comme les murins qui chassent en milieux denses sont particulièrement difficiles à identifier. En effet, ce type de son présente peu de caractéristiques discriminantes et beaucoup de recouvrement d'une espèce à l'autre.

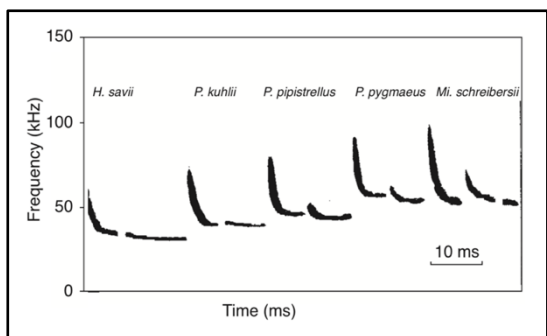


Figure 9. Ultrasons en fréquence modulée aplanie en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002)

Les **fréquences modulées aplanies (FM aplanies)** présentent un début de cri à la largeur de bande non nulle et se terminant par une fréquence quasi constante. Cette dernière partie du signal sera particulièrement intéressante pour la détermination acoustique. Nous retrouverons principalement les pipistrelles, les noctules ainsi que les sérotines, caractéristiques des fréquences modulées aplanies.

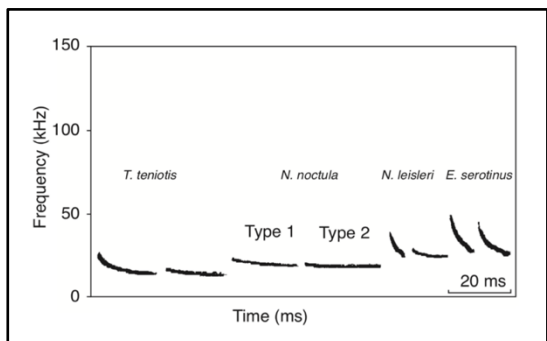


Figure 10. Ultrasons en fréquence quasi constante en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002)

Les **fréquences quasi constantes (QFC)** se différencient des fréquences modulées aplanies par leur courte partie modulée, leur longue partie de fréquence constante et une largeur de bande inférieure à 5 kHz. En Belgique, ce type de cri se retrouve principalement chez les noctules et les sérotines qui chassent en milieux ouverts à semi-ouverts.

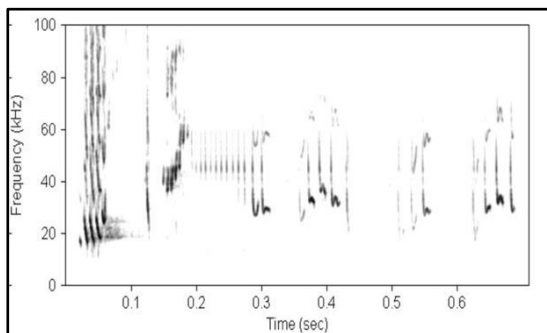


Figure 11. Représentation de cris sociaux en fonction du temps et de la fréquence. (Source :Russo et Jones 2002)

Une dernière catégorie de cris se différencie des autres : **les cris sociaux**. Ceux-ci n'ont pas une fonction d'écholocation, mais plutôt de communication (Pfalzer et Kusch 2003). Pour transmettre un message non ambigu, chaque espèce montre peu de variations intraspécifiques, mais des différences interspécifiques notables (Barlow et Jones 1997). Ces cris fournissent donc des informations importantes pour la détermination acoustique.

b. La détermination visuelle

Pour permettre une identification de qualité des espèces observées, les enregistreurs automatiques utilisent le principe d'**expansion du temps**. Lorsqu'un signal est détecté, l'enregistrement se déclenche en multipliant le temps par un certain facteur, ce qui rend l'analyse de la structure et de la forme du signal possible. En parallèle de cela, la fréquence de ce signal se voit divisée par ce même facteur, rendant possible l'audition de celui-ci par l'oreille humaine (Barataud 2012b).

Pour visualiser et analyser ces signaux, il existe plusieurs programmes dont le logiciel « Batsound » de Petterson Elektronik. Les ultrasons émis par les chauves-souris apparaissent comme suit :

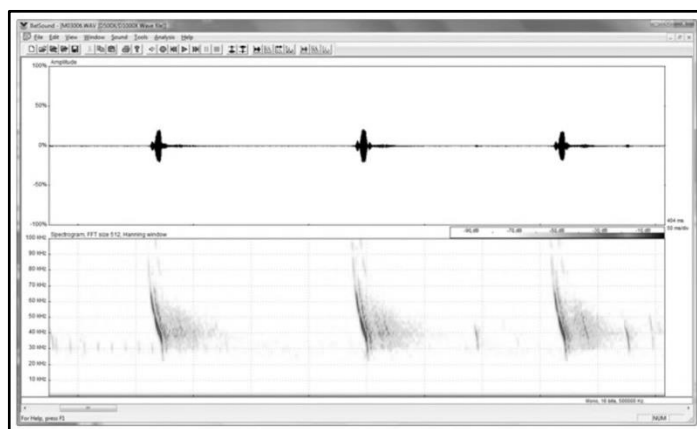


Figure 12. Exemple d'une séquence d'ultrasons ouverte dans le logiciel Batsound

Le livre de référence « Écologie acoustique des chiroptères d'Europe » de Michel Barataud fournit une méthodologie d'identification visuelle des espèces de chauves-souris en se basant essentiellement sur l'analyse des critères suivants :

- La forme générale du signal : (FC, FM abruptes, FM aplanies, QFC),
- La fréquence initiale,
- La fréquence terminale,
- La largeur de bande (différence entre la fréquence initiale et la fréquence terminale),

- La fréquence du maximum d'énergie (fréquence à laquelle la densité d'énergie est la plus élevée),
- La durée,
- L'intervalle intercri.

Il est cependant important de garder à l'esprit qu'il existe une variation intraspécifique des cris en raison des modifications structurelles du milieu. Barataud nous fournit donc deux importantes règles à retenir :

- Plus un individu est près d'un obstacle, plus il augmente la récurrence, la fréquence du maximum d'énergie, élargit la bande de fréquence et raccourcit la durée de ses signaux.
- Plus un individu est en milieu ouvert, plus il diminue la récurrence, la fréquence du maximum d'énergie, rétrécit la bande de fréquence et allonge la durée de ses signaux.




Cette méthodologie reprend pour chaque espèce européenne les gammes de valeurs des critères cités ci-dessus et propose l'utilisation de graphiques bivariés dynamiques permettant une comparaison aisée de nouvelles séquences observées.

c. La détermination auditive

L'expansion du temps des signaux émis par les chauves-souris permet de rendre audibles ceux-ci pour l'oreille humaine et ainsi d'en apprécier les différentes caractéristiques comme la durée, la largeur de bande, la fréquence initiale et terminale et en quelque sorte la forme générale du signal.

Michel Barataud propose une analyse particulièrement utile pour la détermination des murins (*Myotis* sp), des oreillardes (*Plecotus* sp) et des barbastelles (*Barbastellus* sp) présentant tous trois des signaux en fréquence modulée abrupte.

L'analyse de la sonorité prend toute son importance pour la séparation des murins produisant des cris de nature sifflée et des oreillardes et barbastelles aux cris de nature nasillarde. Ensuite, en fonction de la répartition d'énergie lors de l'émission de l'ultrason, Barataud différencie trois grands types de sonorité :

- Le claquement final (son « ioutch ») 
- L'amorce explosive (son « tchiou ») 
- L'absence de pic (son « iou ») 

La combinaison de l'écoute attentive de ces caractéristiques sonores et de l'analyse des valeurs mesurées sur Batsound permet une détermination de ces groupes produisant des cris pourtant très peu distincts.

d. La détermination automatisée : Sonochiro

Avec le développement des enregistreurs automatiques et la quantité toujours plus grande des données récoltées est venue la nécessité de développer des méthodes de détermination automatique. Ainsi, le département de recherche et innovation de BIOTOPE en collaboration avec le Musée National d'Histoire Naturelle ont mis en place un logiciel appelé « Sonochiro » qui se base sur la mesure de 41 paramètres discriminants et qui permet d'obtenir une probabilité de détermination allant du groupe à l'espèce pour chaque enregistrement de chauves-souris.

Celui-ci fournit pour chaque fichier audio :

- Une identification du groupe de chiroptère enregistré, accompagnée d'un indice de confiance,
- Une identification de l'espèce de chiroptère enregistrée, accompagnée d'un indice de confiance,
- Le nombre de cri par enregistrement (NbCalls),
- La fréquence dominante de l'enregistrement (MedFreq),
- L'intervalle médian de temps entre cris (MedInt),
- Un indice de qualité de la séquence pouvant impacter la capacité d'identification (IQual),
- Un indice mettant en évidence la présence de cris sociaux,
- Un indice mettant en évidence la présence de cris de capture de proie.

Le logiciel Sonochiro est encore relativement récent et ne se suffit pas à lui-même. Il nécessite donc une analyse manuelle en parallèle pour certains taxons, mais permet cependant de gagner un temps considérable pour de nombreuses espèces.

6.3. Stratégies d'échantillonnage

Pour étudier l'activité des chiroptères sur base des données acoustiques, deux méthodes principales d'échantillonnage sont utilisées en Wallonie : les **transects linéaires** et les **mesures stationnaires**.

La méthode utilisant des **transects** consiste à sélectionner un milieu potentiellement favorable et d'y définir un parcours précis que l'observateur, pourvu d'un détecteur à ultrason, va suivre en vue de faire état des espèces présentes sur le site. Il peut s'agir d'une écoute active dans lequel cas l'observateur détermine directement les espèces par hétérodynage (méthode d'identification auditive), soit d'une écoute passive pendant laquelle le détecteur enregistre l'ensemble des contacts de chauves-souris tout au long du transect qui devront par la suite faire l'objet d'une analyse sur ordinateur.

Les mesures stationnaires quant à elles consistent à placer un détecteur à ultrason en un point fixe qui y restera au moins une nuit complète. Durant cette période, chaque contact de chauve-souris sera enregistré et analysé par la suite sur ordinateur. Cette méthode génère une quantité beaucoup plus importante de données, mais permet d'étudier l'évolution, tout au long de la nuit, de l'activité des chiroptères.

En comparant la qualité des données récoltées par ces deux méthodes, Stahlschmidt et Brühl (2012) ont pu démontrer que les mesures stationnaires sont plus susceptibles de générer des données normalisées et non biaisées sur l'activité relative des chauves-souris. (Stahlschmidt et Brühl 2012).

7. Présentation des espèces étudiées

Les points suivants reprennent pour chaque espèce de chauve-souris étudiée les caractéristiques biologiques principales ainsi que les propriétés intrinsèques de leurs cris d'écholocation.

7.1. La Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*)



Figure 13. Barbastelle d'Europe (*Barbastellus barbastella*) (Source: biodiversite.wallonie.be/)

La Barbastelle d'Europe est une chauve-souris de taille moyenne possédant un pelage caractéristique long et soyeux d'un aspect très sombre. Ses oreilles larges et noires sont soudées entre elles à la hauteur du front. Cette espèce est présente dans toute l'Europe, remontant jusqu'à 58°N. Ses habitats de prédilection sont typiquement forestiers. Son régime alimentaire caractéristique est constitué presque exclusivement de lépidoptères hétérocères. Cette espèce présente une séquence d'écholocation particulière caractérisée par une alternance de deux cris distincts (Dietz 2009).

Tableau 1. Caractéristiques sonores des ultrasons de la Barbastelle d'Europe

Alternance	Intervalle intercri	Durée	Fréquence initiale	Fréquence terminale	Largeur de bande	Fréquence du maximum d'énergie
A	82,6	3,2	37,5	27,6	9,8	34,5
B	58,5	5,9	45,5	34,2	11,3	43,1

7.2. La Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)



Figure 14. Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

La Sérotine commune est une chauve-souris d'une envergure de 30 à 38 cm présentant un large museau et des oreilles arrondies. Elle occupe une grande partie de l'Europe, fortement répandue dans le bassin méditerranéen, mais ne remonte pas au-dessus des 55°N. Cette espèce occupe une large gamme d'habitats différents, mais est cependant moins dépendante des habitats forestiers. Son régime alimentaire est très variable et diffère en fonction de l'habitat occupé. Pour se localiser, la Sérotine commune produit des fréquences modulées aplanies aux rythmes irréguliers, caractérisées par une partie terminale en quasi-fréquence constante allant de 23 à 27 kHz (Dietz 2009).

Tableau 2. Caractéristiques sonores des ultrasons de la Sérotine commune

Type de signal	Intervalle intercri	Durée	Fréquence initiale	Fréquence terminale	Largeur de bande	Fréquence du maximum d'énergie
QFC	404,7	12,7	26,2	22,2	4,0	23,1
FM/QFC	166,3	8,2	54,0	26,2	27,7	30,7

7.3. Le Grand murin (*Myotis myotis*)



Figure 15. Grand murin (*Myotis myotis*).
(Source: biodiversite.wallonie.be/)

Le Grand murin est une grande chauve-souris (jusqu'à 45 cm) aux oreilles et au museau longs et larges. Cette espèce se répartit du bassin méditerranéen jusqu'au sud des Pays-Bas, ne remontant pas plus haut que le Danemark avec une limite orientale traversant l'Ukraine jusqu'à la mer noire. Adeptes des zones fortement boisées avec une préférence pour les forêts de feuillus, cette chauve-souris chasse des invertébrés de plus d'un cm vivants au sol. Ses cris d'écholocation sont caractérisés par des fréquences modulées de courte durée (moins de 10 ms) et une faible largeur de bande (Dietz 2009).

7.4. Le Murin de Natterer (*Myotis natterii*)



Figure 16. Murin de natterer (*Myotis natterii*).
(Source: biodiversite.wallonie.be/)

Plus petit que le Grand murin, le Murin de Natterer présente également de longues oreilles, mais un museau relativement plus fin. Cette espèce occupe la majeure partie de l'Europe ne remontant pas au-delà des 60°N, exploitant tout type de forêt ainsi que des milieux naturels pourvus d'arbres clairsemés tels que les parcs ou les vergers. Comme pour le Grand murin, le Murin de Natterer chasse des proies au sol telles que les araignées. Afin de percevoir au mieux ses proies parmi le feuillage, celui-ci produit des fréquences modulées abruptes caractérisées par une très grande largeur de bande, ce qui facilite son identification (Dietz 2009).

7.5. La Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)



Figure 17. Noctule de Leisler (*Nyctalus Leisleri*).
(Source: biodiversite.wallonie.be/)

Cette chauve-souris à la taille moyenne présente des oreilles arrondies et un museau robuste. Elle occupe la totalité de l'Europe jusqu'aux latitudes 57°N. Typiquement forestière, la Noctule de Leisler chasse le long des lisières des forêts de feuillus, mais aussi dans les pâtures. Cette espèce chasse principalement des petits papillons en émettant des cris en fréquence quasi constante caractérisée par une fréquence terminale avoisinant les 24kHz et une alternance irrégulière (Dietz 2009).

Tableau 3. Caractéristiques sonores des ultrasons de la Noctule de Leisler

Type de signal	Intervalle intercri	Durée	Fréquence initiale	Fréquence terminale	Largeur de bande	Fréquence du maximum d'énergie
QFC	315,2	12,0	26,0	24,0	2,0	24,7
FM/QFC	212,9	9,1	43,1	25,7	17,4	26,9

7.6. La Noctule commune (*Nyctalus noctula*)



Figure 18. Noctule commune (*Nyctalus noctula*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

La Noctule commune fait partie des plus grandes chauves-souris retrouvées en Belgique. Elle présente de larges oreilles arrondies et une envergure atteignant les 40 cm. Cette espèce chassait à l'origine dans les forêts de feuillus, mais exploite aujourd'hui tout type d'habitat. Se nourrissant uniquement d'insectes volants, cette chauve-souris pratique le vol très rapide rectiligne en produisant des fréquences quasi constantes caractérisées par une alternance de hauteur de cri facilement décelable par écoute hétérodyne (Dietz 2009).

Tableau 4. Caractéristiques sonores de la Noctule commune

Type de signal	Intervalle intercri	Durée	Fréquence initiale	Fréquence terminale	Largeur de bande	Fréquence du maximum d'énergie
QFC	371,4	16,9	21,8	19,5	2,4	20,0
FM/QFC	225,9	12,1	37,3	23,5	13,8	24,6

7.7. La Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)



Figure 19. Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

Petite chauve-souris migratrice d'une envergure de 23 à 25 cm, occupant une grande partie de l'Europe et montant jusqu'à des latitudes de 60°N. Adepte des milieux forestiers naturels très structurés à proximité d'un point d'eau. Son régime alimentaire est constitué exclusivement d'insectes volants, en général liés à l'eau. La Pipistrelle de Nathusius émet des fréquences modulées présentant des fréquences terminales allant de 37 à 41 kHz (Dietz 2009).

Tableau 5. Caractéristiques sonores de la Pipistrelle de Nathusius

Type de signal	Intervalle intercri	Durée	Fréquence initiale	Fréquence terminale	Largeur de bande	Fréquence du maximum d'énergie
QFC	167,5	8,3	41,9	39,7	2,2	40,3
FM/QFC	108,2	6,9	61,8	40,8	21,0	42,2

7.8. L'Oreillard roux (*Plecotus auritus*)



Figure 20. Oreillard roux (*Plecotus auritus*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

Cette chauve-souris de taille moyenne présente comme tous les oreillards de très longues oreilles. Comme son nom l'indique, la couleur de son pelage prend des nuances roussâtres en passant jusqu'au crème à la hauteur de son ventre. L'Oreillard roux occupe toute l'Europe en remontant à des latitudes allant jusqu'à 64°N. Il exploite des habitats forestiers de même que des parcs en chassant des insectes aussi bien volants que terrestres comme les papillons de nuit ou des sauterelles. Ses cris d'écholocation sont caractérisés par une présence marquée de la deuxième harmonique (Dietz 2009).

Tableau 6. Caractéristiques sonores de l'Oreillard roux

Intervalle intercri	Durée	FI Fondamentale	FT Fondamentale	LB Fondamentale	FME Fondamentale	FME Harmonique 1
96,3	3,4	50,6	23,0	27,6	34,4	57,9

7.9. L'Oreillard gris (*Plecotus austriacus*)



Figure 21. Oreillard gris (*Plecotus austriacus*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

De même que pour l'Oreillard roux, l'Oreillard gris est caractérisé par de longues oreilles souples. Son museau pour sa part est un peu plus long et d'une couleur gris foncé. Cette espèce occupe une grande partie de l'Europe remontant à des latitudes allant jusqu'à 53°N. Contrairement à l'Oreillard roux, l'Oreillard gris est une espèce typiquement villageoise, a priori absente en milieu forestier. Son régime alimentaire est constitué presque uniquement de papillons de nuit. Ses cris d'écholocation présentent eux aussi une deuxième harmonique fortement accentuée (Dietz 2009).

Tableau 7. Caractéristiques sonores de l'Oreillard gris

Intervalle intercri	Durée	FI Fondamentale	FT Fondamentale	LB Fondamentale	FME Fondamentale	FME Harmonique 1
104,1	3,3	42,1	22,4	19,7	30,9	53,8

7.10. Le Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*)



Figure 22. Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

Cette espèce est la plus grande des rhinolophes européens, caractérisée par un appendice nasal en forme de fer à cheval. Celle-ci occupe toute l'Europe centrale en s'arrêtant à la hauteur des Pays-Bas. Cette espèce exploite des milieux très structurés et diversifiés pour chasser surtout des coléoptères ou des papillons de nuit. Les ultrasons qu'il produit forment des fréquences constantes allant de 79 à 84kHz (Dietz 2009).

Tableau 8. Caractéristiques sonores du Grand Rhinolophe

FME
82,4

7.11. Le Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*)

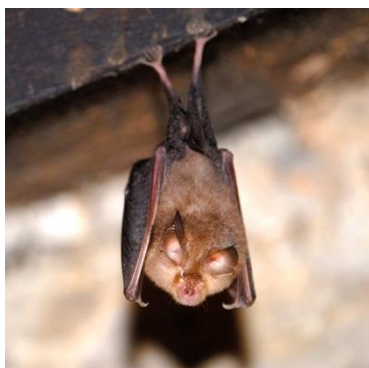


Figure 23. Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*). (Source: biodiversite.wallonie.be/)

Le Petit rhinolophe est sans doute une des plus petites chauves-souris présentes en Belgique avec une envergure de moins de 25 cm. Comme pour le Grand rhinolophe, il est caractérisé par un appendice nasal en forme de fer à cheval fortement développé. Cette espèce occupe l'ensemble de la partie sud de l'Europe remontant jusqu'à des latitudes avoisinant les 52°N. De même que pour le Grand rhinolophe, ses cris d'écholocation forment des fréquences constantes qui, pour cette espèce, sont caractérisés par des fréquences allant de 108 à 114kHz. Les milieux forestiers à proximité d'un point d'eau caractérisent globalement les habitats occupés par cette espèce (Dietz 2009).

Tableau 9. Caractéristiques sonores du Petit rhinolophe

FME
109,4

8. Modélisation et cartographie de la distribution spatiale d'une espèce

Avec la conscientisation de l'importance du maintien de la biodiversité qui nous entoure est venu le besoin de comprendre comment les espèces naturelles se répartissent sur la surface du globe. Les catastrophes écologiques provoquées par les activités anthropiques ont motivé le développement d'outils permettant de comprendre et prédire des comportements écologiques face à des changements environnementaux.

8.1. Les modèles de distribution d'espèces (SDM)

Comprendre les facteurs biotiques et abiotiques qui régissent la niche écologique d'une espèce est l'objectif général des modèles de distribution d'espèces (Austin 1980). Cet outil permet sur base de données de présence ainsi que de données environnementales d'extrapoler dans le temps et l'espace la distribution d'une espèce donnée et ainsi d'obtenir des cartes de probabilité d'occupation d'habitats contribuant à la prise de décisions éclairées en matière de gestion de l'habitat et minimisant potentiellement l'impact du développement de nouvelles infrastructures.

Les modèles de distribution d'espèces (SDM) se basent sur la théorie des niches écologiques. Celle-ci explique que les organismes ne s'épanouissent que dans les zones qui leur procurent un certain cadre physiologique et des ressources nécessaires pour leur développement (Hirzel et Lay 2008). Une niche écologique peut donc être définie comme un ensemble de facteurs écologiques qui affectent l'aptitude d'un organisme (Grinnell 1917) ou plus précisément, comme un hyper volume à n dimensions dans lequel les conditions environnementales permettent à l'espèce de survivre à long terme et de se reproduire (Phillips, Anderson et Schapire 2006). Cependant, en raison de l'existence de pressions externes comme l'interaction avec d'autres espèces ou la présence de barrières géographiques, la distribution de l'espèce en sera limitée (Guisan et Thuiller, s. d.). Il est donc important de différencier une niche fondamentale qui ne tient compte que des facteurs abiotiques d'une niche réalisée qui ajoute à ceux-ci les facteurs biotiques.

Forcément, ces modèles présentent des limites en termes de représentativité. Les résultats obtenus ne sont que des prédictions statistiques dont la qualité dépend très fortement de l'information fournie au départ. En effet, tenir compte de l'effet des barrières géographiques qui empêchent la dispersion ou de l'effet biotique d'autres espèces s'avère compliqué (Hirzel et Lay 2008). Il est donc important de garder à l'esprit l'existence de ces limitations avant d'entamer l'analyse des résultats.

8.2. MaxEnt

La plupart des techniques existantes reposent sur l'utilisation de données de présence/absence (Guisan et Zimmermann 2000), c'est-à-dire des points où l'espèce a été observée et d'autres points où l'espèce peut être considérée comme absente. Cependant, pour beaucoup d'études écologiques, la récolte de données d'absence s'avère complexe en raison soit des méthodes de recensement utilisées, soit en raison de l'écologie intrinsèque de l'espèce (Guisan et Zimmermann 2000). Ainsi, depuis quelques années s'installe une tendance croissante pour

l'utilisation de modèles ne demandant que des données de présence (Presence-only model), permettant l'étude de nombreuses autres espèces.

Parmi ces modèles, MaxEnt est sans doute un des plus populaires en raison de son efficacité et de sa prise en mains relativement facile. Afin de fonctionner, MaxEnt nécessite un ensemble de points d'occurrence et un ensemble de variables environnementales et géographiques (Phillips, Anderson, et Schapire 2006).

Ces données sont ensuite superposées en vue de comparer les valeurs des pixels de chaque variable environnementale où l'espèce est présente à un ensemble aléatoire de cellules de fond qui peuvent être considérées comme des pseudoabsences. Ainsi, MaxEnt compare les probabilités relatives de chaque covariable environnementale sur l'ensemble des points de présence à celles des cellules de fond pour estimer les rapports entre les densités de probabilité des covariables pour les points d'occurrence et les densités de probabilité sur toute la zone d'étude (Elith et al. 2011). Cette estimation du rapport de densité de probabilité est faite en suivant le principe d'entropie maximale selon lequel une approximation d'une distribution inconnue devrait correspondre à toute l'information dont nous disposons, sans faire d'hypothèse sur tout ce que nous ne savons pas (Jaynes 1957). Ce principe permet de minimiser la différence entre la distribution de probabilité aux points de présence et aux cellules de fond et ainsi de réaliser une distribution de probabilité uniforme et donc de ne poser a priori aucune hypothèse. Des ajustements itératifs permettent ensuite de maximiser la probabilité accordée à chaque point d'occurrence, et ce jusqu'à ce que le nombre d'itérations atteigne son maximum ou jusqu'à ce que la différence de cette probabilité tombe en dessous du seuil de convergence (Phillips, Anderson et Schapire 2006).

Pour réaliser l'étape d'étalonnage des modèles, MaxEnt manipule les variables environnementales fournies en suivant six contraintes (Phillips et Dudík 2008) spécifiées par l'utilisateur :

- **Linéaire** : variables environnementales continues,
- **Quadratique** : carré d'une variable environnementale continue,
- **Produit** : produit de deux variables environnementales continues,
- **Catégorie** : variables environnementales catégorielles,
- **Seuil** : variables environnementales continues dont un seuil est calculé à partir duquel la caractéristique seuil est égale à 1,
- **Charnière** : augmentation linéaire de la valeur accordée à partir d'un certain seuil.

Afin d'éviter la surexplication des modèles produits empêchant la transférabilité de ceux-ci dans le temps ou l'espace, MaxEnt accorde un poids plus important aux modèles les plus simples et donc aux modèles dont la réponse est la plus lisse et linéaire (Elith et al. 2011). C'est par le calcul du paramètre de régularisation β que cette importance est accordée. Par défaut, MaxEnt ajuste ce paramètre en fonction de la taille de l'échantillon, de la variation des caractéristiques environnementales et le nombre de caractéristiques utilisées (Phillips, Anderson et Schapire 2006).

Le résultat final de MaxEnt obtenu correspond à une gamme de probabilités accordées à chaque pixel de la zone d'étude qui peut être interprétée comme un indice d'adéquation de l'habitat.

8.3. ENMeval

MaxEnt étant une méthode de modélisation aux multiples paramètres d'entrée, le choix du modèle le plus adéquat n'est pas toujours évident. Afin d'apporter une aide aux utilisateurs de MaxEnt, un package « R » a été développé dont l'objectif principal est d'équilibrer la qualité de l'ajustement avec la complexité du modèle (Muscarella et al. 2014).

Tout d'abord, ce package permet de créer des ensembles de données pour la validation croisée en k-fold par l'intermédiaire de six différentes méthodes de partitionnement des données de présence (Muscarella et al. 2014).

- **N-1 jackknife** : partitionnement itératif dans lequel chacun des points d'occurrence est utilisé pour évaluer le modèle alors que tous les autres points servent à l'étalonnage du modèle.
- **Random k-fold** : partitionnement aléatoire des données d'occurrence pour l'évaluation et l'étalonnage.
- **Block** : partitionnement des données en quatre blocs en fonction des latitudes et longitudes dans lesquelles le nombre de données est le plus similaire possible.
- **Checkerboard** : partitionnement des données selon un damier.
- **Checkerboard2** : application d'un damier secondaire à la méthode précédente.
- **User-specified** : partitionnement défini par l'utilisateur.

Pour chaque paramètre spécifié par l'utilisateur, le package ENMeval réalise une série de modèles candidats. Parmi ces paramètres, nous retrouvons le paramètre de régularisation β ou encore les six contraintes appliquées aux données environnementales (Muscarella et al. 2014).

Enfin, pour la sélection du modèle le plus pertinent, ce package quantifie six paramètres d'évaluation. Parmi ceux-ci, les trois principalement utilisés sont les suivants :

- L'aire sous la courbe (**AUC**). Une valeur élevée de ce paramètre indique une meilleure capacité à discriminer la probabilité d'occurrence entre les points de présence et les points d'arrière-plan.
- La différence entre la valeur d'AUC associée aux données utilisées pour la calibration du modèle et celles utilisées pour l'évaluer (**AUC_{diff}**). Une valeur positive de ce paramètre reflète un surapprentissage.
- Le critère d'information Akaike corrigé (**AICc**). Ce paramètre reflète la qualité d'ajustement et la complexité du modèle. Le modèle ayant la valeur d'AICc la plus faible sera considéré comme le modèle le plus pertinent.

Ce package permet donc de faciliter l'obtention de résultats de qualité tout en ayant un contrôle sur les paramètres d'entrée.

III. Matériel et méthodes

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principaux points importants par lesquels cette étude a dû passer en développant les aspects techniques de la méthodologie ainsi qu'en présentant les différents logiciels utilisés en vue de fournir une vision chronologique du travail effectué.

1. Acquisition des données acoustiques

1.1. Contexte

Depuis 2012, le recensement des espèces de chauves-souris par enregistreur automatique a été mis en place en Wallonie par divers organismes tels que le groupe *Plecotus* de *Natagora*, le Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA) ou encore le Département de la Nature et des Forêts (DNF). Ainsi, au fur et à mesure des années, la base de données s'est développée permettant d'accroître le nombre de points d'écoute et d'étudier l'évolution des effectifs des populations, leur répartition, leur biologie et de mieux comprendre et prévenir l'impact que les activités anthropiques ont sur ces mammifères.

Le jeu de données acoustiques utilisé pour cette étude a été fourni par Pierette Nyssen du groupe *Plecotus* et Quentin Smits du DEMNA et comprend maintenant plus de 1200 points d'écoute répartis dans toute la Wallonie.

1.2. Détecteurs à ultrason

Les principaux détecteurs à ultrason qui ont été mis à disposition des naturalistes bénévoles pour le recensement par postes fixes sont le SM2BAT et le SM3BAT.

Ces deux enregistreurs automatiques de la marque Song Meter® développés et mis sur le marché par l'entreprise américaine *Wildlife Acoustique* présentent des caractéristiques similaires avec quelques améliorations apportées sur le SM3BAT. Ce dernier permet d'enregistrer en mono jusqu'à 384KHz pendant une durée maximale de 120 heures stockant jusqu'à 512 Go de données qui peuvent être compressées en format *.WAC* soit non compressées en format *.WAV*.

Ceux-ci ont, pour la plupart du temps, été programmés pour se déclencher une demi-heure à une heure après le coucher du soleil, moment pendant lequel les chauves-souris sortent de leur gîte d'été pour aller chasser et ensuite programmés pour se mettre en veille au lever du soleil.

2. Traitement des données acoustiques

Afin de rendre les données récoltées par les naturalistes utilisables, plusieurs traitements informatiques sont nécessaires. Les points suivants reprennent l'ensemble des étapes effectuées en amont du travail de modélisation.

2.1. Décompression des données : Kaleidoscope

Les fichiers audio enregistrés grâce aux détecteurs à ultrason sont généralement stockés sous un format .WAC permettant de compresser ceux-ci et d'économiser une place considérable.

Le logiciel Kaleidoscope développé lui aussi par l'entreprise *Wildlife Acoustique* permet d'une part de décompresser ces fichiers en les convertissant en format .WAV et d'autre part d'homogénéiser les données en fournissant des fichiers de sortie de même longueur maximale, en l'occurrence 5 secondes.

2.2. Identification préliminaire : Sonochiro

Étant donné la quantité colossale de fichiers audio récoltés par les enregistreurs automatiques, le logiciel Sonochiro mis en place par le groupe BIOTPE a été utilisé en vue d'établir une première détermination automatique.

Ce logiciel a donc permis de gagner un temps considérable fournissant directement des feuilles Excel permettant, grâce aux tableaux croisés dynamiques, de manipuler les données et d'en sélectionner les meilleures afin de caractériser pour chaque lieu et chaque date la présence des différentes espèces.

2.3. Suppression des faux positifs

Les faux positifs sont définis comme des identifications erronées présentant des indices de confiance corrects. C'est ainsi que des espèces qui sont connues pour ne pas être présentes en Belgique ou plus précisément sur les lieux d'enregistrement sont identifiées de façon parfois systématique. Ces erreurs faussent donc considérablement les résultats escomptés. Il est donc impératif de veiller à les éliminer des différents jeux de données.

À titre d'exemple, les principales espèces faussement déterminées pour les jeux de données fournis ont été la Barbastelle d'Europe, la Sérotine de Nilson, la Sérotine bicolore, la Grande noctule, la Pipistrelle de Khul et plus rarement les espèces de rhinolophes.

L'ensemble des jeux de données ont donc été épurés de ces fausses identifications en les remplaçant chacune, après avoir vérifié la correspondance en ouvrant les fichiers audio sur le logiciel Batsound, par les espèces ou les groupes d'espèces adéquats.

2.4. Validation des données : Batsound

Afin d'obtenir les données de présence nécessaires pour effectuer une modélisation MaxEnt, les présences de chaque espèce étudiée ont dû être validées en chaque point d'écoute afin de ne pas produire de modèles basés sur des données tronquées.

La procédure de la validation de présence a été réalisée pour l'entièreté du jeu de données.

2.4.1. Filtrage des données en vue de l'obtention des données de meilleure qualité

Étant donné la quantité très importante de données, un premier filtre a dû être appliqué afin de travailler uniquement sur les données les plus intéressantes qualitativement parlant. Ce filtre a ainsi sélectionné les données caractérisées par les indices suivants :

- Indice de confiance élevé,
- Indice relatif à la qualité de l'enregistrement de la séquence élevé,
- Nombre de cris par séquence suffisamment élevé.

Ces filtres ont été adaptés en fonction de chaque espèce afin d'obtenir au minimum trois séquences à observer.

2.4.2. Ouverture d'une première séquence dans le logiciel Batsound

L'exemple qui a été utilisé pour représenter les prochaines étapes de la procédure de validation correspond à une espèce de Pipistrelle commune enregistrée par Quentin Smits par un détecteur à ultrason SM4BAT.

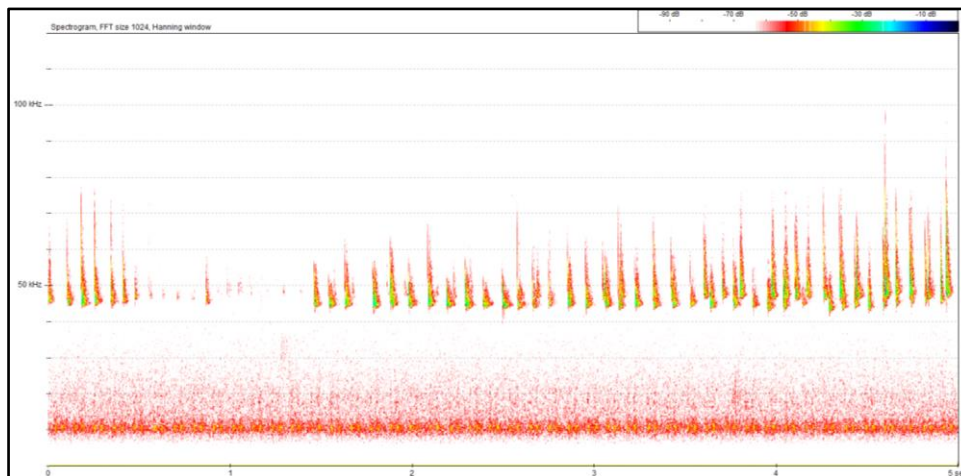


Figure 24. Représentation d'une séquence d'ultrason ouverte dans le logiciel Batsound.

2.4.3. Observation générale de la séquence et écoute de celle-ci en expansion du temps ainsi qu'en mode hétérodyne

L'observation de la séquence ainsi que son écoute en expansion du temps permet de déterminer dans un premier temps :

- La forme générale du signal (FC, QFC, FM, FM aplanies)
- La durée du signal
- La largeur de bande approximative
- La fréquence terminale du signal

L'écoute de la séquence en mode hétérodyne permet dans un second temps d'apprécier le rythme de la séquence émise par la chauve-souris ainsi que de déterminer l'existence d'une alternance de deux cris différents (souvent l'alternance d'un cri grave et d'un cri plus aigu).

2.4.4. Choix du fichier Excel Barataud adéquat

L'observation préliminaire de différentes caractéristiques citées au point précédent permet d'identifier les espèces candidates et ainsi de sélectionner le diagramme qui permettra de prendre la décision adéquate. Les huit feuilles Excel de Michel Barataud sont les suivantes :

- Identification Rhinolophus,
- Identification Plecotus,
- Identification Nyctalus – Tteniotis,
- Identification Nyctalus – Eptesicus – vespertilio,
- Identification Noctules (FM) – Sérotines (FM) – GMurins,
- Identification Myotis,
- Identification Hypsugo – Pipistrellus – Miniopterus,
- Identification Barbastellus.

2.4.5. Mesure précise de six paramètres sur trois signaux

Michel Barataud propose dans ses fichiers l'utilisation de macros grâce auxquelles, par la mesure de certaines caractéristiques, il est possible de lever le doute sur l'une ou l'autre identification.

Pour cela, il est nécessaire de sélectionner plusieurs signaux qui paraissent représentatifs de la séquence pour en mesurer les caractéristiques suivantes :

- **La fréquence initiale (FI) :** La mesure de la fréquence initiale se fait grâce à l'outil « Measurement cursor ». Il permet de placer la souris à l'endroit escompté et d'en observer la fréquence. La fréquence initiale correspond donc la plupart du temps aux fréquences les plus élevées.

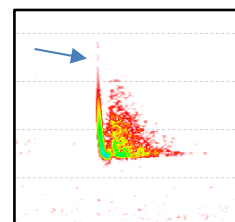


Figure 25. Lieu de la mesure de la fréquence initiale.

- **La fréquence terminale (FT)**: La fréquence terminale quant à elle correspond à la fréquence caractérisant la dernière partie du signal. Pour cela, il est important de bien faire la différence entre le signal propre et l'écho qui le suit. Afin de faciliter la séparation du signal original et les perturbations qui suivent, il est souvent utile d'afficher en vis-à-vis du spectrogramme, l'oscillogramme. Celui-ci représente l'amplitude du signal et permet de trancher afin de prendre la mesure adéquate.

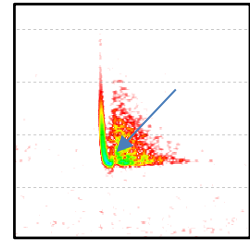


Figure 26. Lieu de la mesure de la fréquence terminale.

- **La durée sur signal** : De même que pour la mesure de la fréquence finale, la mesure de la durée de celui-ci s'accompagne de l'observation de l'oscillogramme afin de ne pas prendre en compte l'écho et ne pas surestimer cette mesure.

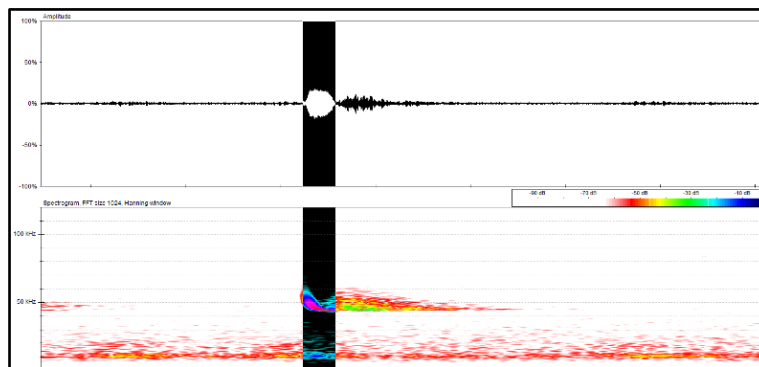


Figure 27. Mesure de la durée de l'ultrason à l'aide de l'oscillogramme.

- **La fréquence du maximum d'énergie (FME)** : La fréquence du maximum d'énergie correspond à la fréquence dont la densité d'énergie est la plus élevée. La mesure de celle-ci se fait à l'aide du « Power spectrum ». L'ensemble du signal est sélectionné et cet outil indique la courbe de densité d'énergie en regard de la fréquence. Pour sélectionner précisément la bonne fréquence, le pointeur sera placé au centre du sommet correspondant à cette fréquence.

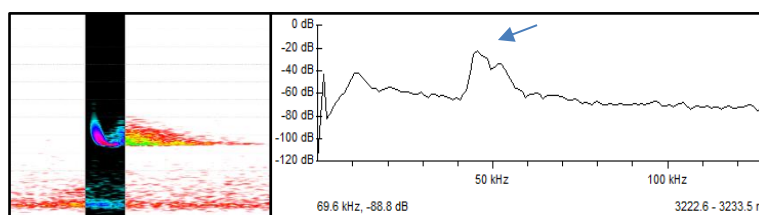


Figure 28. Mesure de la fréquence du maximum d'énergie à l'aide de l'outil "power spectrum"

- **La largeur de bande (LB)** : La largeur de bande est calculée directement dans les macros fournies par Michel Barataud en soustrayant la fréquence terminale à la fréquence initiale. Elle correspond donc à l'ensemble des fréquences exploitées par l'espèce de chauve-souris.

2.4.6. Utilisation des diagrammes bivariés de Barataud

Ces cinq caractéristiques peuvent ensuite être implantées dans la macro de Michel Barataud correspondante. L'interface dans laquelle ces valeurs doivent être insérées se présente comme suit :

Signaux à identifier					
Identifiant	FI	FT	Durée	FME	LB
signal 1	58.1	44	6.9	45.3	14.1
signal 2	58.3	44.4	6.6	45.7	13.9
signal 3					0
signal 4					0
signal 5					0
signal 6					0

Figure 29. Interface des macros de Michel Barataud dans laquelle sont insérées les valeurs mesurées

Les diagrammes bivariés dynamiques permettent ensuite de représenter ces deux signaux dans les nuages de points représentant pour chaque couleur une espèce en fonction de ses caractéristiques intrinsèques.

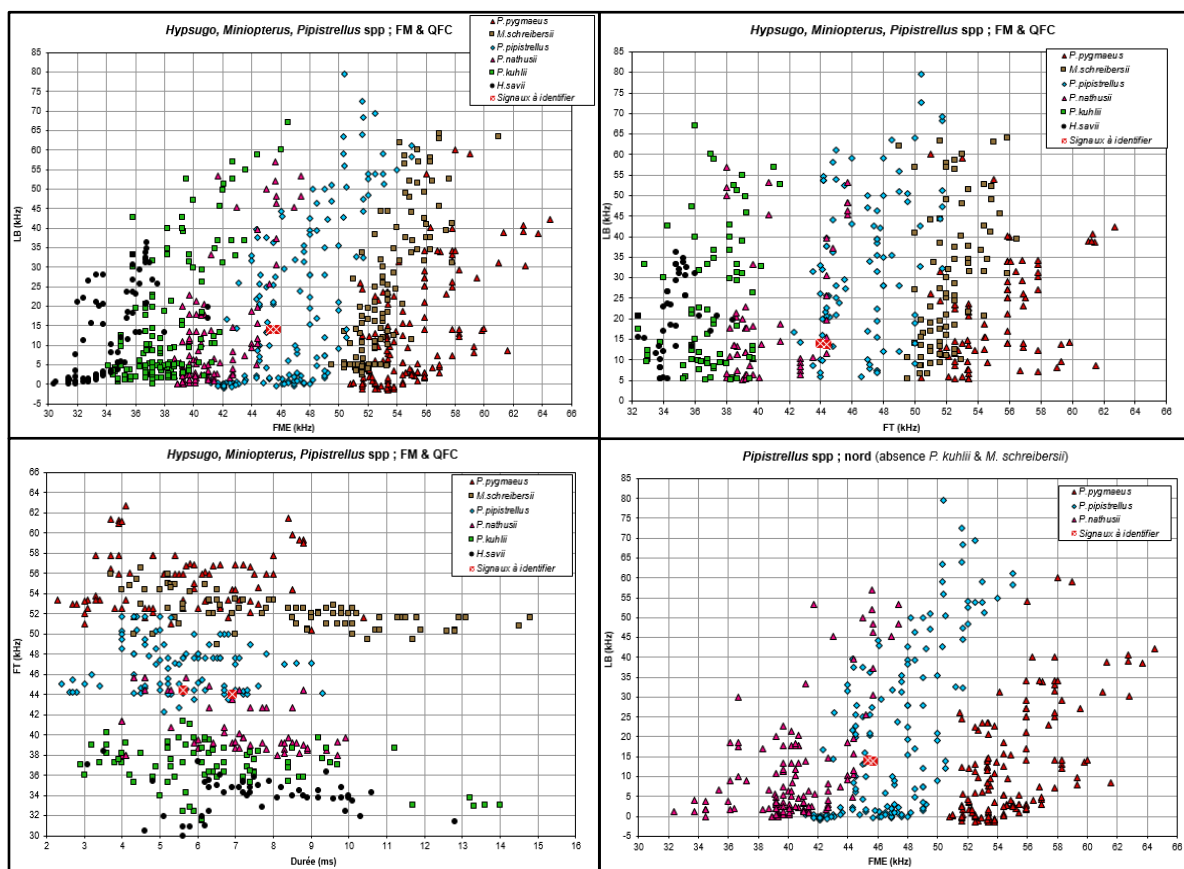


Figure 30. Diagrammes bivariés dynamiques de Michel Barataud

Ainsi, au regard des zones dans lesquelles se placent les signaux, il est possible de prendre une décision en termes de détermination. Il s'agissait donc bien, pour cet exemple, d'une *Pipistrellus* commune.

3. Modélisation MaxEnt

Cette partie du protocole a pour but de présenter les étapes effectuées en vue d'obtenir, pour chaque espèce étudiée, une carte de probabilité d'occurrences.

3.1. Génération des données de présence pour chaque espèce

Après avoir été validées, les données de présence ont dû être manipulées pour pouvoir fournir aux logiciels utilisés pour chaque espèce :

- Un fichier reprenant les **coordonnées XY** où l'espèce est considérée comme **présente**.
- Un fichier reprenant les **coordonnées XY** où l'espèce n'a **pas** été **observée**.

Les deux filtres suivants ont été appliqués afin d'obtenir l'information pertinente à fournir au modèle MaxEnt :

- Filtre sur la période : seules les périodes d'enregistrement allant du 1er mai au 30 octobre ont été utilisées en vue d'exclure les données d'hiver, période pendant laquelle les chauves-souris migrent vers leur gîte d'hiver pour entamer leur hibernation.
- Filtre sur les minutes positives : seuls les enregistrements présentant un minimum de deux minutes positives ont été utilisés pour ne sélectionner que les points où les différentes espèces présentent une abondance suffisante. Ce filtre permet d'éliminer les données hasardeuses, sources de déclin de la qualité des modèles.

Les périodes de migration ont dû être prises en compte pour la Noctule de Leisler, la Noctule commune ainsi que la Pipistrelle de Nathusius afin de ne pas perturber la qualité des points de présence déjà existants. Pour ce faire, la période correspondante aux migrations de ces espèces a été retirée du jeu de donnée. Celle-ci allait du 15 août au 15 septembre.

3.2. Génération des données environnementales

Les données utilisées pour le croisement des points de présences avec des données environnementales proviennent de la couche de données vectorielle « Ecotopes » développée dans le cadre du projet LifeWatch Wallonie-Bruxelles.

Celle-ci reprend la délimitation et la caractérisation d'unités écologiquement homogènes, appelées écotopes, sur l'ensemble du territoire wallon. Cette couche caractérise chaque écotope par un pourcentage relatif aux différentes variables quantitatives biotiques et abiotiques. Ces variables sont reprises dans quatre catégories :

- Bioclimatiques : température, précipitation, etc.
- Topographiques : pente, élévation, rugosité, orientation, etc.
- Couverture du sol : 10 classes sont utilisées pour caractériser l'occupation du sol (agriculture, forêt de feuillus, de conifères, sol nu, sol herbacé, eau, etc.).
- Type de sol : type, texture, etc.

Cette couche se présente comme suit :

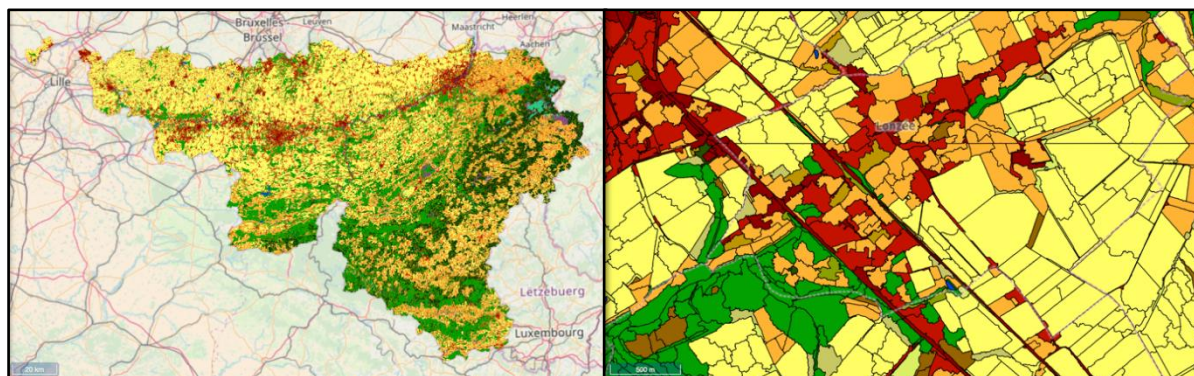


Figure 31. Représentation de la couche écotope à différentes échelles

L'intérêt de l'utilisation de la couche écotope vient de la qualité et de la quantité de l'information qu'elle est capable de fournir.

Pour cette étude, seules les variables topographiques et de couverture de sol ont été utilisées étant donné l'accent mis sur la compréhension de l'habitat qu'utilisent les chiroptères et non sur l'influence des variables climatiques. Ci-dessous, un bref descriptif de chaque variable environnementale utilisée :

- **Feuillus** : Portion de l'écotope occupée par des arbres de type feuillus,
- **Conifère** : Portion de l'écotope occupée par des arbres de type conifère,
- **Culture** : Portion de l'écotope occupée par des terres agricoles (cultures annuelles et couverture herbacée temporaire),
- **Copen** : Portion de l'écotope occupée par des brèches forestières et zones de coupe à blanc,
- **Herbacée S**: Portion de l'écotope occupée par une couverture herbacée permanente mélangée à d'autres végétaux non ligneux (landes et prairies extensives),
- **Herbacée H** : Portion de l'écotope occupée par une couverture herbacée et arbustive permanente à partir de plantes adventices forestières et de jeunes arbres (comprend les zones de coupe à blanc et les brèches forestières),
- **Eau** : Portion de l'écotope occupée par des étendues d'eau permanentes,
- **Artificiel** : Portion de l'écotope occupée par des surfaces artificielles (routes, parkings, ponts, maisons, bâtiments...),
- **Dist. Forêt** : Distance euclidienne moyenne par rapport à la forêt d'une superficie supérieure à 10 ha (les distances à l'intérieur d'un bloc forestier sont négatives),
- **Dist. Rivière** : Distance euclidienne moyenne par rapport aux cours d'eau (ne comprend pas les plans d'eau),
- **Dist. Rail** : Distance euclidienne moyenne par rapport aux rails,
- **Dist. Route** : Distance euclidienne moyenne par rapport à la route,
- **Lumière** : Intensité de la lumière nocturne interpolée au centre de l'écotope,
- **Élévation** : Élévation en mètre mesurée au centre de chaque écotope.

Pour rendre cette couche utilisable autant par le package ENMeval que dans l'interface MaxEnt, les modifications de format suivantes ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcGis :

- Génération d'un raster pour chaque variable environnementale à une résolution de 50 mètres : utilisation de l'outil « polygon to raster »,
- Transformation des rasters en format ASCII : utilisation de l'outil « raster to ASCII »,
- Réalisation d'un rasterstack sur R reprenant l'ensemble des rasters environnementaux : utilisation de la fonction « stack » du logiciel R.

3.3. Obtention des paramètres de modélisation minimisant l'AICc : ENMeval

Afin de déterminer les paramètres d'entrée pour l'obtention d'un modèle MaxEnt présentant un compromis idéal entre la complexité et la qualité d'ajustement du modèle, la fonction ENMevaluate du package ENMeval a été utilisée.

Celle-ci permet de déterminer les paramètres suivants :

- Le paramètre de régularisation β : détermine la pénalité d'ajout d'un paramètre supplémentaire,
- Les classes de fonctionnalité à utiliser : détermine la forme potentielle des courbes de réponse,
- Le nombre d'itérations : nombre minimum de boucles que le modèle doit réaliser afin de fournir une réponse suffisamment lisse.

La méthode de partition des données utilisée pour la calibration et l'évaluation des modèles a été « checkerboard2 », soit une séparation par l'application de deux niveaux de damier différents.

3.4. Exécution du modèle MaxEnt avec les paramètres adéquats

Suite à l'obtention des différents paramètres d'entrée, l'exécution du modèle MaxEnt a été réalisée à l'aide de l'interface disponible en Open Source.

Le modèle MaxEnt permettra de fournir :

- Une carte de probabilité d'occurrence,
- L'ensemble des courbes de réponse pour chaque variable environnementale,
- Un rapport statistique détaillé des résultats de la modélisation (AUC,...),
- Un test Jackknife des contributions au modèle.

4. Mise en lien avec le réseau Natura 2000

L'objectif de ce point est de pouvoir mettre en lien la localisation du parc Natura 2000 Wallon avec les cartes de prédiction des espèces dont l'état de conservation est considéré comme défavorable pour ainsi critiquer celui-ci au regard des habitats propices pour ces espèces.

4.1. Création de cartes présence/absence

Afin de réaliser les cartes de présence/absence, une valeur seuil permettant de caractériser la présence a dû être choisie. Pour cette étude, c'est la valeur de l'égalité entre la spécificité et la sensibilité correspondante à chaque espèce qui a été retenue. Ainsi, l'ensemble des cartes a été transformé en une réponse binaire de probabilité de présence.

4.2. Proportion des zones de présence contenues dans le parc Natura 2000

Pour comprendre et comparer, pour chaque espèce, la pertinence de la localisation du réseau Natura 2000 wallon, l'aire des zones de présence de chaque espèce comprise dans les zones Natura 2000 a été rapportée sur l'aire totale des zones de présence de l'espèce. Le pourcentage ainsi obtenu indique si les habitats favorables d'une espèce sont globalement bien recouverts par ce réseau de conservation.

IV. Résultats et discussion

1. Exploration des résultats de l'analyse ENMeval

L'exécution du package ENMeval pour chacune des espèces étudiées a permis d'obtenir les différents paramètres d'entrée qui minimisent la valeur du paramètre AICc à insérer dans la modélisation MaxEnt. Ces résultats présentent donc les caractéristiques des modèles pour lesquels l'équilibre entre la qualité de l'ajustement du modèle et la complexité de celui-ci est optimal.

Tableau 10. Résultats obtenus à l'aide du package ENMeval

Espèces	Nb Points de présence	FC	RM	AUC train	AUC test	AUC diff	ORmin	OR 10
<i>B. barbastellus</i>	26	L	5	0,947	0,8729	0,0918	0,1429	0,2143
<i>E. serotinus</i>	113	LQ	3	0,8067	0,7446	0,0628	0,0268	0,1773
<i>M. myotis</i>	43	LQ	4	0,8812	0,8567	0,0339	0,0167	0,1611
<i>M. nattereri</i>	110	LQH	4	0,8621	0,8045	0,0607	0,0289	0,1734
<i>N. leisleri</i>	62	LQ	4	0,8614	0,7996	0,0645	0,0583	0,2524
<i>N. noctula</i>	42	LQH	6	0,919	0,8762	0,0613	0,0714	0,1576
<i>P. nathusii</i>	224	LQH	5	0,8001	0,7624	0,0459	0,0452	0,1455
<i>P. auritus</i>	15	L	4	0,7123	0,6423	0,1773	0,3958	0,4583
<i>P. austriacus</i>	47	LQ	3	0,9011	0,8483	0,0666	0,0990	0,2140
<i>R. ferrumequinum</i>	44	LQ	3	0,92	0,8704	0,0552	0,1170	0,1777
<i>R. hipposideros</i>	50	LQH	4	0,9696	0,9438	0,0320	0,0548	0,1360

Cet équilibre a été trouvé parmi les combinaisons des trois types de courbes de réponse (Linéaire, Linéaire-Quadratique, Linéaire-Quadratique-Hinge) ainsi que les huit valeurs du paramètre de régularisation (de 3 à 7). Donnant plus de poids aux modèles moins complexes, le package ENMeval a systématiquement attribué une valeur du paramètre β sensiblement plus élevée que la valeur par défaut de la fonction MaxEnt (1). Ainsi l'utilisation du package ENMeval aurait significativement simplifié les modèles.

Les valeurs du paramètre de l'aire sous la courbe obtenues suite à l'évaluation du modèle (AUC_{test}) reflètent la capacité du modèle à discriminer les conditions présentes aux points de présence des conditions d'arrière-plan. Ce paramètre permet de définir cinq classes de qualité de modèle (Araújo et Guisan 2006):

- De 0,5 à 0,6: Discrimination insuffisante,
- De 0,6 à 0,7: Discrimination pauvre,
- De 0,7 à 0,8: Discrimination moyenne,

- De 0,8 à 0,9: Bonne discrimination,
- De 0,9 à 1 : Discrimination excellente.

Le tableau ci-dessus nous permet donc de conclure assez facilement qu'à l'exception de la modélisation exécutée pour l'espèce *Plecotus auritus*, la qualité des modèles réalisés peut être considérée comme allant de suffisante à excellente. La trop faible valeur obtenue pour l'espèce *Plecotus auritus* peut être expliquée, d'une part, par la difficulté d'identifier celle-ci sur base de cris d'écholocation de façon fiable et d'autre part, par la faible détectabilité de cette espèce. En effet, les cris émis par celle-ci présentent, pour les milieux fermés, une faible intensité (Barataud 2012b) ainsi qu'une forte similitude avec l'espèce *Plecotus austriacus*. De plus, pour réaliser des modèles de qualité, MaxEnt requiert un minimum de points de présence (plus de 15) afin de ne pas suradapter les modèles (Papeş et Gaubert 2007).

Les deux taux d'omission présentés dans ce tableau correspondent à la portion de présence correctement assignée et permettent ainsi de comprendre si les modèles produits présentent un caractère surfait. À l'exception de l'Oreillard roux, les taux d'omission OR_{min} et OR_{10} sont très faibles, ce qui confirme la performance des modèles produits pour ces espèces.

Il n'est pas étonnant d'obtenir de plus faibles AUC_{test} pour la Séroline commune, la Noctule de Leisler ainsi que pour la Pipistrelle de Nathusius. En effet, les espèces plus généralistes présentent des caractéristiques environnementales moins spécifiques. Il est dès lors plus complexe de discriminer les conditions environnementales entre les points de présence et les points d'arrière-plan ce qui diminue directement les valeurs d'AUC.

2. Impact des variables environnementales sur la distribution

2.1. Exploration de la sensibilité générale moyenne aux variables

Le graphique suivant présente la moyenne de la contribution relative des variables environnementales aux modèles faite sur l'ensemble des espèces étudiées. Il est bien sûr important de comprendre que ce graphique ne reflète en aucun cas l'impact positif ou négatif

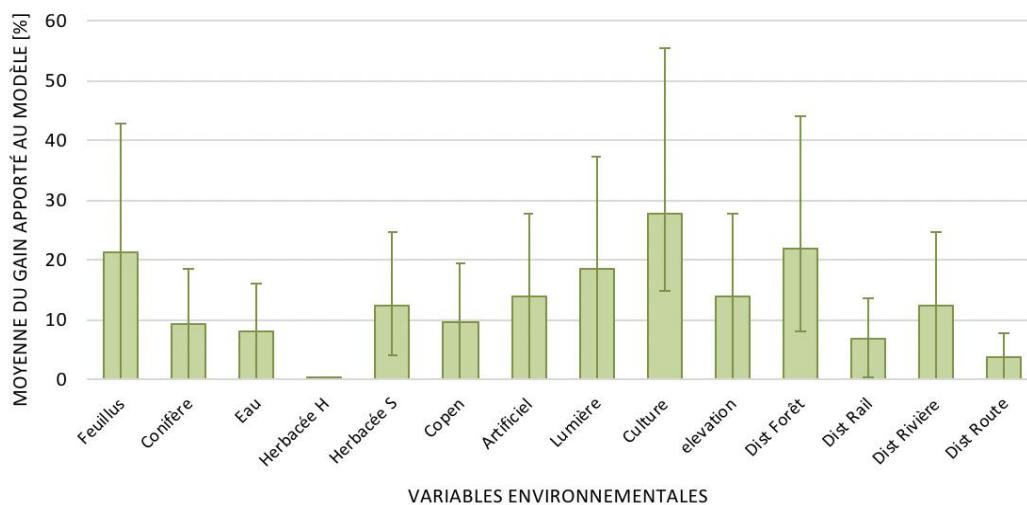


Figure 32. Moyenne des gains apportés aux modèles sur toutes les espèces étudiées

qu'une variable environnementale peut avoir sur la distribution de ces espèces, mais plutôt la sensibilité moyenne aux différentes variables.

Ainsi, en moyenne, la modélisation de la distribution des chiroptères sera régie principalement par la portion de terres cultivées, l'intensité lumineuse nocturne, la portion de prairies extensives, la distance euclidienne aux voies de chemin de fer, la portion de forêt de feuillus et l'élévation. Aucune conclusion n'est a priori faisable sur le rôle qu'ont ces facteurs sur l'une ou l'autre espèce. En effet, les écarts-types représentés pour chaque facteur rendent compte de la diversité de sensibilité rencontrée pour l'étude de ces espèces. Chaque modélisation de distribution présentera donc une importance propre accordée aux différentes variables. Ceci permet de supposer a priori que chaque espèce de chiroptère exploitera un habitat qui lui est propre, en adéquation avec sa biologie.

2.2. Impact des facteurs environnementaux sur la distribution de chaque espèce de chiroptère

Le tableau synthétique suivant représente l'impact, positif, négatif ou neutre, que chacune des variables environnementales induit lors de la modélisation de distribution des espèces. Le caractère positif a été déduit par l'intermédiaire de l'analyse des courbes de réponse marginales (courbes obtenues par création d'un modèle ne contenant qu'une variable). Ainsi, si quand la valeur de la variable augmente, la probabilité d'occurrence augmente, cette variable sera considérée comme ayant un impact positif (+) sur la distribution de l'espèce étudiée. A contrario si cette valeur diminue avec l'accroissement de la valeur de la variable, l'impact sera considéré comme négatif (-). Si la valeur de la probabilité n'est pas modifiée, l'impact sera considéré comme nul (0). Enfin, si des valeurs plus élevées de probabilité d'occurrence sont rencontrées pour des valeurs intermédiaires de variables environnementales, l'impact sera considéré comme non extrême (∩).

Tableau 11. Impact des facteurs environnementaux sur la distribution de chaque espèce de chiroptère. Positif (+). Négatif (-). Neutre (0). Non extrême (∩)

Espèce	Couverture de l'habitat naturel						Variables anthropiques			Topographie	Distance aux éléments du paysage			
	Feuillus	Conifères	Eau	Tourbière	Prairie extensive	Coupe à blanc	Artificiel	Light	Culture	Elev	Dist forêt	Dist Rail	Dist River	Dist route
<i>B. barbastella</i>	+	0	0	0	0	0	-	-	-	0	-	0	0	0
<i>E. serotinus</i>	∩	-	0	0	+	0	0	0	-	∩	-	-	-	-
<i>M. myotis</i>	+	+	0	0	+	+	-	-	-	+	-	0	-	+
<i>M. nattereri</i>	+	∩	0	0	+	+	-	-	-	+	-	0	-	0
<i>N. nyclei</i>	+	0	+	0	+	+	0	0	-	0	-	0	-	0
<i>N. noctula</i>	0	-	+	0	0	0	+	+	0	-	+	-	-	-
<i>P. nathusii</i>	∩	-	+	0	+	+	0	0	-	0	0	-	-	0
<i>P. austriacus</i>	0	0	0	0	+	0	0	0	-	0	-	-	0	0
<i>R. ferruquinum</i>	+	-	0	0	∩	0	0	-	-	∩	-	-	0	0
<i>R. hipposediros</i>	+	-	0	0	∩	0	-	-	-	∩	-	-	0	0

2.2.1. Couverture et structure de l'habitat naturel

Le tableau ci-dessus suggère que la présence d'arbres de type feuillus, de prairies extensives ainsi que les zones de coupe à blanc sont, de façon générale, des facteurs clés dans la distribution des espèces de chauves-souris. En effet, ces milieux naturels présentent pour les chauves-souris une diversité structurale intéressante qui leur permet d'exploiter et de partager les ressources qui y sont présentes sans pour autant rentrer en compétition les unes par rapport aux autres. De plus, ces milieux fournissent aux chauves-souris une quantité considérable d'insectes, constituant majeur de leur régime alimentaire. Quant à elle, la présence de points d'eau n'est, pour la plupart des espèces, étonnamment pas un facteur déterminant dans la recherche de terrains de chasse. Finalement, les zones de tourbes ne semblent pas avoir d'impact significatif sur la distribution de ces espèces.

L'analyse des relations existantes entre les chauves-souris et le type d'arbre permet de comprendre que la plupart de celles-ci ne choisissent pas les arbres de types résineux pour leur terrain de chasse marquant de plus une tendance à les éviter. En effet, les forêts de feuillus présentent une communauté d'insectes plus diversifiée (Kennedy et Southwood 1984), comprenant beaucoup de papillons de nuit, alors que les conifères sont corrélés négativement avec la richesse en insecte (Russo et Jones 2003). En effet, cette variable provoque un impact négatif sur l'adéquation de l'habitat. Une autre grande différence entre ces deux types de forêts réside dans la diversité des sites de chasse. Effectivement, les forêts de feuillus présentent de nombreux sous-étages parmi lesquels les différentes espèces de chauves-souris se partagent les ressources alimentaires. A contrario, les plantations monospécifiques de résineux retrouvées en Belgique présentent un environnement globalement homogène, pauvre en diversité structurelle.

2.2.2. Variables anthropiques

L'analyse de l'effet induit par les variables anthropiques sur la distribution des espèces permet de mettre en évidence leur effet globalement négatif. L'intensité lumineuse semble, pour beaucoup d'espèces, diminuer la probabilité de rencontrer celles-ci en période de chasse. Cette conclusion, aussi observée par Azam et al. (2016), peut s'expliquer par la vulnérabilité accrue des chauves-souris aux prédateurs malgré la présence plus importante d'insectes. Cependant, il est reconnu que les espèces volant rapidement et effectuant de longs trajets autour de leur gîte d'été à la recherche de nourriture ont l'habitude d'exploiter la densité plus importante de biomasse présente en dessous des lampadaires (Avila-Flores et Fenton 2005). Comme l'intensité lumineuse est fortement corrélée à la présence des zones urbaines, il est normal que les réponses de chaque espèce à cette dernière variable soient vraisemblablement fort similaires.

La réponse presque systématiquement négative de la présence de zones de culture à la probabilité d'occurrence met en évidence la préférence des chiroptères pour des milieux présentant des structures diverses et non homogènes. Une autre explication pourrait se cacher derrière l'utilisation de produits phytosanitaires qui impactent directement les populations d'insectes faisant de ces types habitats des zones d'exclusion de terrain de chasse.

2.2.3. Variable topographique

Le rôle de l'élévation dans ces différents modèles semble être plus spécifique à chaque espèce et ne pas avoir de tendance uniforme. La discussion de cette variable se fera donc uniquement espèce par espèce afin de mieux comprendre son rôle en fonction des écologies intrinsèques de chaque espèce.

2.2.4. La distance aux différents éléments du paysage

La distance par rapport à la forêt, à la rivière et aux voies de chemin de fer semble globalement avoir, pour l'ensemble des espèces, un impact négatif sur la probabilité d'occurrence. En effet, Downs et Racey (2006) expliquent dans leur analyse que ces différents éléments procurent aux chiroptères des voies de communication indispensables à leurs déplacements. Qu'il s'agisse de la lisière des bois, des abords des rivières ou de la végétation encadrant les voies de chemin de fer, chacun de ces éléments du paysage procure des corridors naturels qui permettent aux chauves-souris de s'orienter, de s'abriter et de se nourrir. De plus, la présence de rivière est source d'une importante diversité d'insectes. Cet environnement permet aux chiroptères de profiter de cette manne de différentes façons ; certains volent à la surface de l'eau tandis que d'autres exploitent les berges. Il est donc normal que ces éléments favorisent la probabilité de rencontrer ces espèces.

L'effet de la distance à la route est un facteur plus discutable sur la probabilité de présence. En effet, la plupart des espèces ne semblent pas sensibles à cette variable. Pourtant, des effets positifs comme négatifs ressortent dans la littérature existante traitant ce sujet. Un effet positif de la présence de routes pourrait venir des lisières qui bordent celles-ci et qui procurent aux chauves-souris un corridor écologique pratique pour la navigation entre les différents terrains de chasse (Russo et Jones 2003). De plus, l'éclairage et la chaleur de l'asphalte peuvent attirer ces mammifères (Avila-Flores et Fenton 2005). Cependant, ces habitats présentent de même plusieurs effets négatifs comme le risque de collision avec les véhicules (Avila-Flores et Fenton 2005) ainsi que le bruit produit par ceux-ci qui affecte les espèces chassant en écoutant les bruissements des insectes (Schaub, Ostwald et Siemers 2008). Ces relations fort complexes existantes entre la présence de route et l'adéquation des habitats aux zones de chasse rendent sans doute difficile la qualification d'une tendance uniforme pour ces espèces.

2.2.5. Conclusion préliminaire

Cette première approche préliminaire aura permis de comprendre les grandes tendances qui se dessinent derrière ces modèles, cependant, chacune de ces variables environnementales doit être discutée spécifiquement et être mise en parallèle avec le gain qu'elle apporte au modèle afin de mieux comprendre les relations qui régissent l'aire de répartition d'une espèce particulière.

3. Analyse spécifique

Le point suivant vise à analyser les cartes de prédiction de chaque espèce en se basant à la fois sur l'importance qu'apporte chaque variable environnementale au modèle et sur les courbes de réponse de chacune de ces variables. Ainsi, pour chaque espèce les différents résultats seront présentés et discutés de la façon suivante:

- Carte de prédiction : probabilité d'occurrence obtenue suite à la modélisation MaxEnt allant de 0 à 1 accordée à chaque pixel de la Région wallonne. Une probabilité d'occurrence proche de 1 sera représentée dans les tons rouges. A contrario, une probabilité proche de zéro sera représentée dans les tons bleus.
- Analyse des courbes de réponse marginales (courbes obtenues par la création d'un modèle n'utilisant que la variable concernée permettant d'occulter l'effet provenant des autres variables). Ces courbes sont présentées en annexe.
- Tableau de résultat du test Jackknife : Pour chaque variable, le gain obtenu lorsque celle-ci est utilisée isolément sera représenté en orange et le gain obtenu en omettant cette même variable sera représenté en vert. Ceci permet de faire ressortir les caractéristiques de l'habitat ayant un poids important dans la construction de chaque modèle. Deux limites de valeurs significatives ont été ajoutées pour rendre ce graphique plus lisible.

3.1. La Barbastelle d'Europe (*Barbastellus barbastella*)

3.1.1. Carte de probabilité d'occurrence

L'aire de répartition de cette espèce semble couvrir principalement les zones comprises dans la Fagne-Famenne, dans l'ouest de l'Ardenne centrale ainsi que dans la Lorraine qui présentent toutes trois de nombreux patchs forestiers de type feuillu à l'écart des zones anthropiques fortement éclairées.

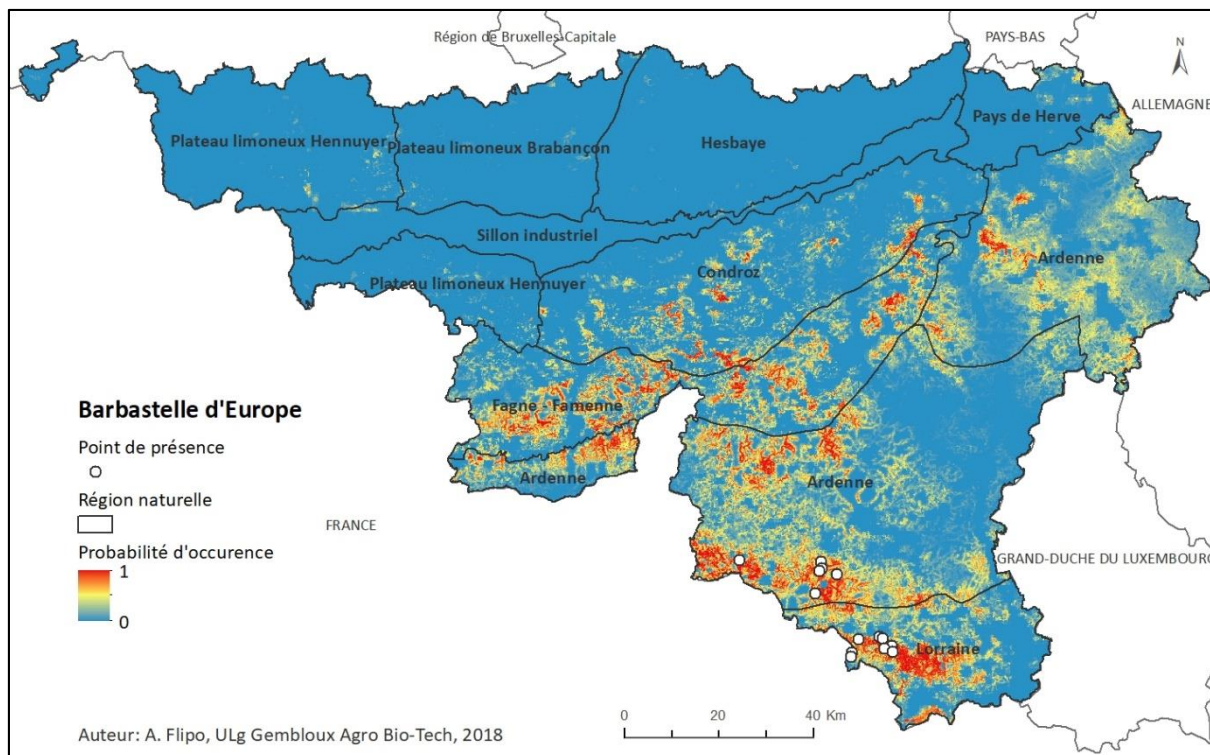


Figure 33. Distribution spatiale modélisée pour la Barbastelle d'Europe

3.1.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

L'analyse du test Jackknife permet de comprendre que la portion de zones artificielles, de cultures, de forêts de feuillus ainsi que la distance à la forêt et l'intensité lumineuse jouent un

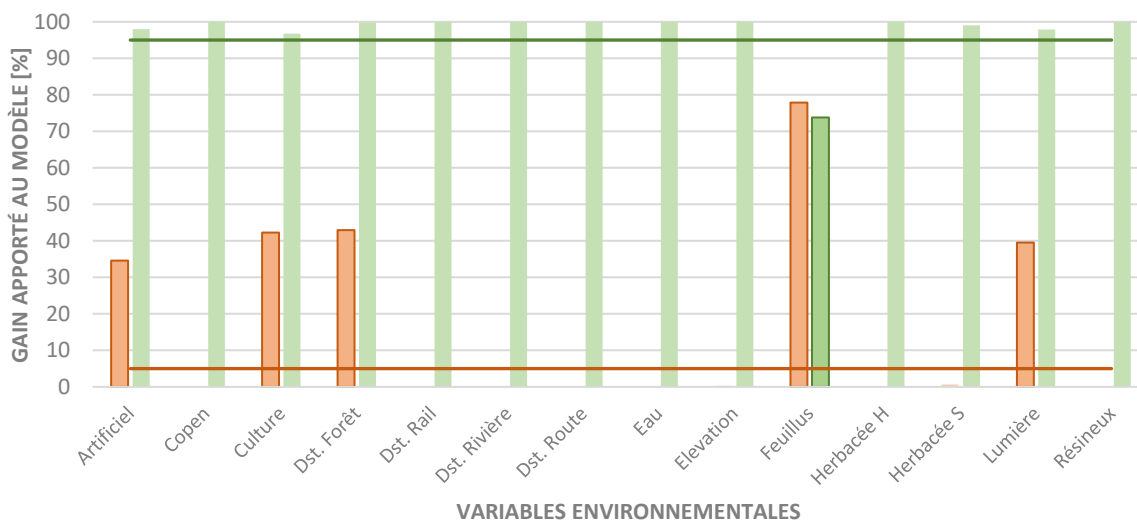


Figure 34. Résultats du test Jackknife pour la Barbastelle d'Europe

rôle prépondérant dans la modélisation de l'aire de répartition de cette espèce en apportant chacune isolément une grande part de l'information utile à la construction du modèle. La portion de forêt semble apporter l'information la moins recoupée par les autres variables. L'adéquation des habitats de chasse de la Barbastelle sera donc vraisemblablement régie principalement dans ce modèle par la portion d'arbres de type feuillus.

L'analyse des courbes de réponse permet quant à elle de déduire l'effet positif de la portion de forêts de feuillus sur la probabilité d'occurrence de l'espèce ainsi qu'un effet négatif allant de pair avec l'augmentation des valeurs des quatre autres variables citées plus haut.

3.1.3. Discussion

Cette espèce semble donc, en Belgique, liée aux grands massifs forestiers de type feuillu, chassant dans les habitats très structurés. L'exclusion bien marquée des zones agricoles vient sans doute du manque de diversité structurale dont l'espèce a besoin. L'effet négatif de l'intensité lumineuse pourrait expliquer la rareté de cette espèce en Belgique étant un des pays les plus éclairés d'Europe. Cependant, Siervo (1999) suggère que l'aire de répartition de la Barbastelle d'Europe ne serait pas dictée par une sélection d'habitats particuliers, mais plutôt régie par son régime alimentaire, la contraignant à ne chasser que dans les milieux lui procurant ces lépidoptères. La faible influence qu'ont la présence de l'eau et la distance par rapport à la rivière sur la distribution de la Barbastelle est cependant étonnante sachant que ces habitats présentent de nombreux lépidoptères. Cela viendrait sans doute de l'effort d'échantillonnage concentré dans les zones forestières. La relation existante entre l'eau et sa distribution aura donc été cachée par ce dernier effet.

La mise en lien de cette carte avec la localisation des données de présence permet de soulever quelques questionnements ; l'exclusion des habitats présents en Fagne-Famenne viendrait-elle de conditions climatiques non propices ? Ces mêmes habitats présentent-ils les conditions alimentaires favorables à la présence de cette espèce de chauve-souris ?

3.2. La Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)

3.2.1. Carte de probabilité d'occurrence

La Sérotine commune semble bien plus répandue en Wallonie étant fort présente non seulement en Fagne-Famenne, en Lorraine, mais aussi le long du Sillon industriel ainsi que dans le centre du Condroz.

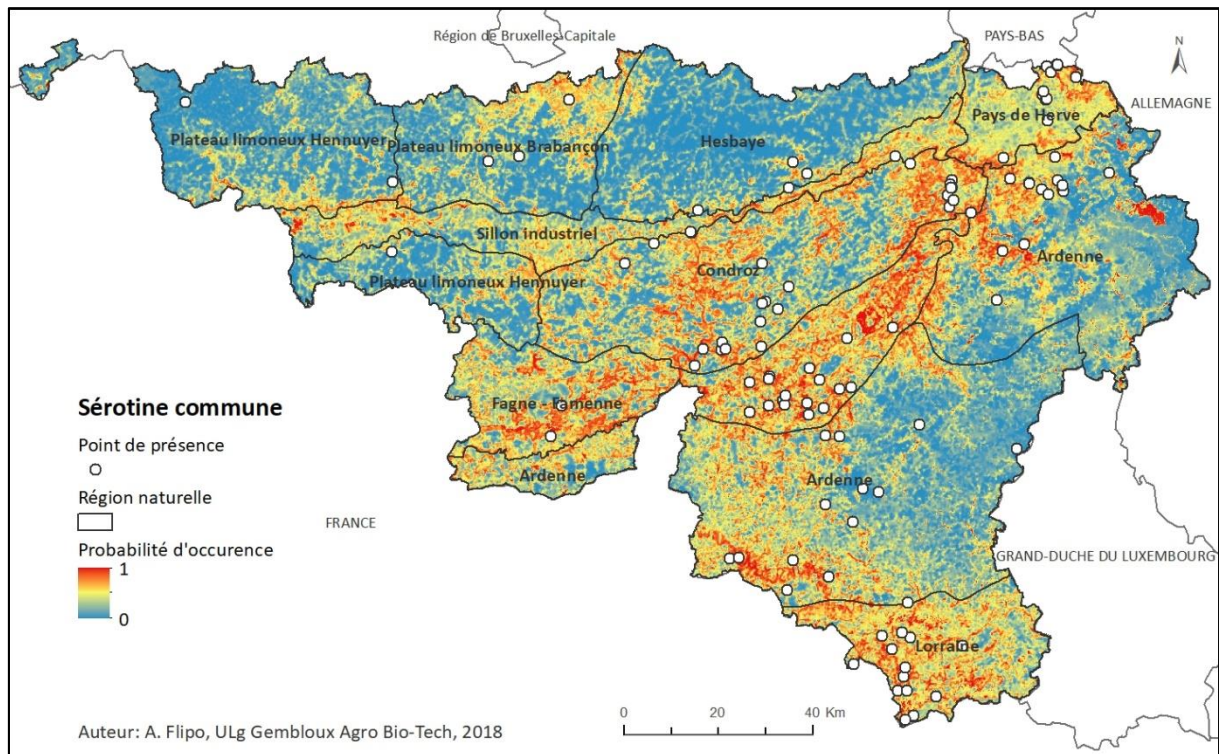


Figure 35. Distribution spatiale modélisée pour la Sérotine commune

3.2.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

Le test Jackknife permet de faire ressortir quatre variables ayant un rôle visiblement important dans la construction de ce modèle ; la portion de terres cultivées, de forêts de feuillus, la distance à la forêt ainsi que l'élévation.

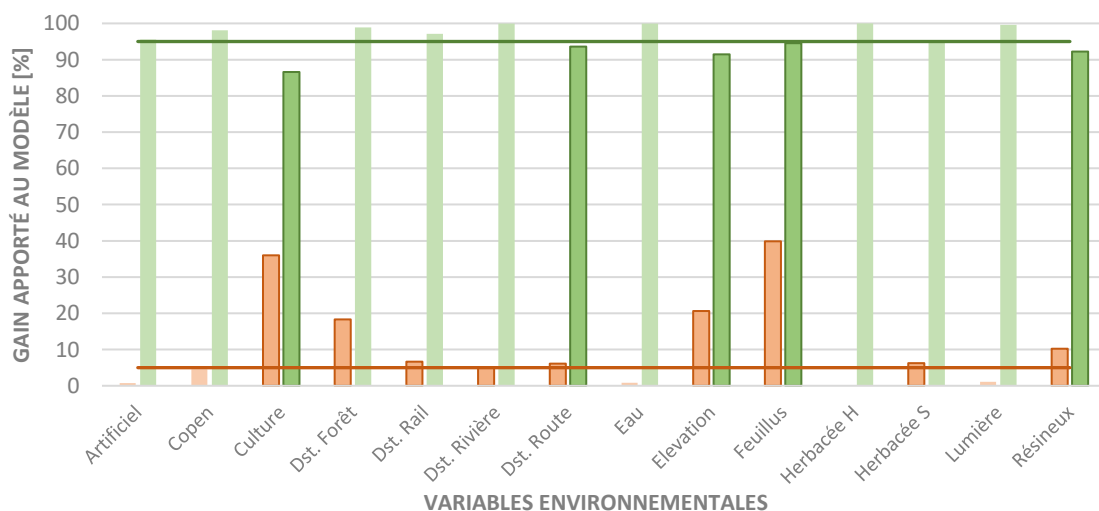


Figure 36. Résultats du test Jackknife pour la Sérotine commune

Les courbes de réponse permettent de visualiser l'effet négatif qu'ont la portion de terres cultivées, la distance à la forêt, à la rivière, aux rails ainsi qu'à la route sur le modèle. De plus, la forme particulière qu'ont les variables « Feuillus », « Résineux », « Copen » et « élévation » permettent de comprendre que la probabilité de retrouver cette espèce en Wallonie sera plus élevée pour des valeurs intermédiaires de ces variables. La portion de prairies extensives aura quant à elle un effet positif sur la distribution de cette espèce.

3.2.3. Discussion

La Sérotine commune semble donc en Belgique bien moins impactée par la présence de zones anthropiques n'étant influencée ni par la portion de zones artificielles ni par l'intensité lumineuse. En effet, son régime alimentaire, constitué notamment d'insectes attirés par la lumière l'amène à venir chasser en dessous des lampadaires (Dietz 2009). L'analyse des variables relatives à la portion de forêts de feuillus et de résineux permet de comprendre que cette espèce semble préférer les milieux relativement ouverts dans lesquels une certaine diversité structurale est présente. Ainsi, les bordures des lisières, des cours d'eau ou encore les rangées d'arbres présentes aux abords des routes ou des voies de chemin de fer semblent particulièrement importants pour cette espèce chassant dans un rayon de cinq kilomètres autour de son gîte d'été. Cette analyse semble appuyer l'hypothèse développée par Verboom et Huitema (1997) selon laquelle les éléments linéaires présents dans le paysage (haies, lisières, rivières...) jouent un rôle primordial dans la distribution spatiale de cette espèce.

3.3. Le Grand murin (*Myotis myotis*)

3.3.1. Carte de probabilité d'occurrence

La carte suivante permet de comprendre la relation importante que le Grand murin doit avoir avec les grands massifs forestiers des Ardennes, mais aussi avec les habitats entourant ceux-ci. La limite supérieure de la distribution de cette espèce ne semble pas dépasser la frontière du Condroz. Les lignes d'exclusions qui traversent le Condroz, la Fagne-Famenne et les Ardennes permettent de deviner le réseau routier qui se dessine à travers les paysages.

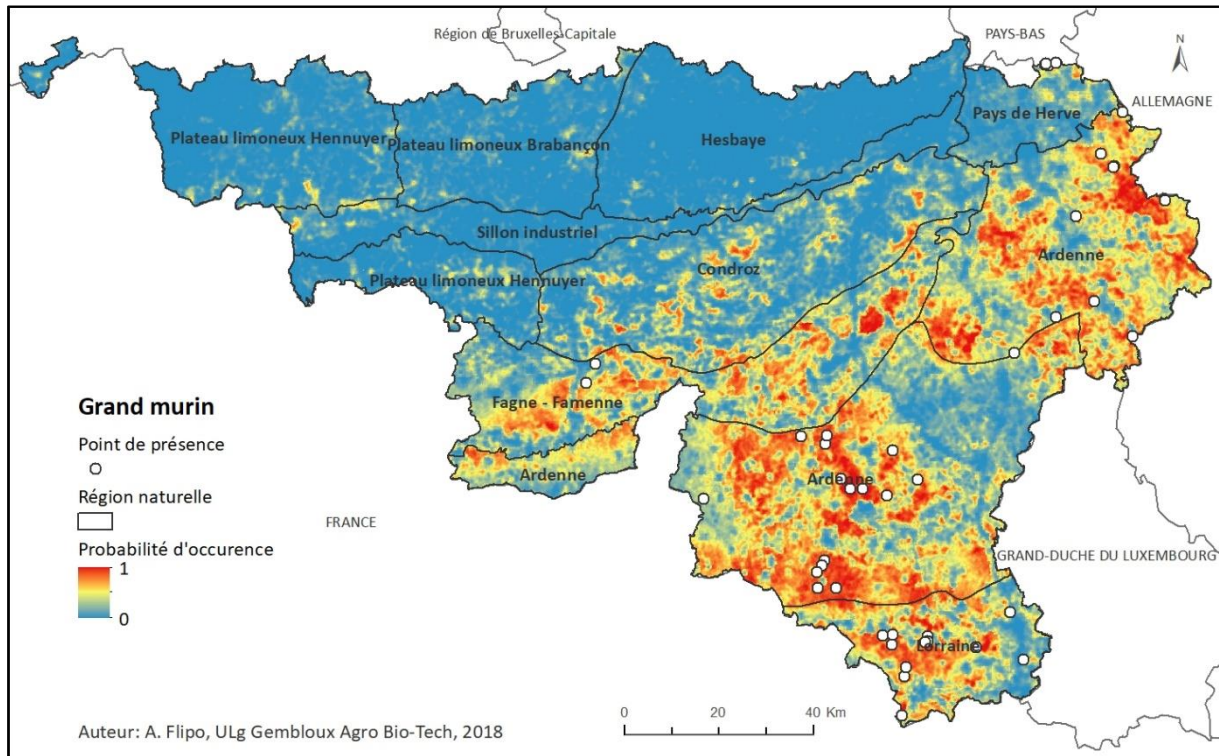


Figure 37. Distribution spatiale modélisée pour le Grand murin

3.3.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

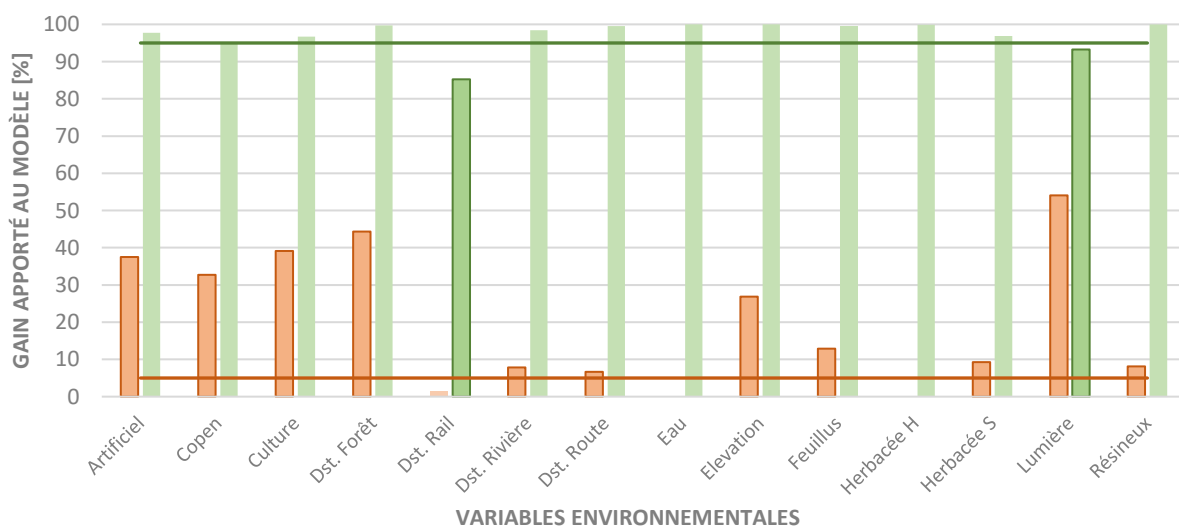


Figure 38. Résultats du test Jackknife pour le Grand murin

Lors de cette modélisation, seules deux variables environnementales n'ont pas apporté de gain significatif à la construction de ce modèle, la distance aux voies de chemin de fer et la portion de zones de tourbe. L'ensemble des autres variables prises isolément apporte une quantité d'information significative et plus particulièrement la portion de zones artificielles, de brèches forestières, de culture ainsi que la distance à la forêt et l'intensité lumineuse. Les deux variables apportant l'information la plus originale sont la distance aux voies de chemin de fer ainsi que l'intensité lumineuse. Cette dernière variable environnementale semble donc jouer un rôle important dans la distribution spatiale de cette espèce.

Les courbes de réponse correspondantes à ce modèle permettent de comprendre que quand la portion de forêts de feuillus, de résineux, de brèches forestières, l'élévation ou encore la distance à la route augmentent, la probabilité d'occurrence sera plus élevée. A contrario, les variables « Culture », « Artificiel », « Lumière », « Dist. Forêt », « Dist. Riv » et « Dist. Rail » semblent avoir un impact négatif sur la distribution spatiale du Grand murin. Quant à elle, la variable « Herbacée S » présente des valeurs élevées de probabilité d'occurrence pour des valeurs intermédiaires de celle-ci.

3.3.3. Discussion

Il serait a priori facile de déduire que cette espèce est fortement lucifuge, mais le fait que cette espèce exclue de façon marquée les zones éclairées et anthropiques viendrait vraisemblablement de sa sensibilité aux bruits comme ont pu le conclure Schaub, Ostwald et Siemers (2008). Effectivement, le genre *Myotis* caractérise des espèces chassant en écoutant le bruit que font les proies qui les entourent. Ainsi, ces chauves-souris éviteront les zones présentant un bruit de fond particulièrement fort. Le Grand murin chasse ses proies au sol et privilégiera donc les forêts dans lesquelles la végétation au sol est peu dense et facilement accessible. Il n'est pas non plus étonnant que les brèches forestières favorisent sa présence. En effet, ce type d'habitat procure une zone de chasse idéale pour cette espèce. Les forêts de types résineux semblent pour cette espèce de bons candidats pour la sélection d'habitats de chasse contrairement aux espèces présentées plus haut.

3.4. Le Murin de Natterer (*Myotis nattereri*)

3.4.1. Carte de probabilité d'occurrence

Globalement, la carte de probabilité réalisée pour le Murin de Natterer semble suivre des tendances similaires au Grand Murin tout en ayant a priori une plus grande flexibilité aux différentes variables environnementales. En effet, les zones de haute probabilité d'occurrence semblent être moins localisées et plus dispersées. L'analyse du test Jackknife et des courbes de réponse permettront de mettre en évidence les différences présentes.

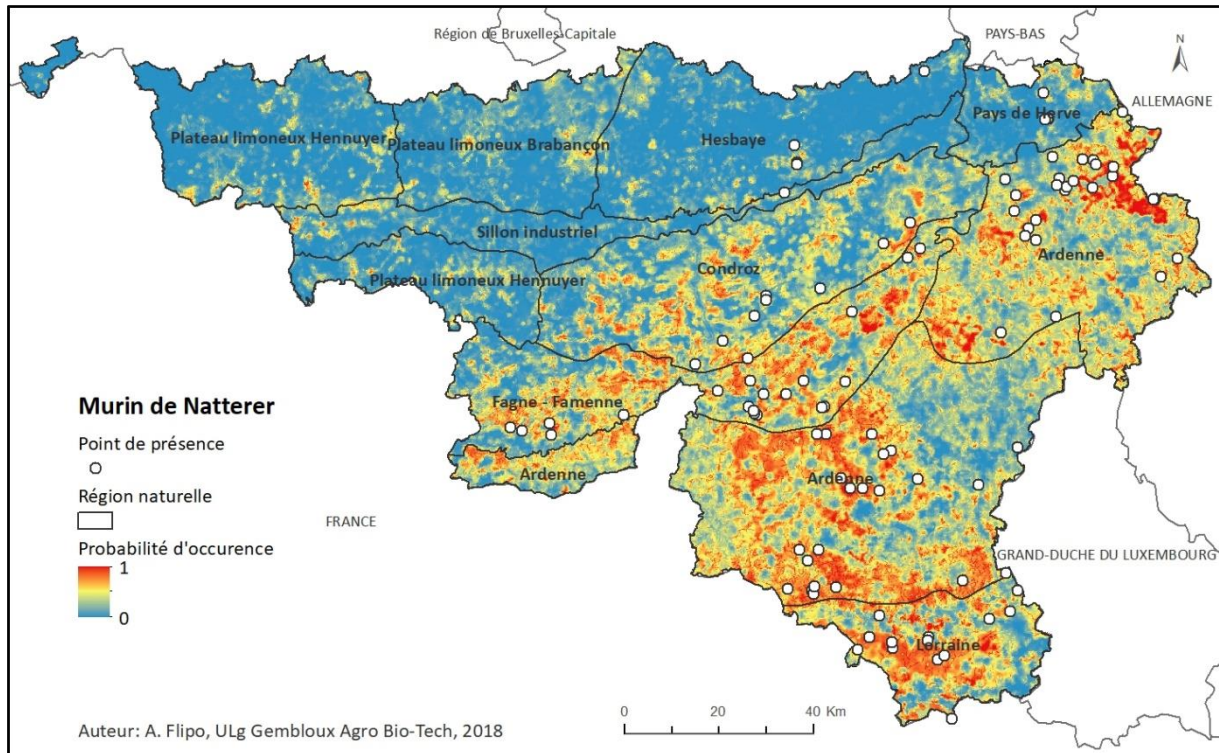


Figure 39. Distribution spatiale modélisée pour le Murin de Natterer

3.4.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

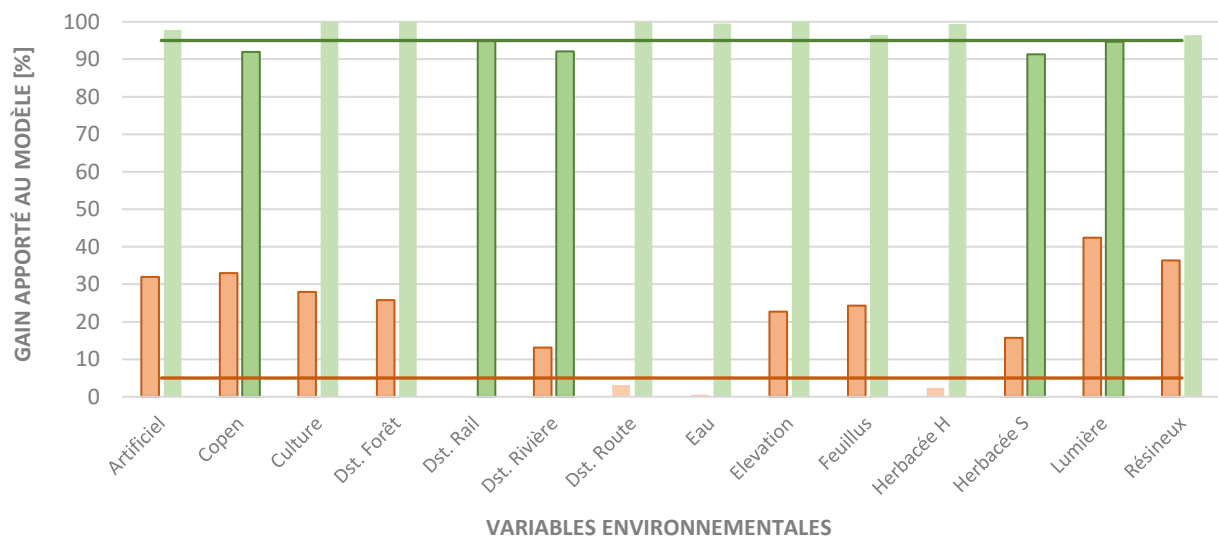


Figure 40. Résultats du test Jackknife pour le Murin de Natterer

Pour cette modélisation, la quasi-totalité des variables prises isolément semble présenter une contribution non négligeable à la construction de ce modèle à l'exception de la distance à la route, aux voies de chemin de fer, à l'eau et à la portion de zones de tourbes. Les courbes vertes claires indiquent que la portion de zones de coupe à blanc, de prairies extensives, la distance aux voies de chemin de fer et à la rivière ainsi que l'intensité lumineuse apportent de façon significative de l'information non comprise dans les autres variables.

Tout comme le Grand murin, la portion de forêts de feuillus, de résineux, de brèches forestières, la distance à la route et l'élévation présentent une influence positive à la probabilité d'occurrence. Pour cette espèce, la portion de prairies extensives semble de même avoir un impact positif. La présence de cultures, de zones artificielles, l'intensité lumineuse, la distance à la forêt et à la rivière semble quant à elles présenter une réponse négative à la probabilité de présence. Cette espèce présente donc globalement des réponses fort similaires au Grand murin

3.4.3. Discussion

La relation que le Murin de Natterer entretient avec la portion de zones artificielles, l'intensité lumineuse et la distance à la route viendrait de la même explication que le Grand murin. À savoir que lui aussi serait affecté par un bruit de fond l'empêchant de repérer ses proies à l'audition.

3.5. La Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)

3.5.1. Carte de probabilité d'occurrence

Globalement, l'aire de répartition de la Noctule de Leisler semble couvrir une grande partie de la Wallonie à l'exception des zones de grandes cultures (La Hesbaye, le plateau limoneux Hennuyer et Brabançon) ainsi que l'est des Ardennes. Les grands cours d'eau ressortent considérablement laissant imaginer une relation bien présente entre ceux-ci et la Noctule de Leisler.

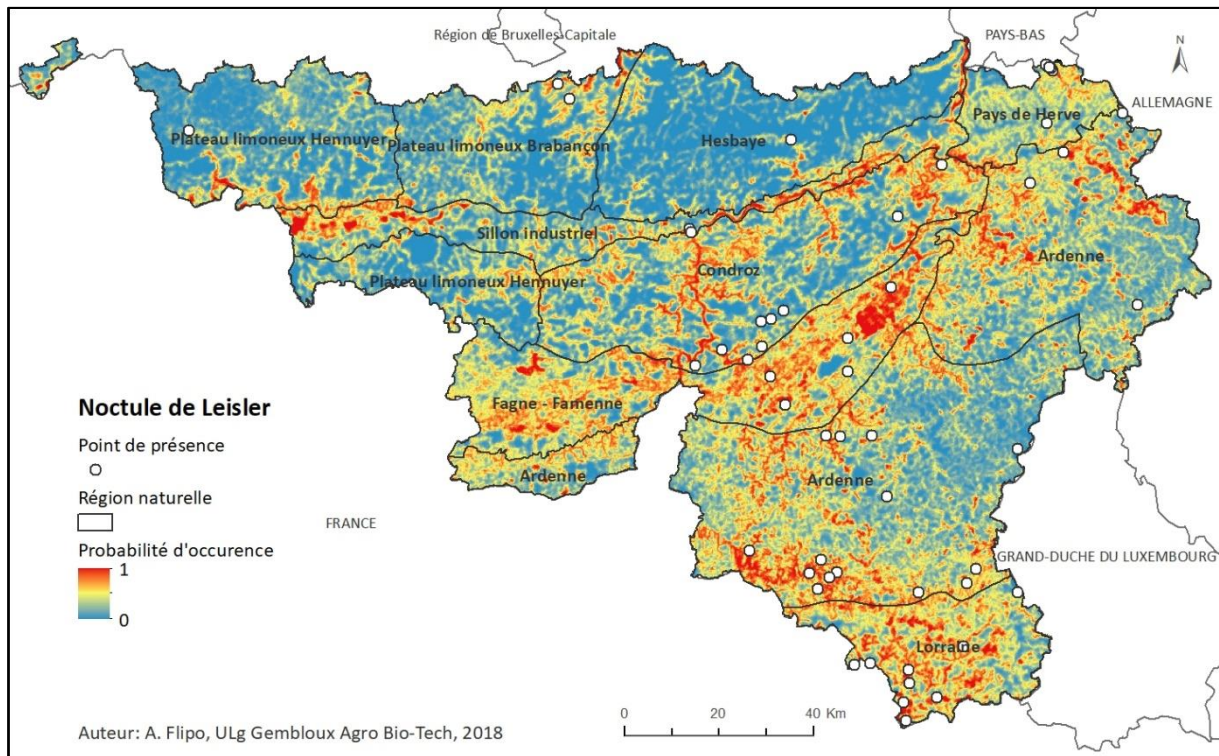


Figure 41. Distribution spatiale modélisée pour la Noctule de Leisler

3.5.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

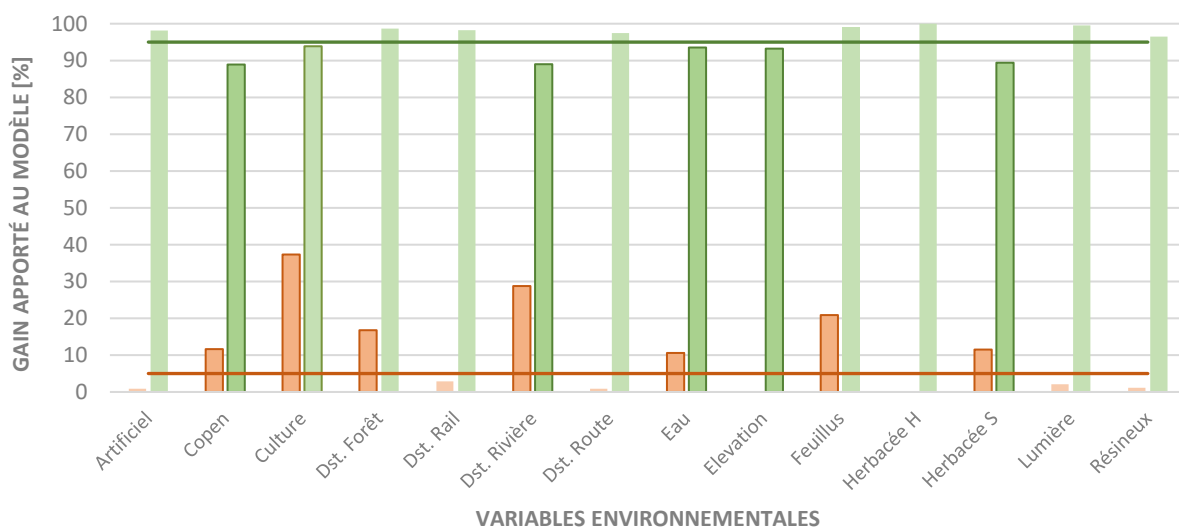


Figure 42. Résultats du test Jackknife pour la Noctule de Leisler

Le test Jackknife permet de faire ressortir sept variables environnementales qui prises isolément apportent un poids considérable dans la construction de ce modèle ; la portion de terres cultivées, d'arbre de type feuillu, de brèches forestières, d'eau, de prairies extensives ainsi que la distance à la rivière et à la forêt. La distance à la rivière contient de plus l'information la moins recoupée par les autres variables. Cette variable semble donc primordiale pour évaluer la distribution spatiale de la Noctule de Leisler.

L'analyse des courbes de réponse permettent de déduire l'effet positif de l'eau, de la portion d'arbres de type feuillus, des brèches forestières et de prairies extensives ainsi que l'effet négatif qu'on la présence de cultures, la distance à la route, à la forêt, à la rivière et aux rails.

3.5.3. Discussion

Cette espèce semble donc en Belgique peu impactée par la présence de zones anthropiques, ni par la présence de lumière, mais plutôt par les étendues de grandes cultures. La courbe de réponse de la distance à la rivière explique la propension de la Noctule de Leisler à se répartir aux abords des grands cours d'eau. La courbe moins abrupte de la distance à la forêt ainsi que la courbe de la portion d'arbre de type feuillu permettent de comprendre que cette espèce préférera les zones boisées tout en sachant chasser dans des zones moins denses. L'importance de la rivière, des rails et des routes peut s'expliquer par le fait que cette espèce chasse dans un rayon de 17 kilomètres autour de son gîte et utiliserait donc ces trois éléments pour se déplacer d'un terrain de chasse à un autre. Cette analyse recoupe admirablement bien les conclusions tirées par Waters, Jones et Furlong (1999) sur les relations existantes entre cette espèce et les types d'habitats qui l'entourent.

3.6. La Noctule commune (*Nyctalus noctula*)

3.6.1. Carte de probabilité d'occurrence

La carte de prédiction réalisée pour la Noctule commune nous indique que cette espèce semble bien plus présente dans le nord de la Wallonie et visiblement fortement liée à la présence d'eau. En effet, les grands cours d'eau ressortent admirablement bien. L'analyse des résultats de cette modélisation nous permettra de fournir un regard critique sur ce modèle.

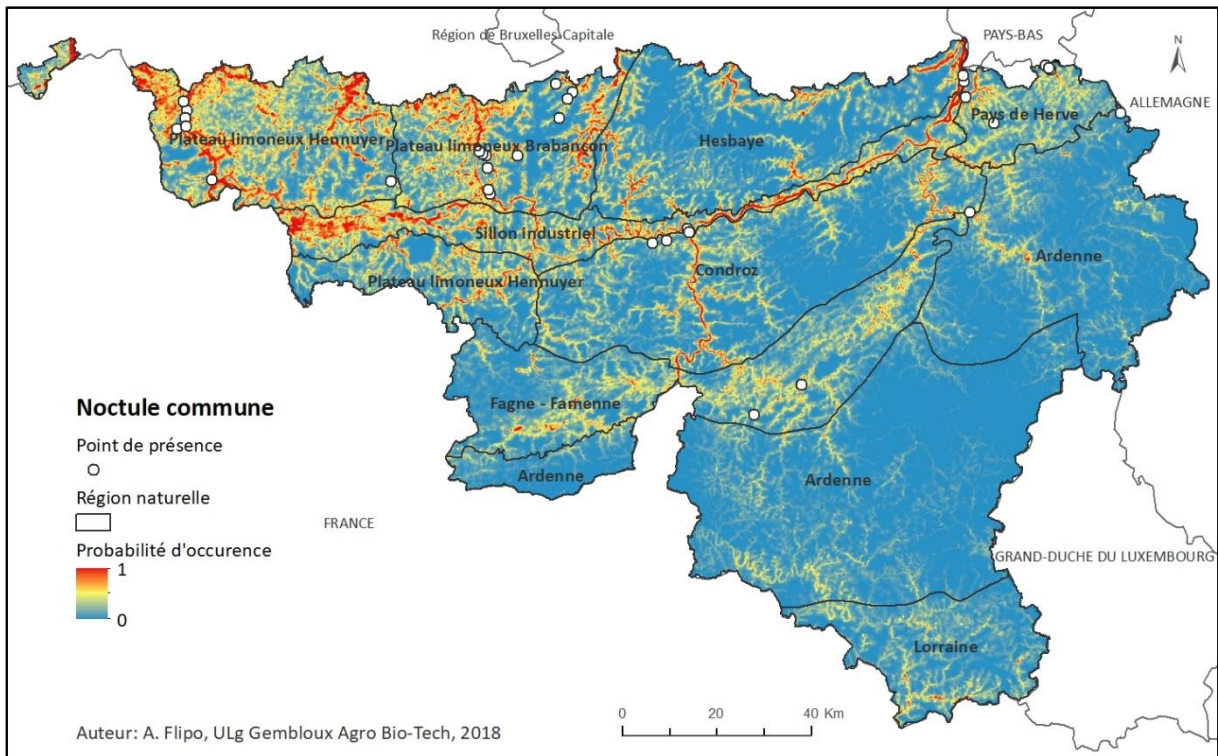


Figure 43. Distribution spatiale réalisée pour la Noctule commune

3.6.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

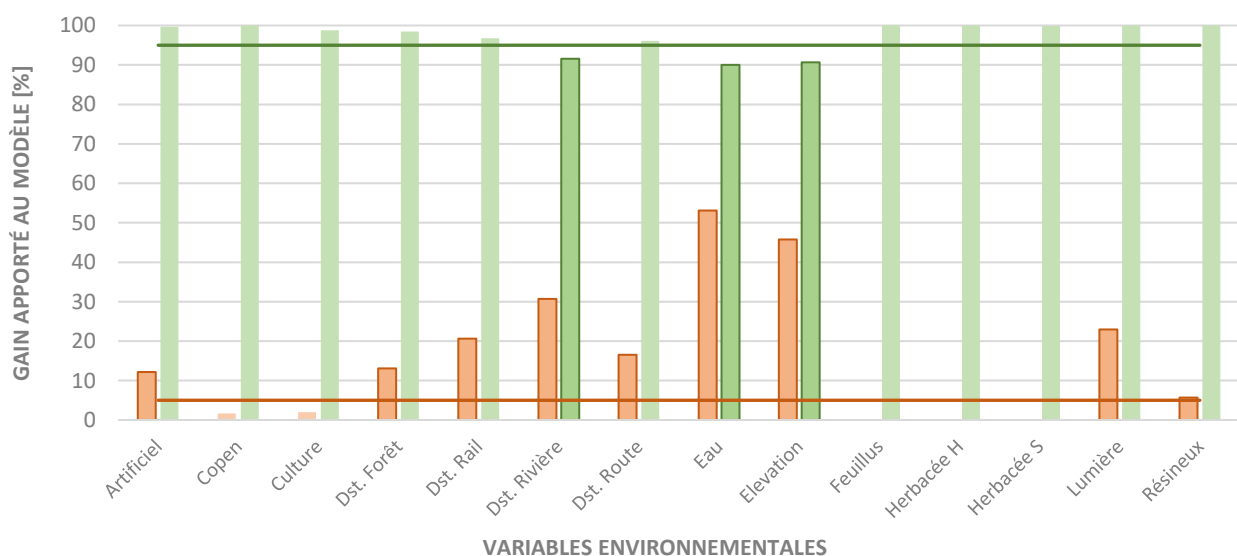


Figure 44. Résultats du test Jackknife pour la Noctule commune

Les résultats obtenus suite à la réalisation du test Jackknife permettent de dégager trois variables qui omises et prises isolément entraînent respectivement une chute et une augmentation considérable du gain lors de la construction de ce modèle ; la portion d'étendues d'eau, la distance à la rivière ainsi que l'élévation. La distribution spatiale de cette espèce sera donc régie principalement par ces trois variables.

L'analyse des courbes de réponse permet de comprendre que la distribution spatiale de cette espèce sera fortement impactée négativement par la distance à la rivière et positivement par la présence de points d'eau isolés. Étonnamment, cette espèce semble présenter une réponse positive à la portion de zones artificielles ainsi qu'à l'intensité lumineuse. Contrairement à toutes les espèces étudiées lors de ce travail, la Noctule commune semble privilégier des habitats se trouvant à une distance élevée de la forêt.

3.6.3. Discussion

Le travail de Rachwald (1992) semble confirmer la prédilection de cette espèce pour les habitats liés à la présence d'eau pour la recherche de nourriture. Cette analyse corrobore de même l'attrait de cette espèce pour les zones anthropiques. Cela peut s'expliquer par le régime alimentaire de celle-ci composé de papillons de nuit attirés par la lumière des lampadaires. De plus, occasionnellement, cette espèce établit son gîte d'été dans les interstices de bâtiments ce qui participe directement à l'association positive ressentie dans ce modèle entre cette espèce et ce type d'habitat. La réponse étonnante de cette espèce à la distance à la forêt pourrait s'expliquer par la définition même de cette variable environnementale. En effet, cette variable définit comme une forêt une étendue d'arbre d'au moins 10 hectares. Il serait donc possible pour cette espèce de ne pas être liée aux grandes étendues d'arbres, mais plutôt aux petits îlots boisés dans lesquels il est facile de se déplacer. Cependant la portion d'arbres de type feuillus ne semble aucunement apporter d'information pour la construction de ce modèle alors que l'analyse de Rachwald (1992) spécifie l'attrait de cette espèce pour les zones boisées.

Plus que pour les autres espèces, la modélisation de la distribution spatiale de la Noctule commune a sans doute été impactée par un biais d'échantillonnage. En effet, les points de présence utilisés pour cette modélisation proviennent pour un sixième d'entre eux de prospections liées aux cours d'eau (L'Escaut et le canal du centre). Ainsi, l'échantillonnage opéré a sans doute donné plus de poids aux variables liées à l'eau. Il est important de mentionner ce biais potentiel, mais l'atteinte de celui-ci à la qualité du modèle devrait être modérée sachant que les points utilisés pour cette modélisation ont été sélectionnés parmi plus de 1000 points échantillonnés.

3.7. La Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)

3.7.1. Carte de probabilité d'occurrence

Au regard de la carte suivante, la Wallonie semble fournir à la Pipistrelle de Nathusius un panel assez large d'habitats dans lesquels elle est susceptible de chasser. Les vallées et les grands cours d'eau ressortent bien ainsi que différentes régions telles que la Fagne-Famenne, le pays de Herve, le Sillon industriel ainsi que la Lorraine. L'analyse des résultats de la modélisation permettra de mieux comprendre les facteurs qui régissent sa distribution.

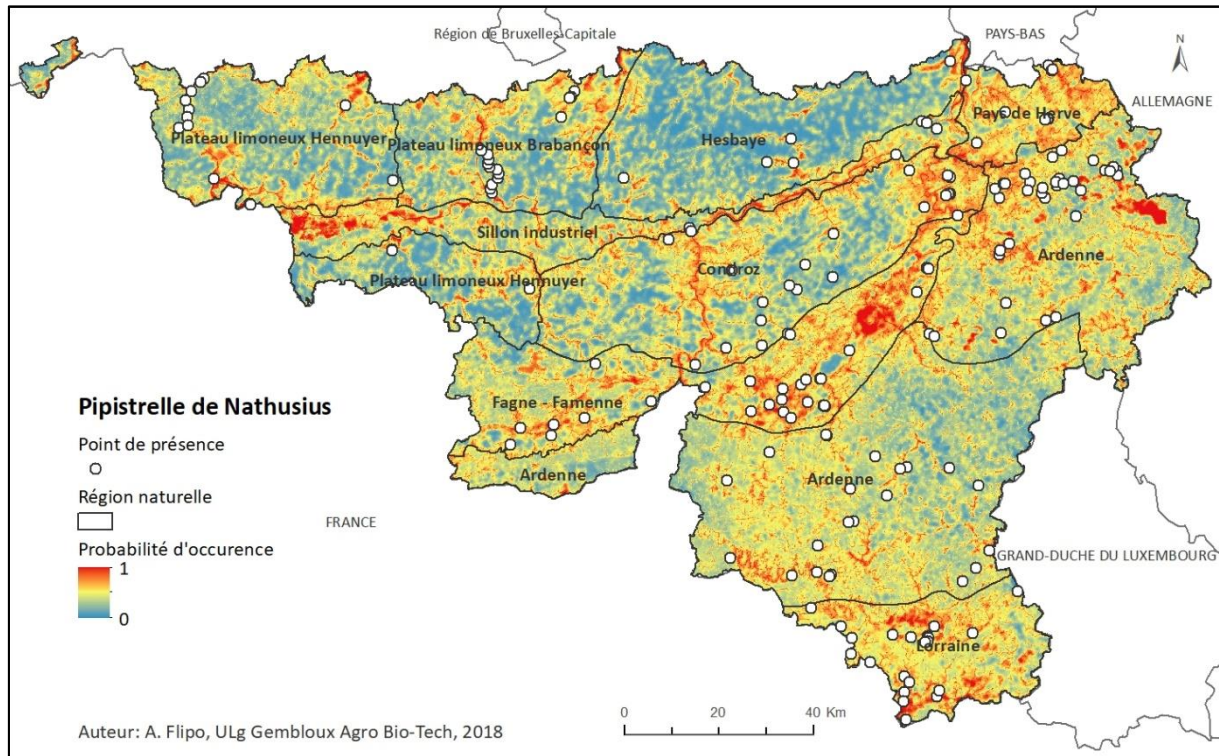


Figure 45. Distribution spatiale modélisée pour la Pipistrelle de Nathusius

3.7.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

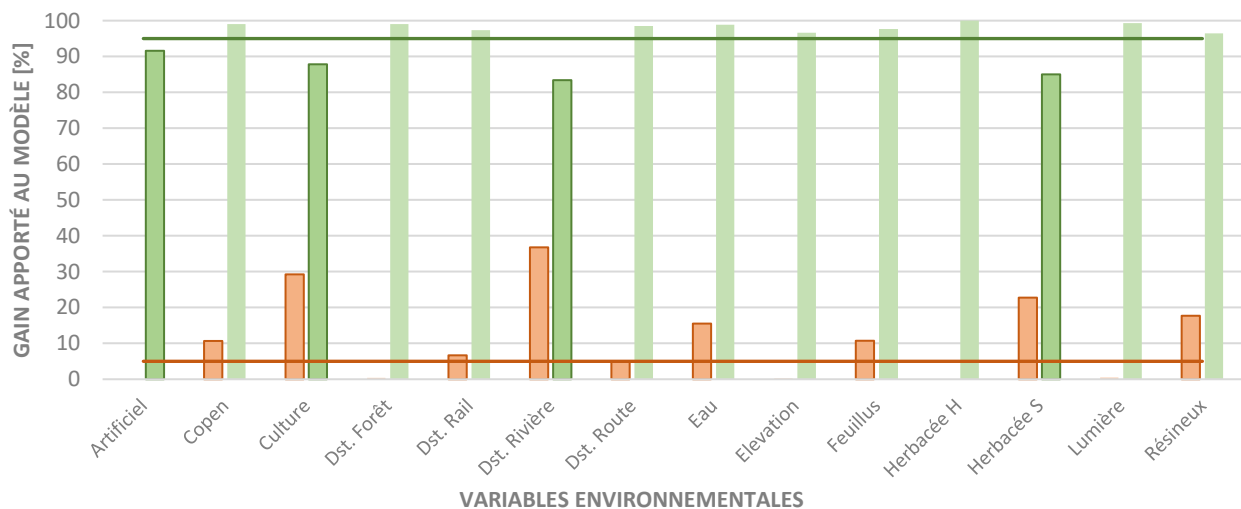


Figure 46. Résultats du test Jackknife pour la Pipistrelle de Nathusius

Les résultats du test Jackknife permettent d'identifier trois variables environnementales qui prises isolément présentent une augmentation du gain considérable pour la construction de ce modèle; la portion de terres cultivées, la distance à la rivière et la portion de prairies extensives. Ces trois variables présentent de même l'information la moins recoupée par les autres variables. Quant à elles, les variables « artificiel », « Dist. Forêt », « Elevation », « Hebracée h » et « Lumière » ne semblent pas jouer un rôle important dans cette modélisation.

D'après l'analyse des courbes de réponse, la portion de forêts de résineux, de zones de culture, la distance à la rivière, aux rails et à la route semblent avoir une réponse négative à la probabilité de présence de cette espèce. A contrario, la présence d'eau ainsi que la présence de prairies extensives présentent une réponse positive à la probabilité de présence. La Pipistrelle de Nathusius semble préférer des valeurs intermédiaires de portion d'arbres de type feuillus.

3.7.3. Discussion

La distribution de cette espèce en Belgique semble donc principalement régie par la présence d'eau et plus particulièrement par la proximité aux rivières. Cela peut s'expliquer par la composition de son régime alimentaire constitué de chironomes (Dietz 2009). En effet, ceux-ci nécessitent la présence d'eau afin de se développer ce qui incite la Pipistrelle commune à exploiter ces milieux pour chasser. La courbe de réponse de la portion d'arbres de type feuillu permet de comprendre que cette espèce préfère des habitats peu denses, mais présentant tout de même une certaine diversité structurale. La sensibilité de cette espèce aux zones culturales pourrait s'expliquer par la pauvreté de la biodiversité qui y est présente due à l'application de pesticides.

3.8. L'Oreillard gris (*Plecotus Austriacus*)

3.8.1. Carte de probabilité d'occurrence

La distribution spatiale réalisée pour l'Oreillard gris fait ressortir trois régions naturelles dans lesquelles les habitats semblent convenir à la chasse de cette espèce ; la Fagne-Famenne, le pays de Herve ainsi que la Lorraine. D'autres zones propices apparaissent notamment dans le sud du plateau limoneux Hennuyer ainsi que dans le milieu du Condroz. L'analyse des résultats de la modélisation permettra de comprendre les relations existantes entre cette espèce et les habitats qu'elle exploite.

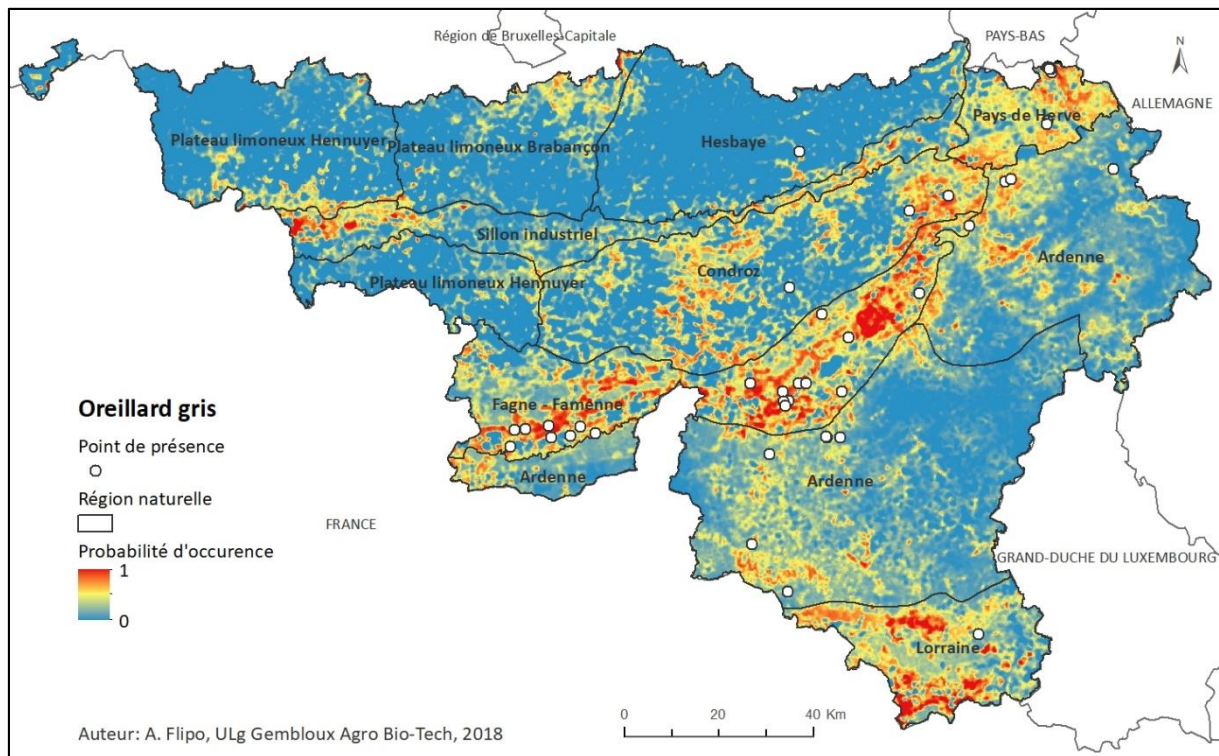


Figure 47. Distribution spatiale modélisée pour l'Oreillard gris

3.8.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

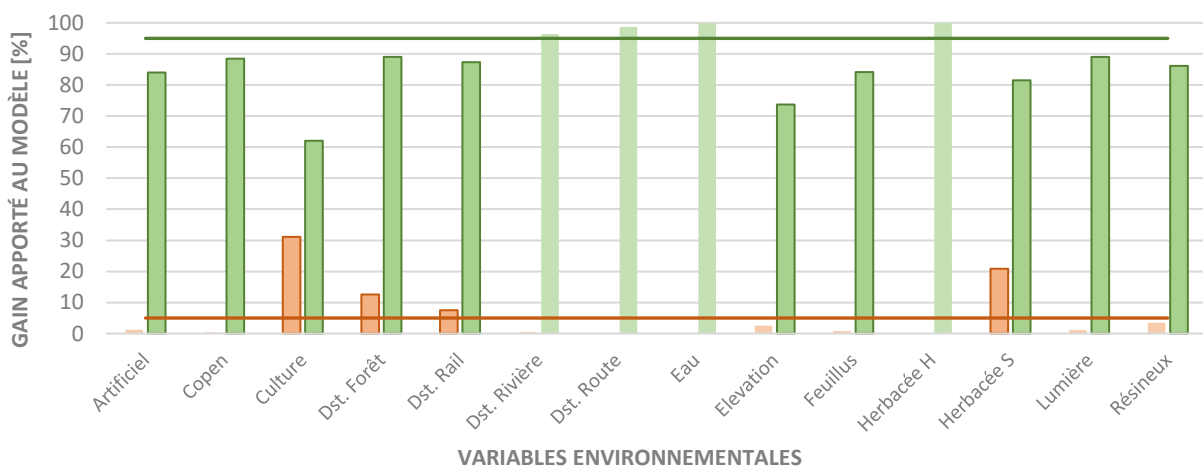


Figure 48. Résultats du test Jackknife pour l'Oreillard gris

Étonnamment, seules quatre variables prises isolément semblent apporter une quantité d'information considérable à la construction du modèle ; la portion de zones de culture, de prairies extensives ainsi que la distance aux forêts et aux rails. La portion de zones cultivées et l'élévation apportent quant à elles l'information la moins présente dans les autres variables. La portion de zones cultivées joue donc un rôle dominant dans cette modélisation.

L'analyse des courbes de réponse permet de mettre en évidence l'impact négatif qu'ont la portion de zones de culture, l'élévation, la distance à la forêt et la distance aux voies de chemin de fer sur la probabilité d'occurrence. La portion de prairies extensives semble présenter un impact positif sur la dispersion spatiale de cette espèce jusqu'à certaines valeurs pour lesquelles la probabilité d'occurrence chute.

3.8.3. Discussion

Visiblement, la distribution de cette espèce est régie principalement par les zones de culture qu'elle semble exclure de ses zones de chasse. L'intérêt qu'a cette espèce pour la Fagne-Famenne s'explique par la présence de sols non propices et rendant les activités agricoles quasiment absentes de cette région naturelle. Celle-ci sera donc caractérisée par un mélange de zones boisées et de pâturages encore délimités par des haies fournissant ainsi à l'Oreillard gris un habitat de chasse idéal. La faible sensibilité de cette espèce à la présence de zones artificielles ainsi qu'à l'intensité lumineuse ne semble pourtant pas se faire ressentir dans la distribution spatiale prédite.

3.9. Le Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*)

3.9.1. Carte de probabilité d'occurrence

Au regard de la carte de distribution spatiale réalisée pour le Grand rhinolophe, il est possible de comprendre que cette espèce semble liée à la présence de forêts de feuillus existantes en Fagne-Famenne, en Lorraine, dans les Ardennes ainsi que dans la région de Mons. Comme pour beaucoup des espèces étudiées dans cette étude, le Sillon industriel semble lui aussi présenter des habitats propices à cette espèce. L'analyse des résultats de la modélisation permettra de mieux comprendre les relations existantes entre cette espèce et ses habitats de chasse.

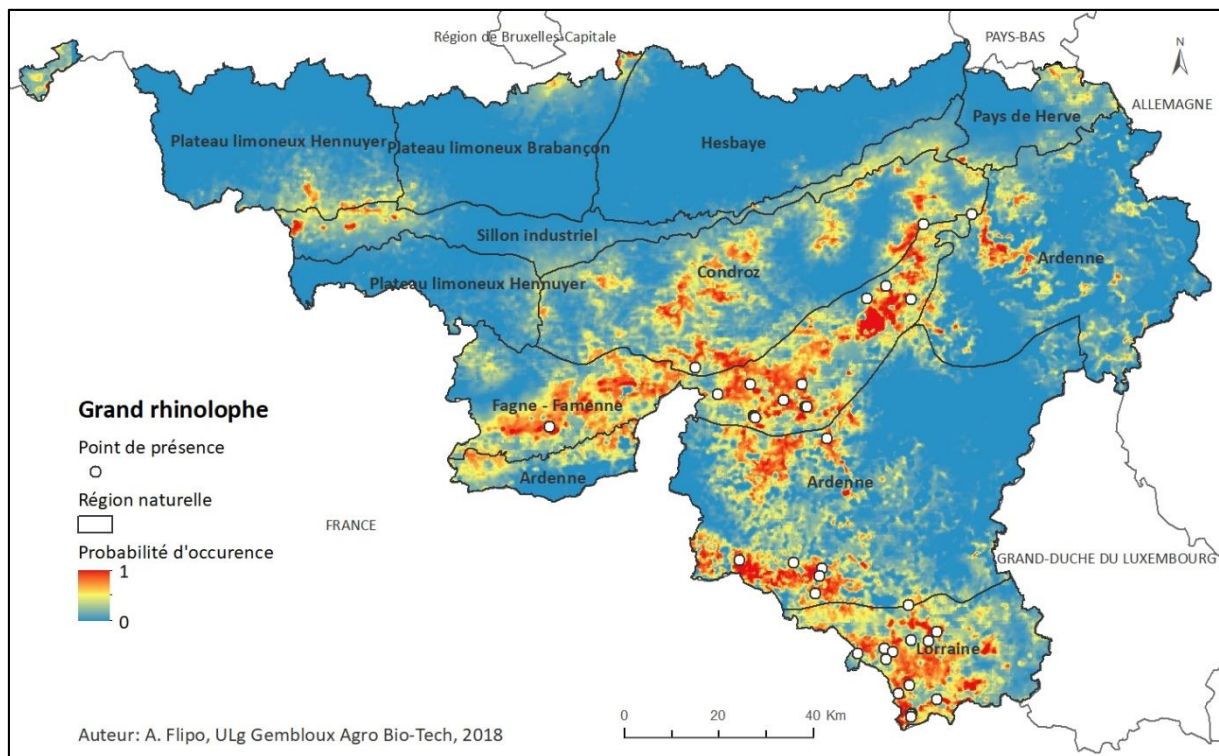


Figure 49. Distribution spatiale modélisée pour le Grand rhinolophe

3.9.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

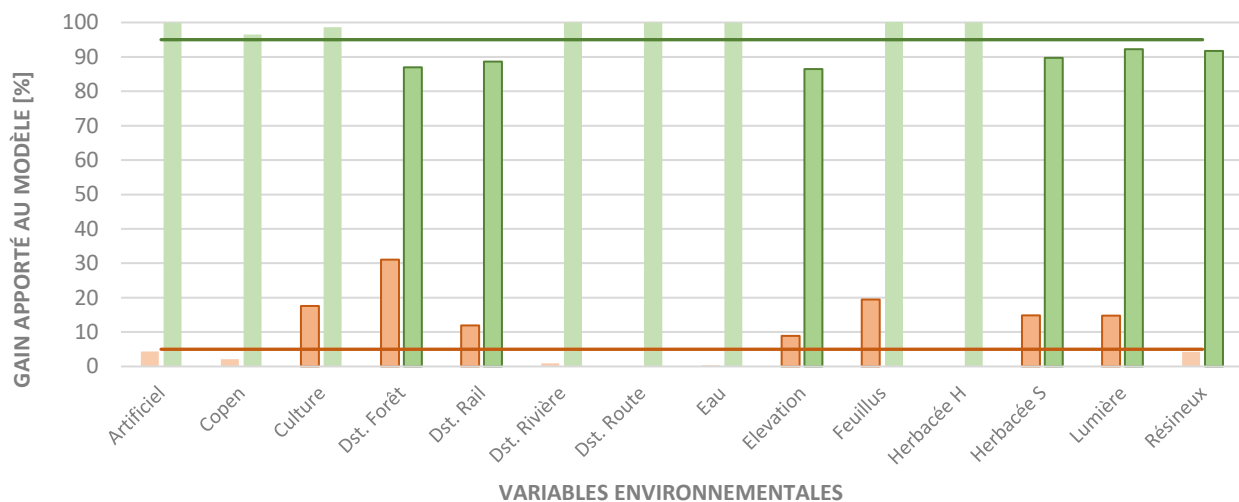


Figure 50. Résultats du test Jackknife pour le Grand rhinolophe

L'analyse du test Jackknife permet de comprendre que la présence de terres cultivées, d'arbres de types feuillus, de prairies extensives, l'élévation, l'intensité lumineuse ainsi que la distance à la forêt et aux rails apportent une information non négligeable quand chacune de ces variables est prise isolément. La distance à la forêt et aux voies de chemin de fer ainsi que l'élévation et la portion de prairies extensives apportent quant à elles l'information la moins recoupée par les autres variables.

L'analyse des courbes de réponse permet de déduire l'effet positif de la portion de zones de coupe à blanc et d'arbres de type feuillu alors que les variables relatives à la portion de terres cultivées, la distance à la forêt et aux rails, l'élévation et l'intensité lumineuse présentent vraisemblablement un impact négatif sur la distribution spatiale de cette espèce. Le Grand rhinolophe semble préférer des valeurs intermédiaires d'élévation pour chasser.

3.9.3. Discussion

Le Grand rhinolophe semble donc occuper pour ses activités de chasse des habitats typiquement forestiers avec une réelle préférence pour les forêts de type feuillus. L'aire de répartition de cette espèce dont l'état de conservation est considéré comme critique serait donc liée au maintien du couvert forestier feuillu encore présent en Wallonie. La conservation de ces types d'habitats semble donc primordiale pour le Grand rhinolophe qui, de plus, présente de fortes réponses négatives à la portion de zones artificielles et à l'intensité lumineuse.

3.10. Le Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposediros*)

3.10.1. Carte de probabilité d'occurrence

Globalement, la distribution spatiale du Petit rhinolophe semble suivre des tendances similaires au Grand rhinolophe se retrouvant localisé dans les mêmes zones. Cette espèce serait donc aussi fortement liée au grands massifs forestiers de type feuillu, mais présenterait des réponses aux variables environnementales moins souples étant visiblement moins dispersées.

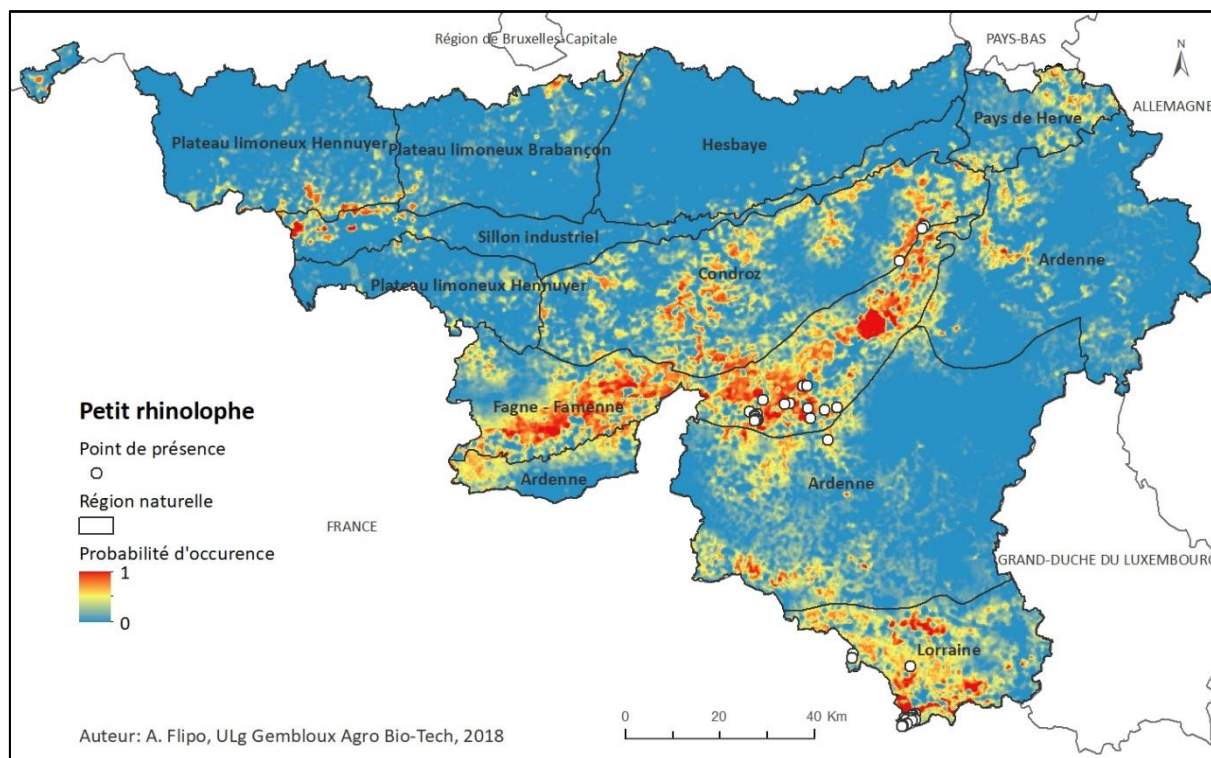


Figure 51. Distribution spatiale modélisée pour le Petit rhinolophe

3.10.2. Résultats du test Jackknife et analyse des courbes de réponse

Il semble évident au regard du graphique suivant que la portion de zones artificielles, de terres cultivées, de prairies extensives, d'arbres de type résineux ainsi que la distance aux rails et

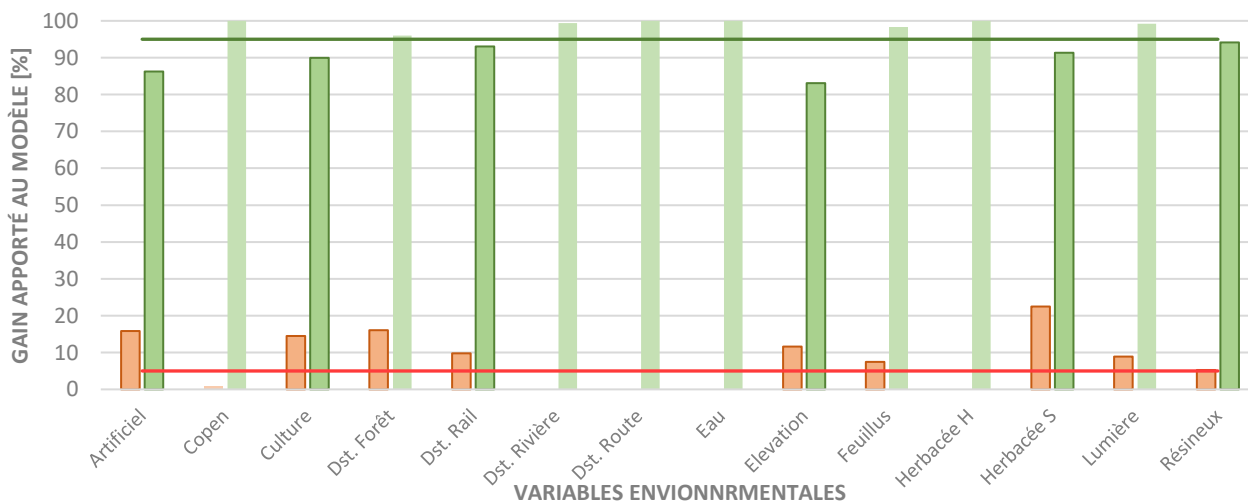


Figure 52. Résultats du test Jackknife pour le Petit rhinolophe

l'élévation contiennent l'information la plus utile pour la construction de ce modèle. En effet, chacune de ces variables omise et prise isolément entraîne respectivement une chute et une augmentation du gain considérable. De plus, la portion d'arbres de type feuillus, la distance à la forêt et l'intensité lumineuse apportent elles aussi une quantité d'information non négligeable prises chacune isolément.

L'analyse des courbes de réponse permet de confirmer l'aire de distribution assez similaire au Grand rhinolophe. En effet, chacune des courbes présente globalement les mêmes tendances. Des différences de pentes peuvent cependant être mentionnées. Le Petit rhinolophe semble bien plus sensible à la présence de zones artificielles et légèrement moins sensible à la distance à la forêt.

3.10.3. Discussion

Comme le Grand rhinolophe, le Petit rhinolophe semble lié fortement aux grands massifs forestiers feuillus présents en Wallonie et corrélé négativement aux zones anthropiques. Son faible rayon d'action autour de ses gîtes d'été pourrait expliquer sa plus forte localisation dans les zones boisées. En effet, 50 % du temps, cette espèce est retrouvée à moins de 600 mètres de son gîte pour exploiter des terrains de chasse (Bontadina, Schofield et Naef-Daenzer 2002). Comme le Grand rhinolophe, cette espèce présente un état critique de conservation en Wallonie. Il est donc primordial de conserver ces habitats restants en Wallonie et empêcher la dispersion des zones anthropiques par lesquelles ces espèces sont fortement impactées.

4. Analyse de la richesse biologique en Wallonie

La carte suivante représente la richesse biologique présente en Wallonie calculée sur base des probabilités de présence de chacune de espèces de chauves-souris étudiées. Celle-ci permet de mettre en évidence les zones de la Wallonie qui selon les différentes modélisations réalisées sont susceptibles d'accueillir une grande diversité d'espèces de chauves-souris. Il est cependant important de garder en tête que la carte suivante ne présente pas les zones de richesse biologique, mais plutôt potentiellement favorables à l'accueil de plusieurs espèces.

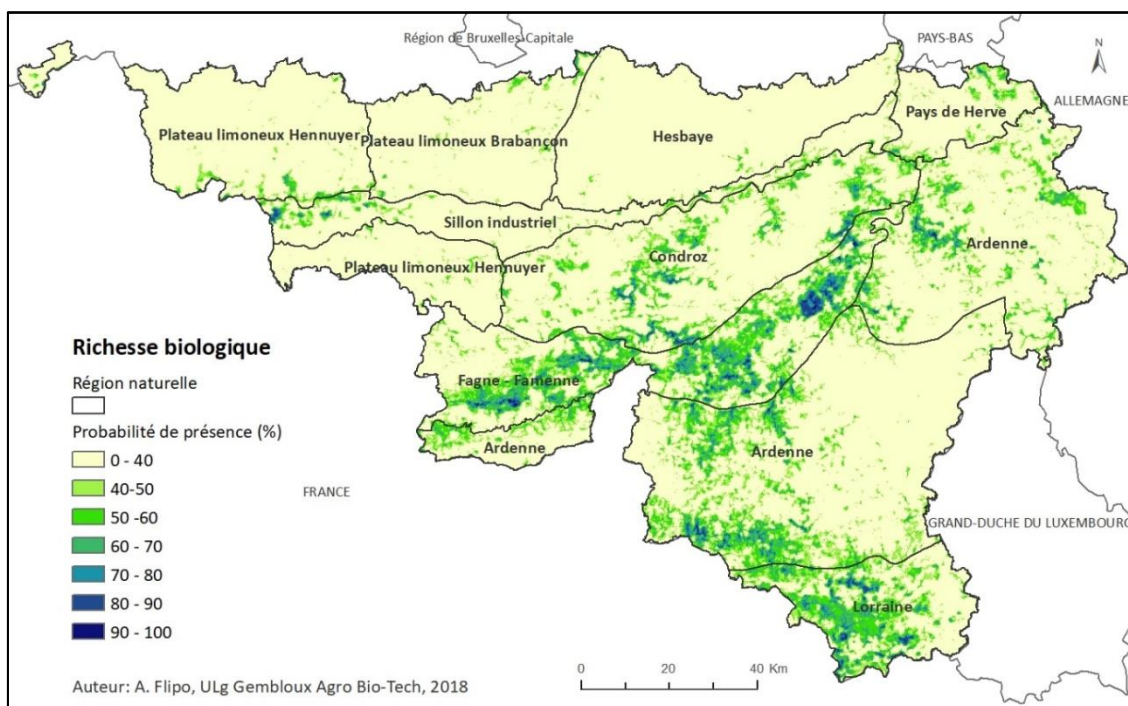


Figure 53. Richesse biologique prédite sur base des dix espèces étudiées

La Fagne-Famenne semble se démarquer particulièrement permettant visiblement de fournir à de nombreuses espèces différentes des habitats favorables à la recherche de nourriture. En effet, les milieux naturels de cette région présentent des sols non propices aux activités agricoles et, de ce fait, ont pu conserver leur diversité paysagère et une certaine connectivité entre les différents éléments naturels qui y sont présents (Quadu et Leclercq 2014). De plus, ces milieux présentent un réseau hydrographique dense et une belle couverture forestière. Il est donc normal que les chauves-souris puissent y retrouver chacun des habitats qui conviennent à leurs pratiques spécifiques de chasse. De même, la Lorraine belge présente visiblement des caractéristiques propices à la chasse de plusieurs espèces de chauves-souris. Les zones qui en ressortent sont directement liées aux massifs forestiers de type feuillu. Dans le Condroz, la présence de la Vallée de la Meuse semble de même fournir une diversité d'habitat intéressante.

La faible richesse biologique des zones situées au nord de la Fagne-Famenne s'explique assez facilement par l'affectation de leurs terres. Ces régions présentent, d'une part, une portion sensiblement plus importante de zones artificielles et donc d'intensité lumineuse et d'autre part, une activité agricole beaucoup plus répandue que dans le sud de la Belgique. En effet, comme il a été discuté plus haut, dans la plupart des cas, ces habitats ne fournissent pas aux chiroptères les conditions adéquates aux pratiques de chasse.

5. Recommandations en termes d'aménagement et de conservation de l'habitat

Au terme de l'analyse et de la discussion des résultats obtenus pour chaque modélisation, certaines pratiques d'aménagement et de conservation peuvent être envisagées et recommandées en vue de prévenir la réduction des habitats de chasse potentiels des chauves-souris en Wallonie.

Comme il a été expliqué plus haut, les chauves-souris souffrent du morcellement de leur habitat naturel ce qui conduit ces espèces à rester isolées et n'exploiter que les ressources naturelles qui leur sont accessibles. L'impact systématiquement négatif des portions de terres agricoles laisse penser que ce type d'activité serait une des sources principales de fragmentation du paysage. Cet aspect a fait l'objet de nombreux travaux et de nouvelles recommandations voient le jour. Ainsi, comprenant l'importance des éléments de liaison naturelle du paysage, le gouvernement wallon a mis en place une nouvelle législation relative à l'octroi de subventions pour la plantation de haie, d'alignements d'arbres et de vergers entrée en vigueur le 9 octobre 2016. Cet arrêté ministériel favoriserait donc le développement de corridors écologiques.

Dans cette même optique, l'attrait souvent récurrent des chauves-souris pour les voies de chemin de fer de même que pour le réseau routier permet de comprendre l'avantage qu'ont les bandes boisées qui les entourent. Considérés pourtant comme des barrières écologiques, ces éléments linaires présentent une opportunité réelle quant à la création de corridors écologiques. En effet, une plantation de bandes boisées ou de haies systématique permettrait d'une part de fournir aux chauves-souris des voies de déplacement et d'autre part de réduire le bruit de fond qui impacte certaines espèces.

L'effet globalement négatif qu'a l'intensité lumineuse sur la distribution des espèces de chauves-souris permet d'imaginer la création d'une trame noire en Wallonie. En effet, bien que ce facteur ait été corrélé à la portion de zones artificielles, il est reconnu que la présence de lumière dissuade de nombreuses espèces à exploiter ces milieux (Azam et al. 2016). Cette trame noire pourrait rentrer dans le projet de création de corridors écologiques pour ainsi prendre les effets négatifs de la pollution lumineuse en compte. De plus, sachant que la Belgique est un des pays les plus éclairés d'Europe, la création de ce genre de projet prend vraiment tout son sens. Ainsi, plusieurs stratégies pourraient être imaginées telles qu'une simple limitation localisée de l'intensité lumineuse lors de certaines périodes, la création d'une réelle zone d'exclusion pour les habitats à haut potentiel ou l'étude de l'impact des différentes lampes utilisées.

La préférence marquée des chauves-souris pour les exploitations agricoles biologiques plutôt que conventionnelles n'a pas été étudiée dans ce travail, mais est bien reconnue par (Wickramasinghe et al. 2003) et permet tout de même d'appuyer cette nouvelle dynamique de reconversion.

6. Critique de la localisation du parc Natura 2000 wallon

L'objectif du point suivant est de pouvoir apporter un regard critique sur la localisation du parc Natura 2000 en comparant celui-ci aux aires de répartition prédites pour les espèces de chauves-souris dont l'état de conservation est considéré comme défavorable. Ainsi, trois cartes ont été réalisées (en annexe, figures 65 à 67) sur lesquelles les zones de présence et le réseau Natura 2000 ont été superposés. L'égalité entre la sensibilité et la spécificité du modèle a été utilisée pour établir le seuil de présence spécifique à chacune des trois espèces.

La correspondante à la Barbastelle d'Europe suggère que pour celle-ci, le réseau Natura 2000 suit de façon admirable l'aire de répartition prédite par le modèle MaxEnt. En effet, le calcul de la proportion de zones de présence comprises dans le parc indique que 54,4 % de ces zones sont déjà les cibles d'actions particulières de conservation. Certaines zones présentes en Fagne-Famenne et en Ardenne mériteraient sans doute une attention particulière et la réalisation d'études supplémentaires afin de juger la pertinence de leur intégration au réseau Natura 2000.

Pour le Grand et le Petit rhinolophe, le réseau Natura 2000 couvre respectivement 37,4 % et 35,4 % des zones de présence prédites par ces deux modèles. Le choix de la localisation de ce réseau semble donc moins bien adapté à ces deux espèces dont l'état de conservation est pourtant considéré comme critique. Cette diminution de recouvrement vient aussi inéluctablement de l'aire de distribution sensiblement plus large pour celles-ci que pour la Barbastelle d'Europe. Néanmoins, il est possible de cibler certaines zones exclues du parc Natura 2000 qui mériteraient d'y être intégrées telles que les abords de la vallée de la Meuse au centre du Condroz ou encore les régions situées dans le sud de l'Ardenne. La Lorraine belge ainsi que la Fagne-Famenne pourraient elles aussi bénéficier d'un élargissement des zones déjà présentes dans le réseau Natura 2000. Il est à noter cependant que la plupart des zones de présences prédites par ces trois modèles se trouvent relativement proches du réseau Natura 2000 et qu'aucune de ces zones ne se retrouve complètement isolée de ce parc.

Afin de discuter la protection des zones favorables à l'accueil de plusieurs espèces différentes, la carte présentée au point 4 a été de même mise en lien avec le réseau Natura 2000 par la superposition de ces deux couches. Comme cette carte rassemble plusieurs espèces différentes, la valeur seuil ne correspond pas à l'égalité entre la spécificité et la sensibilité, mais à une valeur arbitraire de 0,5 (étant proches des valeurs utilisées pour les trois cartes précédentes). Ainsi, pour cette carte, le réseau Natura 2000 recouvre 45,6 % des zones dont la probabilité d'occurrence dépasse les 50 %. La localisation de ce parc a donc de façon générale ciblée de façon adéquate les zones à haute richesse biologique. Certaines zones présentant une grande richesse biologique pourraient cependant être la cible d'étude d'intégration au parc Natura 2000. Parmi celles-ci, le site de la centrale hydroélectrique basée à Trois-Ponts, la forêt de feuillus située dans la commune de Yvoir ou encore celle de la commune de Ouffet mériteraient une attention particulière.

7. Limites et faiblesses des modèles présentés

Il est essentiel de connaître les limites et les faiblesses de tout modèle afin de pouvoir justifier la pertinence de chaque conclusion tirée. Il est en effet très important de garder à l'esprit l'objectif premier de la construction de ces modèles, à savoir ; l'étude des relations existantes entre les différentes espèces et leur habitat de chasse. Ainsi, certaines variables potentiellement utiles à la modélisation de la distribution de ces espèces ont été omises afin de mettre l'accent sur l'aspect « habitat ». Parmi celles-ci la température et les précipitations auraient sans doute apporté une information considérable, mais auraient par ailleurs occulté l'impact des variables habitats. La prise en compte de ces variables climatiques aurait sans doute fourni des distributions spatiales plus proches des aires de répartition réelles, mais aurait rendu l'étude des effets des variables habitats plus complexes.

Un deuxième point considérablement influant dans la création de ces modèles est le biais d'échantillonnage. Il a été possible de se rendre compte que certaines espèces ont sans doute été impactées par des efforts d'échantillonnages différents pour des conditions environnementales différentes. Les données de présence utilisées proviennent en effet de diverses méthodes d'échantillonnage (transects stationnaires, choix de points aléatoires ...) cependant le nombre total de points échantillonnés devrait contrecarrer cet effet.

V. Conclusion et perspectives

Dans ce contexte d'intensification des pratiques agricoles et d'extensification des zones artificielles en Wallonie, la prise en compte de la biodiversité est un point indispensable pour l'aménagement du territoire. Ainsi, afin de comprendre au mieux l'impact qu'ont ces modifications d'habitat sur les espèces présentes, l'étude des relations qu'elles entretiennent avec le milieu qui les entoure s'avère être primordial pour pouvoir élaborer certaines recommandations en termes de conservation de l'habitat.

Cette étude a donc pu mettre en évidence l'importance d'une gestion de l'habitat raisonnée pour le maintien des populations de chauves-souris présentes en Wallonie. En effet, l'analyse des résultats obtenus à l'aide des modèles a fait ressortir, d'une part, la nécessité de revoir la gestion des terres agricoles qui pour le moment réduisent de façon significative la connectivité entre les habitats de chasse disponibles et d'autre part, le besoin de prendre en compte ces espèces nocturnes dans la gestion de l'éclairage public. De plus ces cartes mettent en évidence l'importance du maintien du couvert forestier pour de nombreuses espèces.

L'analyse de la localisation du parc Natura 2000 wallon pour les trois espèces de chauves-souris en voie de disparition permet de comprendre que les réglementations d'aménagement du territoire que celui-ci impose ont un impact significativement positif sur la conservation de ces espèces. Cette étude révèle cependant des zones encore non comprises au sein du réseau Natura 2000. Il s'agit, d'une part, des zones périphériques au parc présentant des habitats potentiellement favorables aux pratiques de chasse des deux espèces de rhinolophe et d'autre part, de zones plus distantes et localisées pour lesquelles une étude d'intégration mériterait d'être réalisée.

L'utilité avérée de ces cartes suggère une optimisation constante de celles-ci par intégration d'autres variables environnementales ainsi qu'une amélioration du jeu de données. Ces outils pourront ensuite être utilisés à d'autres fins telles que les études d'incidences environnementales notamment celles qui concernent les projets éoliens. La modélisation de la distribution spatiale d'une espèce s'avère donc être un outil d'aide à la décision précieux pour les professionnels de la conservation de la nature.

VI. Bibliographie

- Albalat, Fanny, Raphaël Sané, et Emmanuel Cosson. 2015. *Les chauves-souris de Provence, 20 ans d'actions*.
- Araújo, Miguel B., et Antoine Guisan. 2006. « Five (or so) Challenges for Species Distribution Modelling ». *Journal of Biogeography* 33 (10): 1677-88.
- Austin, M. P. 1980. « Searching for a Model for Use in Vegetation Analysis ». *Vegetatio* 42 (1-3): 11-21.
- Avila-Flores, Rafael, et M. Brock Fenton. 2005. « Use of Spatial Features by Foraging Insectivorous Bats in a Large Urban Landscape ». *Journal of Mammalogy* 86 (6): 1193-1204.
- Azam, Clémentine, Isabelle Le Viol, Jean-François Julien, Yves Bas, et Christian Kerbiriou. 2016. « Disentangling the Relative Effect of Light Pollution, Impervious Surfaces and Intensive Agriculture on Bat Activity with a National-Scale Monitoring Program ». *Landscape Ecology* 31 (10): 2471-83.
- Barataud, Michel. 2012a. *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe: identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. Inventaires & biodiversité series. Paris: Muséum national d'histoire naturelle ; Mèze.
- Barataud. 2012b. *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe: identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. Inventaires & biodiversité series. Paris: Muséum national d'histoire naturelle ; Mèze.
- Barlow, Kate E, et Gareth Jones. 1997. « Function of pipistrelle social calls: field data and a playback experiment ». *Animal Behaviour* 53 (5): 991-99.
- Benton, Tim G., Juliet A. Vickery, et Jeremy D. Wilson. 2003. « Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? ». *Trends in Ecology & Evolution* 18 (4): 182-88.
- Bontadina, Fabio, Henry Schofield, et Beat Naef-Daenzer. 2002. « Radio-tracking reveals that lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*) forage in woodland ». *Journal of Zoology* 258 (3): 281-90.
- Boonman, Martijn. 2000. « Roost Selection by Noctules (*Nyctalus Noctula*) and Daubenton's Bats (*Myotis Daubentonii*) ». *Journal of Zoology* 251 (3): 385-89.
- Boughey, Katherine L., Iain R. Lake, Karen A. Haysom, et Paul M. Dolman. 2011a. « Improving the biodiversity benefits of hedgerows: How physical characteristics and the proximity of foraging habitat affect the use of linear features by bats ». *Biological Conservation* 144 (6): 1790-98.

- Boughey et al. 2011b. « Effects of landscape-scale broadleaved woodland configuration and extent on roost location for six bat species across the UK ». *Biological Conservation* 144 (9): 2300-2310.
- Boyles, Justin G., Paul M. Cryan, Gary F. McCracken, et Thomas H. Kunz. 2011. « Economic Importance of Bats in Agriculture ». *Science* 332 (6025): 41-42.
- Brooks, Robert T. 2009. « Habitat-Associated and Temporal Patterns of Bat Activity in a Diverse Forest Landscape of Southern New England, USA ». *Biodiversity and Conservation* 18 (3): 529-45.
- Clark, Donald R. 1988. « How Sensitive Are Bats to Insecticides? » *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* 16 (4): 399-403.
- Cosson, Jean-François, Jean-Marc Pons, et Didier Masson. 1999a. « Effects of Forest Fragmentation on Frugivorous and Nectarivorous Bats in French Guiana ». *Journal of Tropical Ecology* 15 (4): 515-34.
- Cosson et al. 1999b. « Effects of Forest Fragmentation on Frugivorous and Nectarivorous Bats in French Guiana ». *Journal of Tropical Ecology* 15 (4): 515-34.
- Dietz, Christian. 2009. *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- Downs, Nick C., et Paul A. Racey. 2006. « The Use by Bats of Habitat Features in Mixed Farmland in Scotland ». *Acta Chiropterologica* 8 (1): 169-85.
- Elith, Jane, Steven J. Phillips, Trevor Hastie, Miroslav Dudík, Yung En Chee, et Colin J. Yates. 2011. « A Statistical Explanation of MaxEnt for Ecologists ». *Diversity and Distributions* 17 (1): 43-57.
- Fahrig, Lenore. 2003. « Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 487-515.
- Findley, James S. 1993. *Bats: A Community Perspective*. CUP Archive.
- Gorresen, P. Marcos, Adam C. Miles, Christopher M. Todd, Frank J. Bonaccorso, et Theodore J. Weller. 2008. « Assessing Bat Detectability and Occupancy with Multiple Automated Echolocation Detectors ». *Journal of Mammalogy* 89 (1): 11-17.
- Gorresen, P. Marcos, Michael R. Willig, et Richard E. Strauss. 2005. « Multivariate Analysis of Scale-Dependent Associations Between Bats and Landscape Structure ». *Ecological Applications* 15 (6): 2126-36.

- Grinnell, Joseph. 1917. « Field Tests of Theories Concerning Distributional Control ». *The American Naturalist* 51 (602): 115-28.
- Guisan, Antoine, et Wilfried Thuiller. s. d. « Predicting Species Distribution: Offering More than Simple Habitat Models ». *Ecology Letters* 8 (9): 993-1009.
- Guisan, Antoine, et Niklaus E. Zimmermann. 2000. « Predictive habitat distribution models in ecology ». *Ecological Modelling* 135 (2): 147-86.
- Hirzel, Alexandre H., et Gwenaëlle Le Lay. 2008. « Habitat Suitability Modelling and Niche Theory ». *Journal of Applied Ecology* 45 (5): 1372-81.
- Humphries, Murray M., Donald W. Thomas, et John R. Speakman. 2002. « Climate-Mediated Energetic Constraints on the Distribution of Hibernating Mammals ». *Nature* 418 (6895): 313-16.
- Hutson, Anthony Michael, et Simon P. Mickleburgh. 2001. *Microchiropteran Bats: Global Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN.
- Jaynes, E. T. 1957. « Information Theory and Statistical Mechanics ». *Physical Review* 106 (4): 620-30.
- JULIEN, Jean François, KERBIRIOU Christian, BENARD Aurélien, BARBARO Luc, et FONDERFLICK Jocelyn. 2013. « Elements pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques ». *ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES*, 100.
- Kennedy, C. E. J., et T. R. E. Southwood. 1984. « The Number of Species of Insects Associated with British Trees: A Re-Analysis ». *Journal of Animal Ecology* 53 (2): 455-78. <https://doi.org/10.2307/4528>.
- Kervyn et al. 2009. « Major decline of abundance and diversity during the last 50 years in southern Belgium ». 2009.
- Kunz, Thomas H., Elizabeth Braun de Torrez, Dana Bauer, Tatyana Lobova, et Theodore H. Fleming. 2011. « Ecosystem Services Provided by Bats ». *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223 (1): 1-38.
- Mitchell-Jones, A. J., A. S. Cooke, I. L. Boyd, et R. E. Stebbings. 1989. « Bats and Remedial Timber Treatment Chemicals a Review ». *Mammal Review* 19 (3): 93-110.
- Morris, Adam D., Darren A. Miller, et Matina C. Kalcounis-Rueppell. 2010. « Use of Forest Edges by Bats in a Managed Pine Forest Landscape ». *The Journal of Wildlife Management* 74 (1): 26-34.

- Muscarella, Robert, Peter J. Galante, Mariano Soley-Guardia, Robert A. Boria, Jamie M. Kass, María Uriarte, et Robert P. Anderson. 2014. « ENMeval: An R Package for Conducting Spatially Independent Evaluations and Estimating Optimal Model Complexity for Maxent Ecological Niche Models ». *Methods in Ecology and Evolution* 5 (11): 1198-1205.
- Papeş, M., et P. Gaubert. 2007. « Modelling Ecological Niches from Low Numbers of Occurrences: Assessment of the Conservation Status of Poorly Known Viverrids (Mammalia, Carnivora) across Two Continents ». *Diversity and Distributions* 13 (6): 890-902.
- Pfalzer, Guido, et Jürgen Kusch. 2003. « Structure and Variability of Bat Social Calls: Implications for Specificity and Individual Recognition ». *Journal of Zoology* 261 (1): 21-33.
- Phillips, Steven J., Robert P. Anderson, et Robert E. Schapire. 2006. « Maximum entropy modeling of species geographic distributions ». *Ecological Modelling* 190 (3): 231-59.
- Phillips, Steven J., et Miroslav Dudík. 2008. « Modeling of Species Distributions with Maxent: New Extensions and a Comprehensive Evaluation ». *Ecography* 31 (2): 161-75.
- Quadu, F, et A Leclercq. 2014. « Directeur de l'étude : Y. Hanin », 68.
- Racey, P. A., et Susan M. Swift. 1986. « The residual effects of remedial timber treatments on bats ». *Biological Conservation* 35 (3): 205-14.
- Rachwald, Alek. 1992. « Habitat Preference and Activity of the Noctule Bat *Nyctalus Noctula* in the Białowieża Primeval Forest ». *Acta Theriologica* 37 (septembre): 413-22.
- Ransome, R. D. 1989. « Population Changes of Greater Horseshoe Bats Studied near Bristol over the Past Twenty-Six Years ». *Biological Journal of the Linnean Society* 38 (1): 71-82.
- Russo, Danilo, et Gareth Jones. 2002. « Identification of Twenty-Two Bat Species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by Analysis of Time-Expanded Recordings of Echolocation Calls ». *Journal of Zoology* 258 (1): 91-103.
- Russo et Jones. 2003. « Use of Foraging Habitats by Bats in a Mediterranean Area Determined by Acoustic Surveys: Conservation Implications ». *Ecography* 26 (2): 197-209.
- Schaub, Andrea, Joachim Ostwald, et Björn M. Siemers. 2008. « Foraging Bats Avoid Noise ». *Journal of Experimental Biology* 211 (19): 3174-80.

- Sierro, A. 1999. « Habitat Selection by Barbastelle Bats (*Barbastella Barbastellus*) in the Swiss Alps (Valais) ». *Journal of Zoology* 248 (4): 429-32.
- Stahlschmidt, Peter, et Carsten A. Brühl. 2012. « Bats as Bioindicators – the Need of a Standardized Method for Acoustic Bat Activity Surveys ». *Methods in Ecology and Evolution* 3 (3): 503-8.
- Stoate, C, N. D Boatman, R. J Borralho, C. Rio Carvalho, G. R. de Snoo, et P Eden. 2001. « Ecological impacts of arable intensification in Europe ». *Journal of Environmental Management* 63 (4): 337-65.
- THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 1992. *DIRECTIVE 92/43/CEE DU CONSEIL*.
- Turner, I. M. 1996. « Species Loss in Fragments of Tropical Rain Forest: A Review of the Evidence ». *Journal of Applied Ecology* 33 (2): 200-209.
- Van der Meij, Thomas, A. J. Van Strien, K. A. Haysom, J. Dekker, J. Russ, K. Biala, Z. Bihari, et al. 2015. « Return of the bats? A prototype indicator of trends in European bat populations in underground hibernacula ». *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, Special Issue: Bats as Bioindicators, 80 (3): 170-77.
- Waters, Dean, Gareth Jones, et Mick Furlong. 1999. « Foraging ecology of Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*) at two sites in southern Britain ». *Journal of Zoology* 249 (2): 173-80.
- Wickramasinghe, Liat P., Stephen Harris, Gareth Jones, et Nancy Vaughan. 2003. « Bat Activity and Species Richness on Organic and Conventional Farms: Impact of Agricultural Intensification ». *Journal of Applied Ecology* 40 (6): 984-93.

VII. Annexes

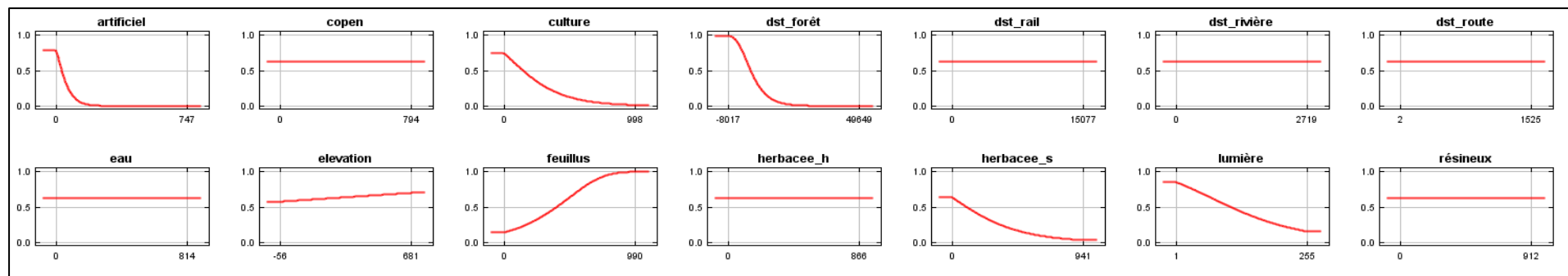


Figure 56. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Barbatselle d'Europe

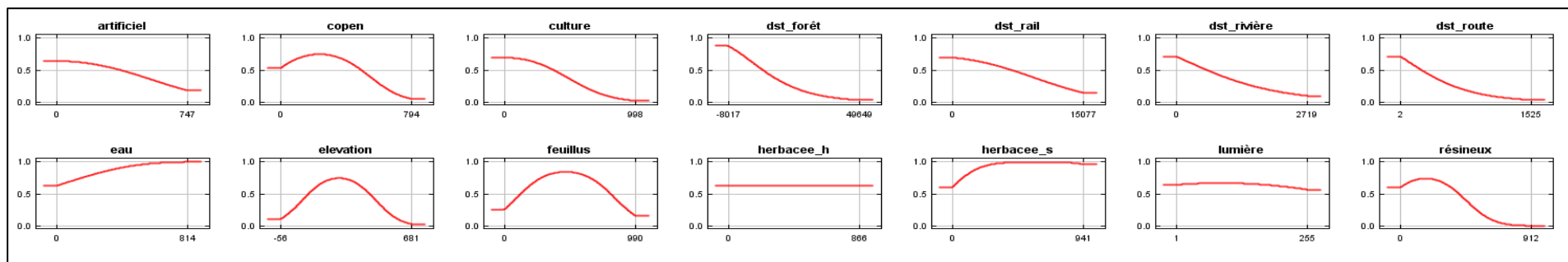


Figure 55. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Sérotine commune

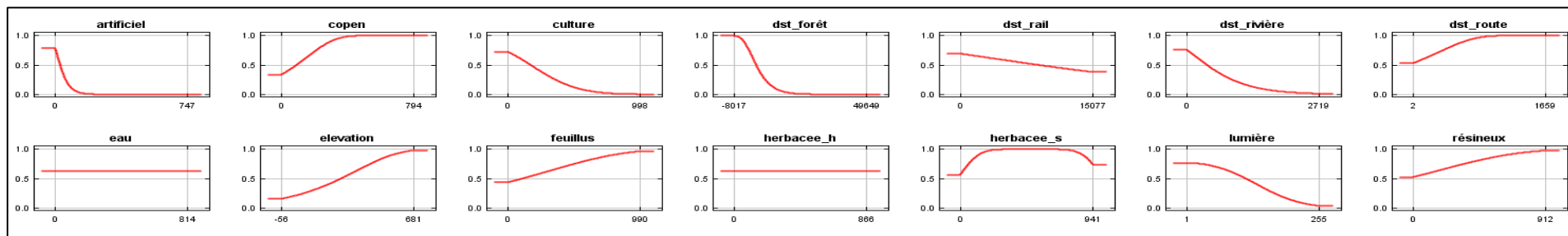


Figure 54. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Grand murin

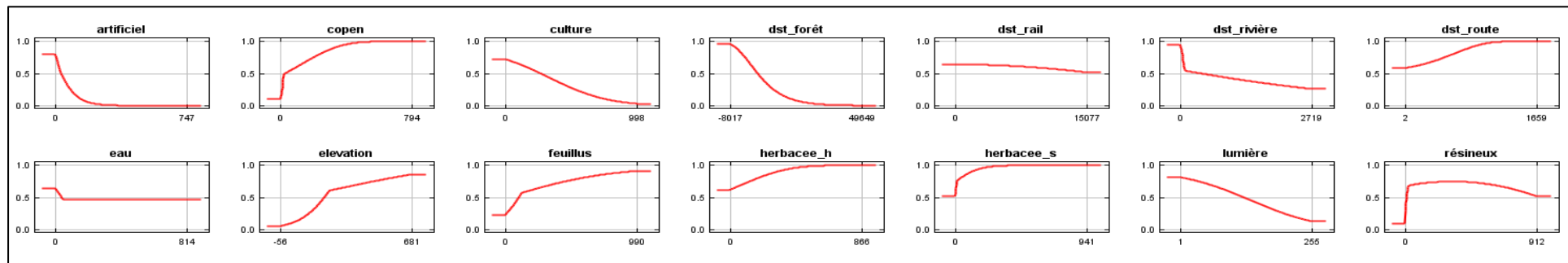


Figure 59. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Murin de Natterer

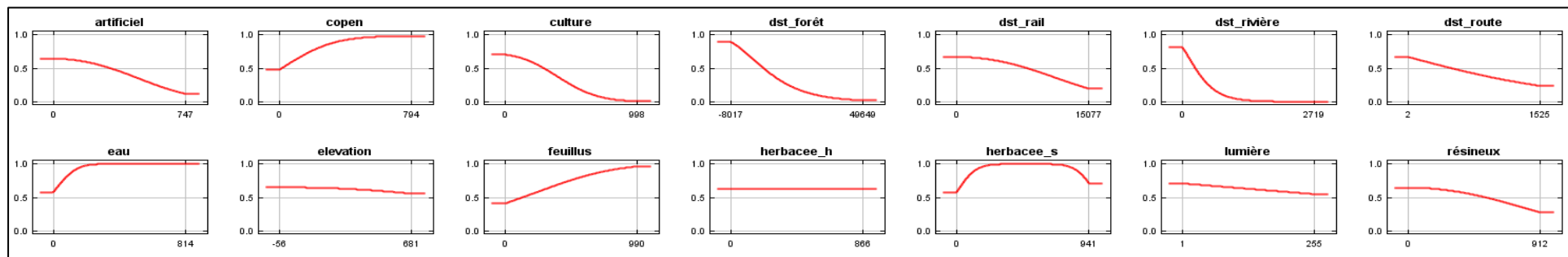


Figure 58. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Noctule de Leisler

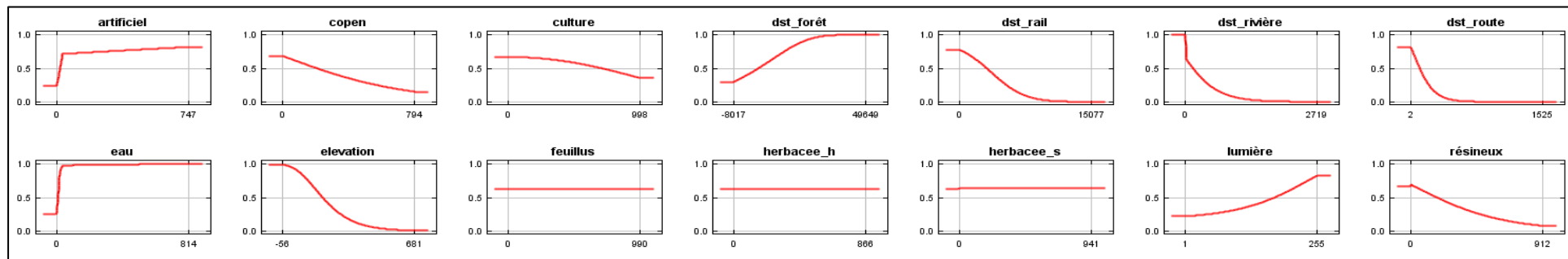


Figure 57. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Noctule commune

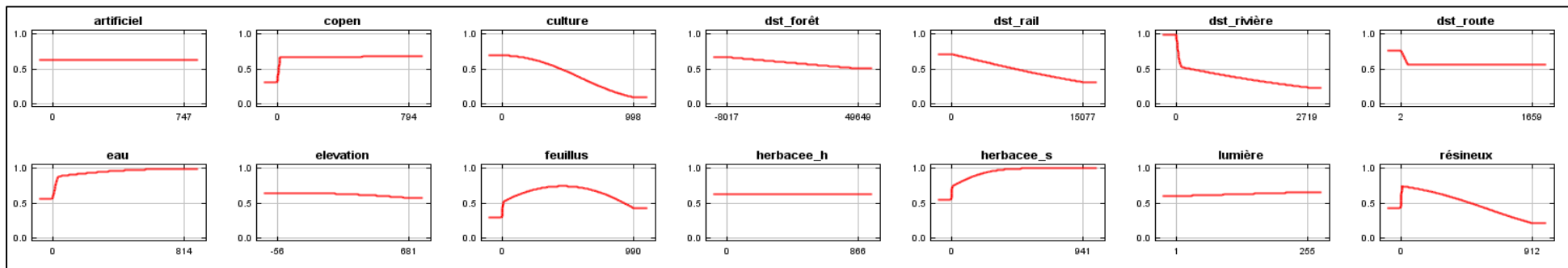


Figure 62. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de la Pipistrelle de Nathusius

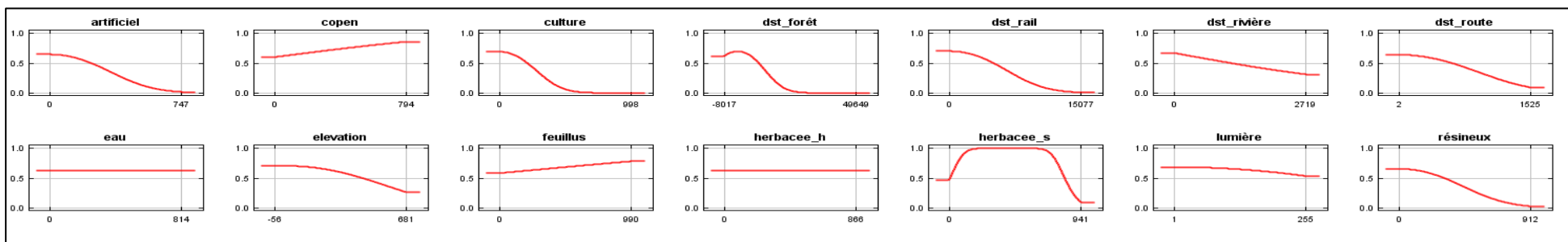


Figure 61. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale de l'Oreillard gris

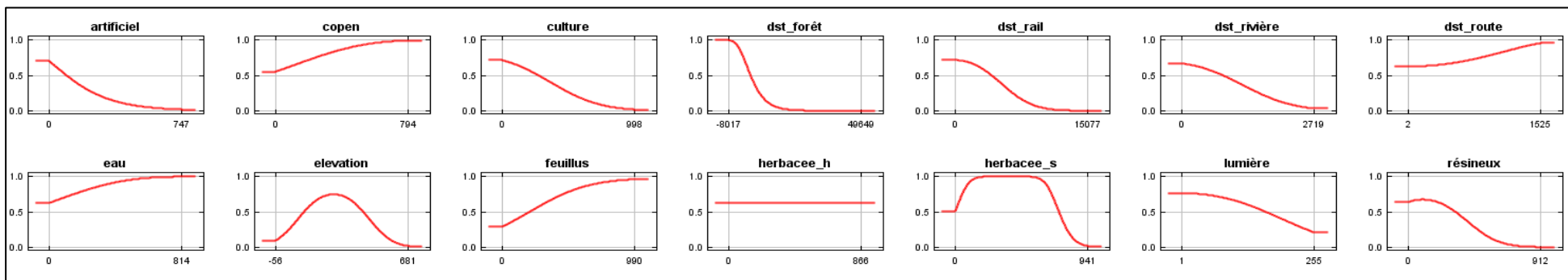


Figure 60. Courbes de réponse obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Grand rhinolophe

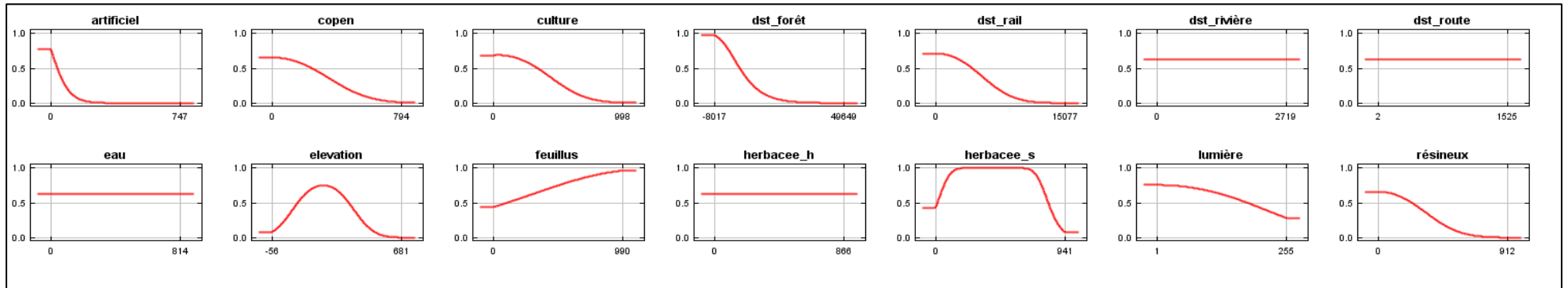


Figure 63. Courbes de réponse marginales obtenues suite à la modélisation de la distribution spatiale du Petit rhinolophe

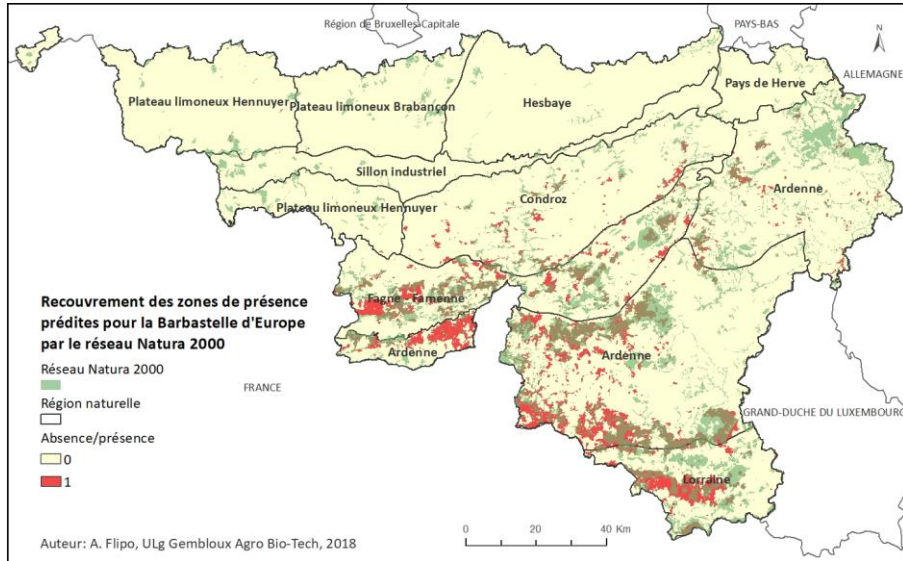


Figure 64. Superposition des zones de présence de la Barbastelle d'Europe avec le réseau Natura 2000

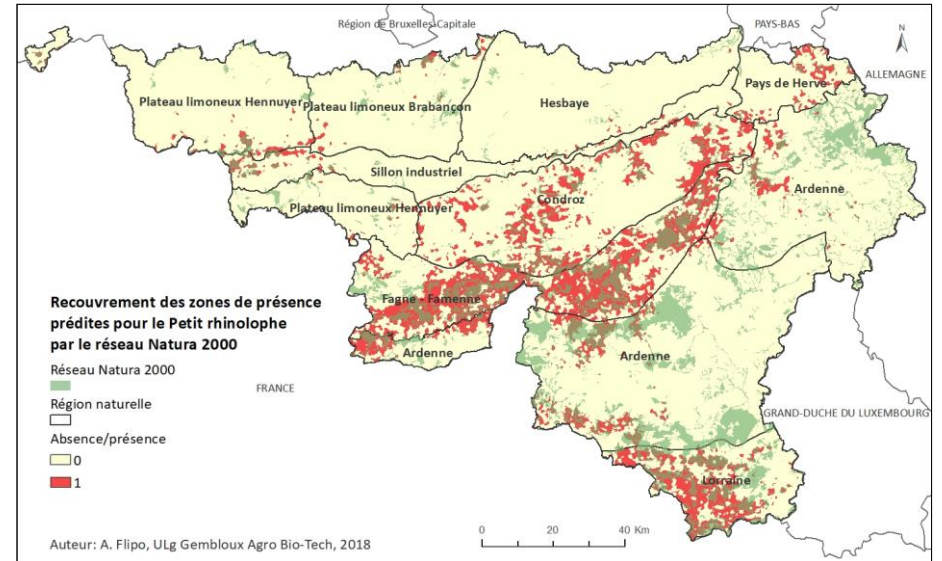


Figure 65. Superposition des zones de présence du Grand Rhinolophe avec le réseau Natura 2000

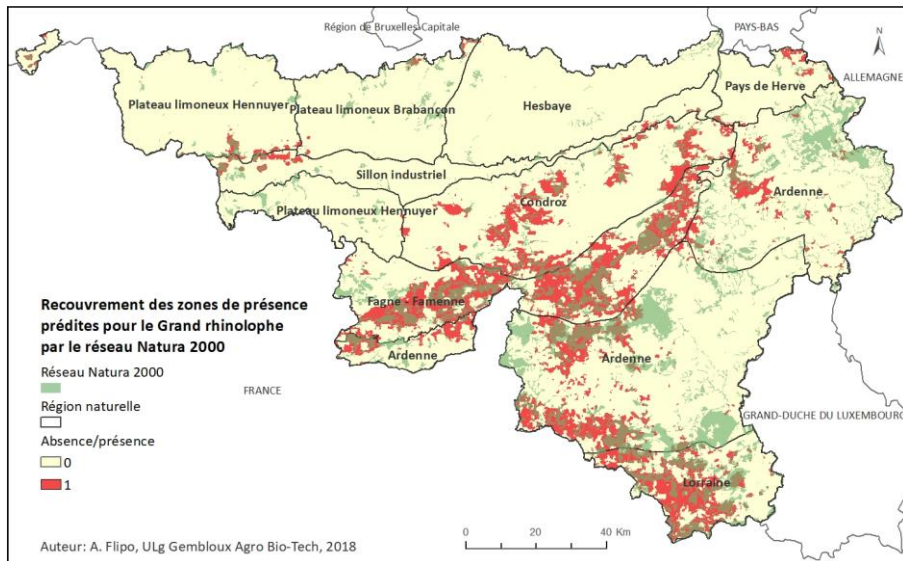


Figure 66. Superposition des zones de présence du Petit rhinolophe avec le réseau Natura 2000