

**SUIVI PAR COLLIER GPS DU RATON LAVEUR (*PROCYON LOTOR*) DANS LA FORÊT DE SAINT-MICHEL FREYR : ÉTUDE DE SA SÉLECTION ET DE SON UTILISATION DE L'HABITAT EN MILIEU NATUREL**

**SARAH MEULEMANS**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021**

**PROMOTEUR: ALAIN LICOPPE**

"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<sup>1</sup> de Gembloux Agro-Bio Tech."

"Le présent document n'engage que son auteur."

---

<sup>1</sup> Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le promoteur membre du personnel enseignant de GxABT.

**SUIVI PAR COLLIER GPS DU RATON LAVEUR (*PROCYON LOTOR*) DANS LA FORÊT DE SAINT-MICHEL FREYR : ÉTUDE DE SA SÉLECTION ET DE SON UTILISATION DE L'HABITAT EN MILIEU NATUREL**

**SARAH MEULEMANS**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021**

**PROMOTEUR: ALAIN LICOPPE**

## REMERCIEMENTS

---

Mes premiers remerciements vont à mon promoteur, Alain Licoppe, qui m'a donné la chance de participer à ce projet et s'est montré réactif à chacune de mes interrogations, malgré le contexte particulier de la crise sanitaire. Merci également pour ses relectures ainsi que les discussions apportées qui m'ont permises d'avancer dans ma réflexion.

Merci également à toute l'équipe du SPW-DEMNA/DNE/LFSC (Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole/Direction de la Nature et de l'eau/Laboratoire de Faune Sauvage et Cynégétique) pour leur soutien et leur collaboration tout au long du projet. Je tiens tout particulièrement à remercier Julien Lievens et Frédéric Della Libera pour leur implication lors des différents terrains effectués durant ce travail. Merci à Valérie De Waele et Quentin Watthez de leur aide sur le terrain. Merci également à Céline Malengraux pour son aide et ses conseils lors de périodes d'interrogations.

Je remercie également Vinciane Schockert pour son aide et pour les discussions passionnantes que nous avons eues sur l'écologie du raton laveur. Ce travail n'aurait pas été ce qu'il est sans son aide précieuse lors des récoltes de données de terrain et ses conseils sur l'interprétation des résultats.

Un tout grand merci à Kevin Morelle, qui m'a aidée et soutenue tout au long de mes analyses. Merci pour le temps qu'il m'a consacré, pour les nombreux mails échangés et pour sa disponibilité sans faille. Sans son expertise, les analyses n'auraient certainement pas été aussi abouties. Plus spécifiquement, les mesures de sélectivité de Manly n'auraient pas pu être effectuées. Merci également pour ses conseils et sa bienveillance durant les moments de doute.

Je suis également reconnaissante envers Benoît Leuris et Gianna Cucca de la Direction des Cours d'Eau Non Navigables, Cellule Piégeage Invasives (DCENN), qui ont effectué le piégeage des rats laveurs, pour leur implication dans le projet.

Je souhaite aussi exprimer ma gratitude envers les agents du Département de la Nature et des Forêts (DNF) pour leur accueil sympathique et pour l'intérêt qu'ils ont montré à ce travail. Au travers de leur collaboration avec le DEMNA, leur volonté et leur passion est ce qui permet à la recherche sur la faune sauvage d'avancer. Je tiens donc à remercier Thierry Petit, Sebastien Herman, Nicolas Van Hove et Philippe Moës pour leur investissement dans les projets proposés.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont répondu à mes questions et qui m'ont aidée à avancer dans mon travail. Outre les personnes déjà citées dans ces remerciements, je pense également à Yves Brostaux, pour son aide concernant les traitements statistiques et à Romain Candaele, Philippe Lejeune et Nicolas Latte pour leur aide lors de ma recherche de ressources cartographiques. Merci également à Laurent Bataille pour son aide lorsque j'ai rencontré des problèmes dans le codage informatique 'R'.

Finalement, je remercie ma famille qui m'a soutenue tout au long de mes études. Un merci tout particulier à mon papa pour le soutien moral qu'il m'a apporté durant la réalisation de ce travail. Pour finir, je ne pourrai jamais remercier assez mes cokotteurs et mes amis pour ce petit bout de chemin passé ensemble.

## RÉSUMÉ

---

Le raton laveur (*Procyon lotor*) est une espèce invasive présente en Wallonie depuis les années 80. L'expansion rapide des densités de population du mésocarnivore en Europe inquiète la communauté scientifique. De par son caractère opportuniste, le raton laveur peut avoir un impact sur de nombreuses espèces indigènes, protégées ou non. En Wallonie, si la consommation d'espèces sensibles a été prouvée, aucune étude portant sur l'impact exact lié à cette prédation n'a encore été effectuée. Bien que des méthodes de régulation soient mises en place actuellement dans de nombreux pays, ces dernières ne se sont pas toujours révélées efficaces. Dans ce contexte, une approche qui s'avère plus judicieuse est celle consistant à protéger de manière ciblée les espèces impactées par le raton laveur. Pour cela, une meilleure connaissance de l'écologie du raton laveur et de l'utilisation des ressources par ce dernier est indispensable. Ce travail a pour objectif d'étudier la sélection de l'habitat par le raton laveur dans la forêt de Saint-Michel Freyr, et son utilisation directe des habitats sélectionnés en lien avec les ressources alimentaires et les refuges, afin de mieux comprendre le comportement et le mode de vie de l'espèce sur le territoire wallon. Pour cela, quatre ratons laveurs ont été suivis par colliers GPS de mars à juin 2021. Une analyse des tailles et des emplacements des domaines vitaux (KDE 95) a été effectuée. Un domaine vital moyen de 592 ha a été obtenu pour toute la durée de l'étude. Le mâle adulte a révélé un domaine vital (940 ha) deux à trois fois supérieur à celui de la femelle adulte (340 ha) et des deux jeunes adultes (460 et 570 ha). Un déplacement des domaines vitaux a été constaté, à partir du mois d'avril, chez les jeunes de l'année précédente. La distance moyenne parcourue par les individus en 2h est de 528m, avec une vitesse moyenne de déplacement de 1,68 km/h, suggérant une prospection plus intense de ressources alimentaires dans certaines zones. Ensuite, une étude de l'utilisation de l'habitat au sein des domaines vitaux (MCP 100) a été effectuée. Finalement, des relevés de terrain ont été menés durant le mois de juin afin de caractériser les milieux sélectionnés par les individus suivis. Les résultats obtenus suggèrent une sélection des peuplements feuillus, qui sont majoritaires sur le site d'étude, à l'exception du mois d'avril, plus frais, où les résineux ont été majoritairement sélectionnés, certainement pour la régulation thermique apportée par leur couvert. Les forêts feuillues sont riches en ressources alimentaires et en refuges. Les ressources alimentaires majoritairement disponibles sont les insectes, les limaces et les cloportes cachés sous les écorces des bois morts au sol, ainsi que les amphibiens, les micromammifères et les végétaux. Les forêts résineuses présentent également un intérêt en tant que zone de refuge, mais sont plus pauvres en termes de ressources alimentaires. Les ratons laveurs utilisent également volontiers les milieux ouverts en tant que zones de recherche de nourriture, lesquels se sont révélés très riches en ressources alimentaires également. En conclusion, les résultats obtenus indiquent, pour le mois de juin 2021, une très bonne adaptation de l'espèce dans la mosaïque forestière de Saint-Michel Freyr. Les ressources alimentaires y sont riches et variées et l'espèce modifie sa sélection de l'habitat en fonction des conditions météorologiques et de l'abondance des ressources alimentaires disponibles.

## ABSTRACT

---

The raccoon (*Procyon lotor*) is an invasive species present in Wallonia since the 1980s. The rapid expansion of the population density of this mesocarnivore in Europe is of concern to the scientific community. Because of its opportunistic nature, the raccoon can have an impact on many native species, protected or not. In Wallonia, although the consumption of sensitive species has been proven, no study on the actual impact of this predation has yet been conducted. Although regulation methods are currently in place in many countries, they have not always proven to be effective. In this context, a more judicious approach is to protect the species impacted by raccoons in a targeted manner. This requires a better understanding of raccoon ecology and resource use. The aim of this work is to study habitat selection by raccoons in the Saint-Michel Freyr forest, and their direct use of selected habitats in relation to food resources and refuges, in order to better understand the behavior and lifestyle of the species on the Walloon territory. For this purpose, four raccoons were tracked by GPS collars from March to June 2021. An analysis of home range sizes and locations (KDE 95) was performed. An average home range of 592 ha was obtained for the entire study period. The adult male revealed a home range (940 ha) two to three times larger than the adult female (340 ha) and the two young adults (460 and 570 ha). A shift in home ranges was observed, starting in April, in the previous year's juveniles. The average distance travelled by individuals in 2h was 528 m, with an average travel speed of 1.68 km/h, suggesting a more intense exploration of food resources in some areas. Next, a study of habitat use within home ranges (MCP 100) was conducted. Finally, field surveys were conducted during the month of June to characterize the environments selected by the monitored individuals. The results obtained suggest a selection of deciduous stands, which represent the majority of the study site, with the exception of the cooler month of April, where softwoods were selected in majority, certainly for the thermal regulation provided by their cover. Deciduous forests are rich in food resources and refuges. The main available food resources are insects, slugs and woodlice hidden under the bark of dead wood on the ground, as well as amphibians, small mammals and plants. Softwood forests are also of interest as a refuge area, but are poorer in terms of food resources. Raccoons also forage in open areas, which were found to be very rich in food resources as well. In conclusion, the results obtained indicate, for the month of June 2021, a very good adaptation of the species in the Saint-Michel Freyr landscape. Food resources are rich and varied and the species modifies its habitat selection according to the weather conditions and the abundance of available food resources.

# TABLE DES MATIÈRES

---

Remerciements .....	I
Résumé .....	II
Abstract .....	III
Table des figures.....	VI
Table des tableaux.....	VII
Table des annexes .....	VIII
Liste des abréviations .....	IX
Introduction.....	1
État de l’art.....	3
Écologie et enjeux de la gestion du raton laveur .....	3
Morphologie.....	3
Aire de répartition.....	3
Durée de vie et reproduction .....	4
Régime alimentaire .....	5
Espèce Exotique Envahissante .....	7
Utilisation de l’habitat par le raton laveur .....	12
Refuges .....	12
Territorialité .....	13
Domaine vital .....	13
Analyse de l’utilisation de l’habitat : Resource Selection Function .....	14
Conceptualisation.....	14
Modèle statistique .....	16
Matériel et méthode .....	18
Description de la zone d’étude.....	18
Récolte de données.....	19
Piégeage des rats laveurs et pose des colliers .....	19
Récupération des données GPS.....	21
Caractérisation du milieu .....	21
Préparation des données GPS .....	22
Préparation des données cartographiques .....	23
Analyse des domaines vitaux .....	25
Mesure de sélectivité de Manly .....	25
Analyse statistique des Modèles de sélection de la ressource (Resource Selection Function, RSF) .....	26
Influence des arbres à cavité.....	28

Résultats .....	29
Prévisualisation .....	29
Domaines vitaux .....	30
Mesure de sélectivité de Manly .....	32
Modèle de sélection de la ressource (Resource Selection Function, RSF) .....	33
Période d'étude complète .....	34
Modèles mensuels.....	35
Modèles individuels.....	36
Prédictions.....	37
Relevés de terrain.....	37
Influence des arbres à cavité.....	38
Discussion .....	39
Domaine vitaux.....	39
Variations dans les domaines vitaux des jeunes adultes .....	39
Ratios de sélection .....	40
Modèle de sélection de la ressource (Resource Selection Function, RSF) .....	41
Sélection des forêts .....	41
Sélection des milieux ouverts.....	45
Sélection des milieux anthropiques .....	46
Sélection des milieux humides .....	46
Arbres à cavité .....	47
Limites de l'étude .....	47
Perspectives.....	49
Conclusion .....	50
Participation personnelle au projet.....	51
Bibliographie.....	52
Annexes .....	59

## TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : EMPREINTE DE PATTE AVANT DE RATON LAVEUR.....	3
FIGURE 2 : DISTRIBUTION DU RATON LAVEUR EN EUROPE (BELTRÁN-BECK ET AL., 2012). ....	4
FIGURE 3 : RÉGIME ALIMENTAIRE DU RATON LAVEUR (PROCYON LOTOR) EN WALLONIE (LIBOIS ET AL., UNPUBLISHED DATA) .....	6
FIGURE 4 : LIMITES GÉOGRAPHIQUES DU TERRITOIRE DE SAINT-MICHEL FREYR ET LOCALISATION AU SEIN DE LA WALLONIE (SOURCE : BIODIVERSITE.WALLONIE.BE).....	18
FIGURE 5 : PHTO D'UN RATON LAVEUR ANESTHÉSIÉ LORS DE LA POSE DE COLLIERS.....	19
FIGURE 6 : DURÉE DE LA PRISE DE DONNÉES POUR CHAQUE COLLIER GPS. ....	21
FIGURE 7 : REPRÉSENTATION DES OUTLIERS SOUS FORME DE BOXPLOT AVANT (AU-DESSUS) ET APRÈS (EN-DESSOUS) LEUR SUPPRESSION. ....	22
FIGURE 8 : COEFFICIENT DE CORRÉLATION DE PEARSON REPRÉSENTANT LES GROUPES DE VARIABLES INTERCORRÉLÉES AVEC UNE LIMITE FIXÉE À 0,5. ....	24
FIGURE 9 : ZONE D'ÉTUDE : EMPRISE DU MCP 100 DE TOUS LES INDIVIDUS CONFONDUS, MAJORÉ D'UN TAMPON DE 500 M. EN COULEUR : LOCALISATIONS DE 2H D'INTERVALLE RETENUES POUR L'ÉTUDE. ....	24
FIGURE 10: REPRÉSENTATION DES POINTS DE PRÉSENCE ET DE PSEUDO-ABSENCE ÉCHANTILLONNÉS AU SEIN DES DOMAINES VITAUX (MCP100) DE CHAQUE INDIVIDU, TOUS POINTS CONFONDUS. ....	26
FIGURE 11 : DENSITÉ DE FRÉQUENCE DES DISTANCES (EN MÈTRES) PARCOURUES EN 5 MINUTES POUR CHAQUE INDIVIDU. ....	29
FIGURE 12 : ÉVOLUTION DU KDE (95%) PAR MOIS ET PAR INDIVIDU, SELON LE SEXE ET L'ÂGE. ....	30
FIGURE 13 : PROPORTIONS MOYENNES DE CHAQUE TYPE D'HABITAT AU SEIN DES DOMAINES VITAUX (MCP 100) PAR MOIS, POUR TOUS LES INDIVIDUS. ....	31
FIGURE 14 : PROPORTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE MILIEUX DISPONIBLES ET UTILISÉS AU SEIN DES DOMAINES VITAUX (MCP 100) PAR INDIVIDU (À DROITE) ET PAR MOIS (EN HAUT). ....	32
FIGURE 15 : RATIOS DE SÉLECTION DE RESSOURCES POUR LES DESIGN I, II ET III. LES DESCRIPTIONS DÉTAILLÉES DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL SONT PRÉSENTES EN ANNEXE 9. ....	33
FIGURE 16 : RAPPORTS DE COTES DE CHAQUE VARIABLE, TOUS LES MOIS ET INDIVIDUS CONFONDUS.....	34
FIGURE 17 : RAPPORTS DE COTES DE CHAQUE VARIABLE POUR LES MOIS DE MARS, AVRIL, MAI ET JUIN, TOUS INDIVIDUS CONFONDUS.. .....	36
FIGURE 18 : RAPPORTS DE COTES DE CHAQUE VARIABLE POUR LES 4 INDIVIDUS ÉTUDIÉS (BAGUERA, VALÉRIE, ACHILLE ET LUCIEN), TOUS MOIS CONFONDUS. ....	37
FIGURE 19 : DOMAINES VITAUX DE MARS (EN OPAQUE) ET JUIN (EN TRANSPARENCE) POUR CHAQUE INDIVIDU, AVEC LES ZONES DE REFUGES DÉTECTÉES CARTOGRAPHIQUEMENT.....	40

## TABLE DES TABLEAUX

---

TABEAU 1 : CLASSIFICATION DE PROCYON LOTOR.....	3
TABEAU 2 : ESPÈCES POTENTIELLEMENT IMPACTÉES PAR LA PRÉSENCE DU RATON LAVEUR EN WALLONIE..	7
TABEAU 3 : EXEMPLES DE DOMAINES VITAUX EN FONCTION DES SAISONS ET DES MILIEUX POUR LE RATON LAVEUR.....	14
TABEAU 4 : PARAMÈTRES SÉLECTIONNÉS DANS LE CADRE DE CE TFE POUR LES OBJECTIFS 1 ET 2.....	16
TABEAU 5 : CARACTÉRISTIQUES DES RATONS LAVEURS AYANT REÇU UN COLLIER GPS.....	20
TABEAU 6 : MÉDIANES, MOYENNES ET MINIMUM/MAXIMUM PAR MOIS DES DISTANCES (EN MÈTRES) PARCOURUES EN 2H. LES INTERVALLES DE CONFIANCE SONT INDICUÉS ENTRE PARENTHÈSES.....	29
TABEAU 7 : VARIATION DE DOMAINES VITAUX (MOYENNE (SD) EN HA) SUR BASE DES PÉRIODES D'OBSERVATION ET DES MÉTHODES (MCP ET KERNEL).....	30
TABEAU 8 : FRÉQUENCE D'OBSERVATION DE PRÉSENCE DES ITEMS ALIMENTAIRES MAJORITAIRES OBSERVÉS SUR LE TERRAIN, PAR CLASSES D'OCCUPATION DU SOL.....	38
TABEAU 8 : DISTANCES MOYENNES, MÉDIANES (EN MÈTRES) ET DÉVIATIONS STANDARDS ET COEFFICIENTS DE VARIATION ASSOCIÉS, ENTRE LES POINTS GPS ET LES ARBRES À CAVITÉS LES PLUS PROCHES, ET ENTRE LES POINTS ÉCHANTILLONNÉS ALÉATOIREMENT ET LES ARBRES À CAVITÉ LES PLUS PROCHES.....	38
TABEAU 10 : POURCENTAGES DE ZONES DE REFUGES POTENTIELS SE TROUVANT EN FORÊT FEUILLUES ET RÉSINEUSES. N = NOMBRE DE REFUGES POTENTIELS.....	42
TABEAU 11 : FRÉQUENCE D'OBSERVATION DE LA PRÉSENCE SUR LE TERRAIN DE GROS ARBRES MORTS, DE SOUCHES ET DE BOIS ÉCORCÉS, PAR CLASSES D'OCCUPATION DU SOL.....	43

# TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : CARTE DES EMPLACEMENTS DES PIÈGES DE CAPTURE POUR LA POSE DE COLLIERS GPS AU SEIN DU MASSIF DE SAINT-MICHEL FREYR. ....	59
ANNEXE 2 : TABLEAU DES PARAMÉTRAGES APPLIQUÉS AUX COLLIERS GPS AGOM SYSTEMS. ....	60
ANNEXE 3 : EXEMPLES DE CARTES PRODUITES EN VUE D'AMÉLIORER LA RÉCUPÉRATION DE DONNÉES SUR LE TERRAIN. ....	61
ANNEXE 4 : FORMULAIRE UTILISÉ SUR LE TERRAIN POUR LA CARACTÉRISATION DU MILIEU EFFECTUÉE DURANT LE MOIS DE JUIN. ....	61
ANNEXE 5 : TABLEAUX PRÉSENTANT LE NOMBRE DE DONNÉES DE DISPONIBILITÉ ET D'UTILISATION ÉCHANTILLONNÉES PAR RATON LAVEUR ET PAR MOIS, AINSI QUE LES TOTAUX PAR RATON LAVEUR (TABLEAU 1) ET PAR MOIS (TABLEAU 2). ....	64
ANNEXE 6 : CARTES DES VARIABLES EXPLICATIVES SÉLECTIONNÉES POUR L'ÉTUDE RSF. ....	65
ANNEXE 7 : REPRÉSENTATION DES POINTS DE PRÉSENCE ET DE PSEUDO-ABSENCE ÉCHANTILLONNÉS AU SEIN DES DOMAINES VITAUX (MCP100) DE CHAQUE MOIS, TOUS INDIVIDUS CONFONDUS. ....	66
ANNEXE 8 : REPRÉSENTATION DES POINTS DE PRÉSENCE ET DE PSEUDO-ABSENCE ÉCHANTILLONNÉS AU SEIN DES DOMAINES VITAUX (MCP100) DE CHAQUE INDIVIDU POUR DEUX MOIS. ....	66
ANNEXE 9 : DESCRIPTIONS DÉTAILLÉES DES ÉCOTOPES ÉTUDIÉS, TIRÉES DE LA GEODATABASE LIFEWATCH V2.9, SÉPARÉES EN QUATRE GRANDES CLASSES UTILISÉES POUR CE TRAVAIL. ....	67
ANNEXE 10 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLMM « GÉNÉRAUX » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES INDIVIDUS ET MOIS CONFONDUS. LA VARIABLE « INDIVIDU » A ÉTÉ INTÉGRÉE DANS LE MODÈLE EN TANT QUE VARIABLE ALÉATOIRE. ....	68
ANNEXE 11 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « MENSUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES INDIVIDUS POUR MARS. ....	69
ANNEXE 12 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « MENSUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES INDIVIDUS POUR AVRIL. ....	70
ANNEXE 13 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « MENSUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES INDIVIDUS POUR MAI. ....	71
ANNEXE 14 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « MENSUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES INDIVIDUS POUR JUIN. ....	72
ANNEXE 15 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « INDIVIDUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES MOIS POUR BAGUERA. ....	73
ANNEXE 16 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « INDIVIDUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES MOIS POUR ACHILLE. ....	74
ANNEXE 17 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « INDIVIDUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES MOIS POUR LUCIEN. ....	75
ANNEXE 18 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « INDIVIDUELS » TESTÉS AVEC LES DONNÉES DE TOUS LES MOIS POUR VALÉRIE. ....	76
ANNEXE 19 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « BIMENSUELS PAR INDIVIDU » TESTÉS POUR CHAQUE INDIVIDU POUR LA PÉRIODE MARS-AVRIL. ....	77
ANNEXE 20 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES MODÈLES GLM « BIMENSUELS PAR INDIVIDU » TESTÉS POUR CHAQUE INDIVIDU POUR LA PÉRIODE MAI-JUIN. ....	77
ANNEXE 21 : RÉSULTATS OBTENUS AVEC LA MÉTHODE « EN DEUX ÉTAPES » : MOYENNES ET ERREURS STANDARDS MOYENNES DES COEFFICIENTS INDIVIDUELS PAR DEUX MOIS. ....	78
ANNEXE 22 : CARTES DE PROBABILITÉ RELATIVE DE FRÉQUENTATION DES RATONS LAVEURS AU SEIN DU MASSIF DE SAINT-HUBERT. ....	78
ANNEXE 23 : TABLEAU DE RÉSULTATS OBTENUS SUR LE TERRAIN LORS DE LA PROSPECTION DE SITES EN JUIN. ....	79
ANNEXE 24 : TABLEAU DE RÉSULTATS OBTENUS SUR LE TERRAIN LORS DE LA PROSPECTION DE SITES EN JUIN (SUITE). ....	80
ANNEXE 25 : RESSOURCES ALIMENTAIRES OBSERVÉES SUR LE TERRAIN DURANT LE MOIS DE JUIN. ....	81

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

---

AIC	Aikake Information Criterion
AVI	Absolute Validation Index
CVI	Contrast Validation Index
DCENN	Direction des Cours d'Eau Non Navigables
DEMNA	Département de l'Étude des Milieux Naturels et Agricoles
DNF	Département de la Nature et des forêts
EEE	Espèce Exotique Envahissante
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
GLM	Modèle Linéaire Généralisé
GLMM	Modèle Linéaire Généralisé Mixte
GPS	Global Positionning System
Ha	Hectare
KDE	Kernel Density Estimator
m	Mètre
MCP	Polygone Minimum Convexe
MNH	Modèle Numérique de Hauteur
MPA	Minimal Predicted Area
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RSF	Fonction de Sélection de la Ressource
Sd	Écart-type
SMF	Saint-Michel Freyr
SPW	Service Public de Wallonie
SPWARNE	Service Public de Wallonie Agriculture, Ressources naturelles et Environnement
UG	Unité de Gestion
UHF	Ultra Haute Fréquence
VHF	Très Haute Fréquence
VIF	Variance Inflation Factor

# 1 INTRODUCTION

---

Une espèce exotique envahissante (EEE) est définie par le règlement (UE) n°1143/2014 du Parlement européen et du Conseil comme « une espèce exotique dont l'introduction ou la propagation s'est révélée constituer une menace pour la biodiversité et les services écosystémiques associés, ou avoir des effets néfastes sur la biodiversité et lesdits services » (Genovesi & Shine, 2003).

Relâché et naturalisé en Allemagne en 1934 (Lutz, 1984 ; Muller-Using, 1959), le raton laveur (*Procyon lotor*, Linné 1758) est depuis lors considéré en Europe comme une EEE, notamment en Belgique où il a été observé pour la première fois en 1986 dans le Limbourg (Libois, 1987). Sa grande adaptabilité, couplée à son caractère opportuniste et à l'absence de prédateurs naturels, a facilité son expansion (Bartoszewicz et al., 2008 ; Bartoszewicz, 2011 ; Salgado, 2018 ; Zeveloff, 2002). En Belgique, son impact sur l'environnement est encore peu connu. Cependant, en regroupant les résultats d'études effectuées dans d'autres pays, les observations de terrain ainsi que les connaissances sur son mode de vie, plusieurs impacts potentiels sur des espèces, protégées ou non, peuvent être mis en évidence : compétition avec d'autres mammifères, prédation sur les oiseaux, reptiles, amphibiens, micromammifères, poissons, etc. (Bartoszewicz, et al., 2008 ; Campos Martinez, 2013 ; Matsuo & Ochiai, 2009 ; Salgado, 2018 ; Schockert, 2017). Le raton laveur étant un animal omnivore et opportuniste (Zeveloff, 2002), sa prédation, et donc son impact, peuvent concerner un grand nombre d'espèces.

Depuis 2015, le raton laveur figure sur la « liste de l'Union », qui reprend les espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne (The European Commission, 2016). Cette liste est soumise au règlement des Espèces Exotiques Envahissantes de l'Union européenne (IAS-UE/1143/2014) (The European Commission, 2014). En Belgique, le raton laveur a été classé voici une dizaine d'années en tant qu'espèce A2 sur base du protocole ISEIA, ce qui signifie qu'il est sur la « liste noire », et donc considéré comme présentant un impact environnemental élevé, mais avec une distribution spatiale toujours restreinte (Branquart et al., 2009). Ce classement a surtout été guidé par application du « principe de précaution » étant donné le peu d'informations disponibles en Belgique sur cette espèce à ce moment (V. Schockert, communication personnelle). L'article 8(h) de la Convention sur la Diversité Biologique des Nations unies impose aux États membres de prévenir l'introduction de l'espèce, mais également de la contrôler ou de l'éradiquer quand cela est possible (Nations unies, 1992).

Dans le cadre de cette réglementation, des programmes de régulation intenses sont mis en place dans les aires naturelles et d'introduction de l'espèce, mais ceux-ci ne semblent pas suffisants pour endiguer son expansion (Bartoszewicz, 2011). En Wallonie, l'élimination de l'espèce semble irréalisable, compte tenu de sa densité sur le territoire et de flux de colonisation importants au départ des pays voisins. Il semble dès lors plus judicieux de se concentrer sur la protection d'espèces indigènes vulnérables au raton laveur. Or, comme évoqué précédemment, l'impact sur ces dernières n'est pas encore suffisamment quantifié en Wallonie, ce qui rend le ciblage d'espèces à protéger encore compliqué.

L'objectif de ce travail est donc de mieux comprendre la menace exercée par le raton laveur sur notre territoire, et d'identifier les espèces et habitats indigènes principalement ciblés par cette menace. Pour cela, une étude par suivi GPS sur la manière dont le raton laveur utilise son habitat, a été effectuée, dans le but d'appréhender la sélection des ressources et de l'espace par le raton laveur en fonction du temps. En outre, la connaissance des vitesses de déplacement peut alimenter les modèles d'estimation de population (type REM) et celle de la taille des domaines vitaux peut éclairer sur la pertinence de mesures localisées de contrôle.

L'objectif général de ce travail est donc l'étude de la sélection de l'habitat du raton laveur par l'analyse du lien entre les localisations d'un échantillon d'individus et une série de variables environnementales disponibles dans un habitat forestier wallon presque entièrement sous statut Natura 2000.

Cet objectif général se décline en plusieurs sous-objectifs :

- Objectif 1 : analyse de la sélection mensuelle (et des préférences) des habitats au sein du domaine vital chez l'espèce raton laveur (ordre 3), sur base d'un suivi GPS individuel, pour les mois de mars à juin.
- Objectif 2 : analyse de la sélection individuelle (et des préférences) des habitats au sein du domaine vital du raton laveur (ordre 3), sur base d'un suivi GPS individuel, pour la période de mars-juin.
- Objectif 3 : tentative d'explication fine de ces préférences par l'analyse sur le terrain des habitats sélectionnés au mois de juin.

## 2 ÉTAT DE L'ART

### 2.1 ÉCOLOGIE ET ENJEUX DE LA GESTION DU RATON LAVEUR

Le raton laveur (*Procyon lotor*, Linné 1758) est un mammifère de l'ordre des carnivores et de la famille des Procyonidae (tableau 1).

Tableau 1 : Classification de *Procyon lotor*

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-famille	Genre
Chordata	Mammalia	Carnivoria	Procyonidae	Procyoninae	Procyon

#### 2.1.1 Morphologie

Le raton laveur adulte mesure entre 60 et 105 cm, queue comprise, et pèse entre 3,6 et 9 kg (Zeveloff, 2002). Il est facilement reconnaissable à sa queue rayée et au masque noir et blanc qu'il porte sur le visage (Hayama et al., 2006).

Ses empreintes sont également très spécifiques, laissant deviner deux mains avant à 5 doigts bien séparés, légèrement boudinés à leur extrémité, qui ressemblent à des mains d'enfant (Figure 1). Les pattes postérieures, quant à elles, se distinguent par un talon bien marqué s'affinant vers l'arrière, ainsi que par leur taille légèrement supérieure à celle des pattes avant, pouvant atteindre 9,5 cm (Zeveloff, 2002).



Figure 1 : Empreinte de patte avant de raton laveur. Crédits : Vinciane Schockert, 2017

#### 2.1.2 Aire de répartition

Le raton laveur provient des forêts décidues et des montagnes rocheuses d'Amérique du Nord (Bartoszewicz, 2011). Suite à l'urbanisation et à des changements dans les pratiques agricoles, il a progressivement colonisé tout le continent américain, du sud du Canada jusqu'à l'Amérique centrale (Farashi et al., 2016 ; Kamler et al., 2003).

Il a été importé en Europe pour sa fourrure et naturalisé pour la première fois dans le Land de Hesse en Allemagne à la suite du lâcher intentionnel de 4 individus en 1934 (Lutz, 1984 ; Muller-Using, 1959). De multiples lâchers ont également eu lieu dans les républiques de l'ex-URSS entre 1936 et 1958, pour le développement d'espaces naturels et l'accroissement des profits liés à la chasse (Aliev & Sanderson, 1966 ; Czesnokov, 1989, cité par Bartoszewicz, 2011). Ailleurs en Europe, notamment dans le département de l'Aisne (France), l'espèce a été relâchée au niveau de la base militaire américaine de Couvron, où elle servait de mascotte (Léger, 1999). À toutes ces introductions s'ajoutent les individus qui se sont échappés de chez des particuliers, de parcs animaliers et de fermes d'élevage (Bartoszewicz, 2011).

Disposant d'une large niche écologique, le Procyonidé, adapté à nos climats, a pu survivre et former des populations viables dans ces différents pays d'introduction, avant de progressivement coloniser les pays adjacents, s'étendant en Europe de l'Ouest et centrale (Bartoszewicz, 2011 ; Biedrzycka et al., 2014). Cette progression a été accentuée par l'absence, ou presque, de ses prédateurs naturels (lynx, puma, cougar, alligator, loup) (Salgado, 2018). Le raton laveur est actuellement présent au Luxembourg, en Allemagne, aux Pays-Bas, en France, en Suisse, au Danemark, en Autriche, en Croatie, en Hongrie, en République tchèque, en Italie, en Irlande, au Royaume-Uni, en Slovaquie, en Lituanie, en Roumanie, en Slovénie, en Biélorussie, en Pologne, en Espagne et en Belgique (Bartoszewicz, 2011 ; Frantz et al., 2005 ; Tsiamis et al., 2017) (Figure 2).

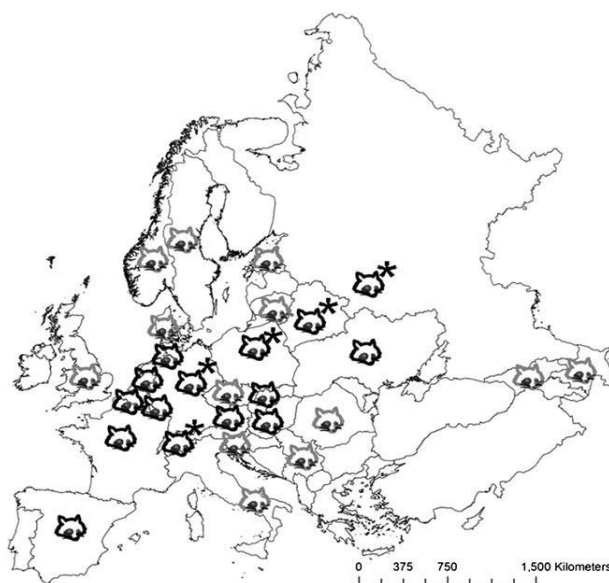


Figure 2 : Distribution du raton laveur en Europe. Astérisques = introductions délibérées; Sigles noirs = populations établies; Sigles gris = événements sporadiques de détection (Beltrán-Beck et al., 2012).

Jusqu'en 1980, les populations de raton laveur en Europe centrale sont restées stables mais, depuis 1990, l'espèce connaît un accroissement de sa population de plus de 300%, avec un taux exponentiel (Léger & Ruetten, 2014 ; Salgado, 2018). En Wallonie, l'expansion de la densité de population est observée sur le terrain depuis 2005, avec une explosion de traces relevées en 2010 (Tossens, 2020).

En Wallonie, la **densité de population** du raton laveur a été estimée en 2020 à 3,5 individus/100ha en Gaume, et 2,9 individus/100ha à Saint-Michel Freyr (Tossens, 2020). À type de milieu similaire, les densités calculées en Allemagne sont plus faibles que dans l'aire de distribution native du raton laveur, où les densités atteignent 10-12 individus par 100 ha, ce qui donne une indication quant au potentiel d'augmentation de la densité de population en Europe (Hohmann, 1998 ; Kaufmann, 1982, cités par Fischer et al., 2016). En Allemagne, en milieu urbain, ces densités peuvent atteindre 100 individus par 100 ha dans certaines villes (Hohmann & Bartussek, 2011, cité par Fischer et al., 2016), ce qui correspond aux densités présentes dans les milieux urbains en Amérique du Nord (Riley et al., 1998).

### 2.1.3 Durée de vie et reproduction

La **durée de vie** d'un raton laveur en milieu naturel est en moyenne de 2-3 ans (elle dépasse rarement 5 ans), alors qu'elle peut atteindre jusqu'à 20 ans en captivité (Rosatte et al., 2010 ; Schockert, 2017). Les causes de mortalité principales sont la chasse, le piégeage et les accidents de la route, suivies par des conditions hivernales rigoureuses et la malnutrition (Jule et al., 2008 ; Zeveloff, 2002). Deux autres causes de mortalité des ratons laveurs dans leur aire de répartition native sont la prédation par d'autres animaux (McWilliams & Wilson, 2015) et la maladie de Carré, qui est la seule maladie susceptible d'impacter ces populations (Zeveloff, 2002). Cependant, en Belgique, les seuls prédateurs concernés sont le loup et le lynx, qui sont très peu communs actuellement, le renard roux dont la prédation sur des juvéniles a été observée mais reste occasionnelle, ainsi que le hibou grand-duc qui

est en pleine progression en Wallonie, et qui consomme régulièrement du raton laveur (Schockert, 2017). Un premier foyer important de la maladie de Carré a été détecté dans la zone urbaine de Berlin, en Allemagne, en 2012-2013, menant à une hausse importante de la mortalité chez les ratons laveurs. Ce foyer provient de la transmission du virus entre les renards et les ratons laveurs (Rentería-Solís et al., 2014).

Le raton laveur est polygame. Le **taux de croissance annuel** de la population a été calculé en Allemagne entre 1996 et 2016, en divisant les récoltes de chasse des ratons laveurs d'une année, par celles de l'année précédente. À l'exception de quatre années où ce taux était inférieur à 1 (1 = population stable), il variait entre 1,03 et 1,79 pour toutes les autres années, en diminuant progressivement avec l'augmentation des tailles de population. Ce taux devrait se stabiliser lorsque la capacité d'accueil maximum sera atteinte (Salgado, 2018). Le taux de **reproduction** de l'espèce est très élevé, atteignant, selon une étude effectuée aux États-Unis, 73% en zone rurale (Prange & Wiggers, 2003), avec un pic de reproductivité à 2 ans et demi. La maturité sexuelle peut être atteinte à l'âge de 10 mois. Le succès de reproduction des femelles est influencé par le nombre d'arbres à cavité par hectare de forêt et par la taille des parcelles boisées (Endres & Smith, 1993 ; Rabinowitz & Pelton, 1986). Une portée comporte en moyenne de 2 à 5 petits, pouvant parfois monter jusqu'à 8 (Jolicoeur et al., 2011). La cellule familiale est composée de la mère et de ses petits, dont elle s'occupera jusqu'au printemps suivant (Zeveloff, 2002). Ensuite, les jeunes mâles cherchent un autre territoire, généralement dans un rayon de 5 à 10 km, tandis que les jeunes femelles soit restent dans le même domaine vital que leur mère, soit se dispersent dans une zone proche de celui-ci (Schockert, 2017 ; Zeveloff, 2002).

#### 2.1.4 Régime alimentaire

En tant qu'omnivore opportuniste, le raton laveur a un régime alimentaire très varié, s'adaptant aux saisons et aux différents habitats qu'il occupe (Bartoszewicz et al., 2008). Cela est accentué par l'habileté avec laquelle il utilise ses mains, et par son adresse (Ewer, 1998 ; Pettit, 2009), qui lui permettent de se procurer de la nourriture tant au sol que dans l'eau et dans les arbres (Zeveloff, 2002). Son caractère opportuniste l'incite à majoritairement ramasser et cueillir la nourriture qu'il trouve sur son passage (Zeveloff, 2002). Il se concentre donc sur les sources faciles d'accès et la plupart du temps abondantes, ce qui pourrait diminuer son impact potentiel en tant que méso-prédateur (V. Schockert, communication personnelle).

Il peut se procurer sa nourriture dans la nature, mais également parmi les déchets alimentaires en zone urbaine, dans les poubelles, dans les potagers et autres ressources anthropogéniques (Bartoszewicz et al., 2008 ; Zeveloff, 2002), ou encore dans les plantations agricoles (maïs entre autres) (Beasley & Rhodes, 2008). Une étude effectuée en Allemagne (parc national du Müritz) sur 219 fèces a mis en évidence la présence moyenne de 3 à 5 items différents de nourriture par excrément, pouvant aller jusqu'à 9 items par échantillon. Ces aliments varient fortement en fonction des saisons (Engelmann, 2011) :

- Au **printemps** (n=44), le raton laveur se nourrit principalement d'invertébrés (vers de terre, mollusques, insectes) et de vertébrés (amphibiens, poissons, mammifères), les noix et les fruits

étant encore peu disponibles. Il consomme également, de manière très minoritaire, des nichées d'oiseaux, des reptiles, du maïs et tout de même quelques noix, fruits et plantes.

- En **été** (n=94), il consomme une majorité d'invertébrés (vers de terre, mollusques, insectes), ainsi que beaucoup de fruits. Comme consommation minoritaire, on retrouve des amphibiens et des poissons, ainsi que des crustacés (écrevisses).
- En **automne** (n=70), ce sont les fruits qui constituent l'essentiel de son alimentation, mais il consomme également des invertébrés (mollusques, vers de terres, insectes) ; on note aussi une consommation très minoritaire de maïs.
- En **hiver** (n=11), il se nourrit encore majoritairement d'invertébrés (vers de terre). Il consomme également du maïs issu de cultures avoisinantes. Comme au printemps, on retrouve en hiver la consommation, bien que minoritaire, de mammifères et d'oiseaux, mais également de noix, d'insectes et de mollusques.

De manière générale, le raton laveur consomme plus de plantes que d'animaux et, parmi ceux-ci, plus d'invertébrés que de vertébrés (Zaveloff, 2002). Pourtant, une étude effectuée en Pologne sur cinq ratons laveurs occupant des milieux humides indique une consommation de 44% de micromammifères, suivis par 15% d'oiseaux, eux-mêmes suivis de près par des amphibiens et des poissons. Dans ce type de milieu, où la densité d'oiseaux est très élevée, l'étude met en évidence une faible consommation de plantes et un potentiel de prédation plus élevé, tout en relevant la présence non continue de l'animal, qui quitte la zone lors des périodes de montée des eaux (Bartoszewicz et al., 2008). Ces différentes études montrent une fois de plus la grande plasticité alimentaire du raton laveur en fonction de l'habitat utilisé.

En Wallonie, une étude non encore publiée de Libois (2021) sur 142 estomacs a mis en évidence une consommation majoritairement composée d'insectes (23%), de maïs (16%), d'amphibiens (12%), de fruits secs (glands, noisettes, châtaignes ; 14%) et de poissons (*Cottus sp.* ; 6%). Cependant, la variété de types de nourriture retrouvés est très large, avec : des vertébrés (de toutes les classes), des invertébrés (oligochètes, gastéropodes, arthropodes), des graines, des noix séchées (glands), des baies (myrtilles), des drupes (mûres, cerises), des fruits charnus (pommes) et des déchets alimentaires de source anthropique (Figure 3).

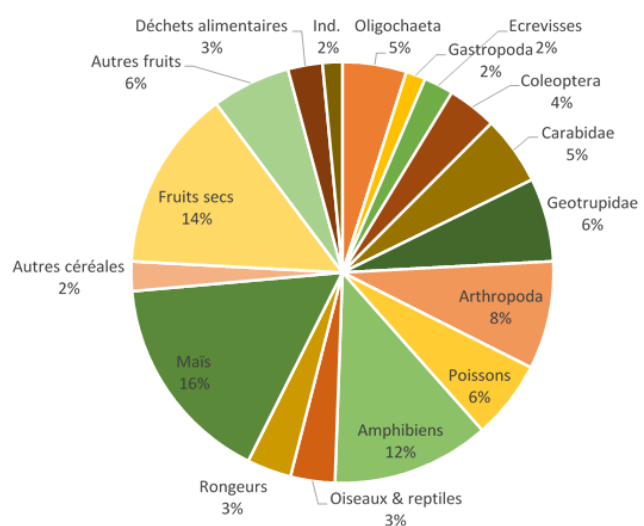


Figure 3 : Régime alimentaire du raton laveur (*Procyon lotor*) en Wallonie (Libois et al., unpublished data)

## 2.1.5 Espèce Exotique Envahissante

## 2.1.5.1 Impacts sur la flore et la faune autochtone

## 2.1.5.1.1 Prédation

Le raton laveur ayant la capacité de se procurer de la nourriture dans de nombreux types de milieux, son potentiel de prédation porte sur un grand nombre d'espèces différentes (Bartoszewicz et al., 2008 ; Zeveloff, 2002). Cependant, la plus grande partie de son régime alimentaire étant constituée de plantes et d'invertébrés, la prédation du raton laveur sur des espèces animales, protégées ou non, demeure limitée (Engelmann, 2011 ; Zeveloff, 2002).

Les impacts exacts liés à la prédation par le raton laveur en Wallonie n'ont pas encore été étudiés, mais plusieurs pistes sont avancées au travers d'une analyse de risque basée notamment sur l'impact constaté dans d'autres pays, sur les résultats préliminaires d'analyses de régime alimentaire en Wallonie (Schockert et al. 2017) ainsi que sur la note technique sur les mesures de prévention et contrôle des espèces susceptibles d'être prédatées en Wallonie, effectuée en parallèle de l'analyse de risque (Schockert, 2017).

Tableau 2 : Espèces potentiellement impactées par la présence du raton laveur en Wallonie. En bleu : espèces dont le statut est menacé.

	Prédation
Mollusques <sup>2</sup>	Moule perlière ( <i>Margaritifera margaritifera</i> ), Mulette épaisse ( <i>Unio crassus</i> )
Amphibiens	Grenouilles, Salamandres <sup>3</sup> Crapauds <sup>4</sup> : crapaud commun ( <i>Bufo bufo</i> ), crapaud calamite ( <i>Bufo calamita</i> ), Sonneur à ventre jaune ( <i>Bombina variegata</i> ), Alyte accoucheur ( <i>Alytes obstetricans</i> )
Insectes	Libellules <sup>5</sup>
Crustacés	Crevettes, Écrevisse à pattes rouges ( <i>Astacus astacus</i> ) <sup>6</sup>
Oiseaux	Toutes espèces confondues mais attention particulière sur : Gélinotte des bois ( <i>Bonasa bonasia</i> ) <sup>7</sup> , Hirondelles de rivage ( <i>Riparia riparia</i> ) <sup>8</sup> , Tétraz Lyre ( <i>Tetrao tetrix</i> ), Cigogne noire ( <i>Cigogna nigra</i> ), Bondrée apivore ( <i>Pernis apivorus</i> ), Grand-duc d'Europe ( <i>Bubo bubo</i> ), Faucon pèlerin ( <i>Falco peregrinus</i> ), Cincle plongeur ( <i>Cinclus cinclus</i> ) <sup>9</sup>
Poissons	Poissons d'eaux douces <sup>10</sup>
Chauves-souris	Toutes espèces confondues <sup>11</sup>

<sup>2</sup> Campos Martinez, 2013

<sup>3</sup> Bartoszewicz, 2011

<sup>4</sup> Engelmann, 2011 ; Beinlich, 2012

<sup>5</sup> Kunz, 2015

<sup>6</sup> Stuewer, 1943

<sup>7</sup> Bartoszewicz et al., 2008 ; Schmidt, 2003

<sup>8</sup> Comm. Pers. Vinciane Schockert

<sup>9</sup> Schockert, 2017

<sup>10</sup> Campos Martinez, 2013

<sup>11</sup> Schockert, 2017

Le tableau 2 représente une liste non-exhaustive des espèces présentes en Wallonie qui peuvent potentiellement être impactées par la prédation du raton laveur. Cependant, les études portant sur ces impacts n'ont pas toujours été concluantes.

En Allemagne, aucune preuve n'a pu être apportée concernant l'impact lié à la prédation sur les **mollusques** (Engelmann et al., 2011, cité par Schockert, 2017). En Wallonie, une analyse de risque préliminaire sur la moule perlière a mis en évidence un important déclin des populations entre 2003 et 2015, sans pouvoir en déterminer la cause exacte (Schockert, 2017). La possibilité d'une responsabilité du raton laveur ne peut pas être entièrement écartée, même si sa prédation semble limitée aux moules présentes dans les zones du lit de la rivière, faciles d'accès pour un raton laveur. En cas de sécheresse, la prédation pourrait être plus importante, la descente des eaux rendant l'accès aux moules plus facile, même si cela n'a pas été observé en Wallonie, lors de conditions météorologiques similaires (Schockert, 2017). En parallèle, une étude menée en 2020 suggère que le rat musqué est un prédateur bien plus préoccupant des naïades d'eau douce que le raton laveur (Lecuivre, 2020).

Comme mentionné précédemment, les ratons laveurs mangent majoritairement des grenouilles et des crapauds communs au printemps, durant la période de migration des **amphibiens** (Beinlich, 2012 ; Engelmann, 2011). Dans certaines régions, les quantités d'amphibiens prédatés observées ont été décrites comme impressionnantes, cette pression de prédation entraînant une diminution de la densité de population de crapauds communs et de grenouilles. Les autres amphibiens moins communs, comme le crapaud calamite et les salamandres, sont moins prédatés, de même que les grenouilles et crapauds communs en dehors de leur période de migration (Beinlich, 2012 ; Schockert, 2017). Même si le taux de prédation est faible, le crapaud calamite, qui est une espèce relictuelle menacée en Wallonie, pourrait être négativement impacté par le raton laveur étant donné les habitats qu'il fréquente (faible hauteur d'eau, accès aisé) (Schockert, 2017). Cependant, le raton prédatant majoritairement les espèces les plus abondantes, il n'y a, a priori, pas de risque d'extinction pour ces espèces moins communes (Beinlich, 2012).

Bien que cela reste occasionnel, les **écrevisses** sont principalement consommées durant le printemps et l'été (Stuewer, 1943). La prédation a lieu sur les écrevisses européennes (*Astacus astacus*), mais également sur les écrevisses de Louisiane (*Procambarus clarkii*) (Campos Martinez, 2013 ; García et al., 2012 ; Matsuo & Ochiai, 2009), espèce exotique envahissante dont l'important impact sur l'espèce européenne a été démontré (Diéguez-Urbeondo & Söderhäll, 1993). L'impact potentiel sur les écrevisses européennes doit être pris au sérieux, l'espèce étant déjà menacée sur notre territoire par l'aphanomyose (*Aphanomyces astaci* ; Kozubíková, et al., 2009 ; Schockert, 2017).

Aux États-Unis, l'impact sur les **oiseaux** nichant au sol a été quantifié lors d'une étude menée entre 1980 et 2001 dans l'Illinois. Ainsi, il a été démontré que les populations d'oiseaux a priori vulnérables au raton laveur ont diminué de 10 % en 10 ans, parallèlement à l'augmentation des densités de population de raton laveur, là où les populations d'oiseaux non vulnérables ont augmenté de 15% (Schmidt, 2003). Toutefois, d'autres sources d'impact potentielles n'ont pas été analysées lors de cette étude, ce qui ne permet pas de tirer de conclusions claires sur l'impact spécifique du raton laveur dans ce contexte. Selon une étude effectuée en Illinois, la prédation sur les nids en milieux ouverts semble être accidentelle : elle se produit lors de déplacements des ratons laveurs à travers les prairies pour

aller vers des milieux plus riches en ressources alimentaires tels que des milieux ouverts humides ou des zones urbaines. Cependant, les auteurs de cette étude soulignent le fait que cette prédation, même accidentelle, pourrait être importante dans les habitats fragmentés (Newbury & Nelson, 2007). De plus, l'impact sur les espèces menacées peut rapidement s'avérer important, même à taux de prédation faible.

L'étude de Engelmann (2011), qui s'est intéressée au régime alimentaire du raton laveur en fonction des saisons, indique que c'est au printemps et en hiver que l'impact potentiel sur la faune est le plus élevé.

Si des cas de prédation sur les espèces décrites précédemment par le raton laveur sont avérés, un impact au niveau populationnel n'a pas toujours été prouvé. L'aspect opportuniste du raton laveur l'amène à prédateur des espèces périodiquement abondantes (Zeweloff, 2002). De plus, une étude effectuée en Allemagne n'a pas pu mettre en évidence un impact significatif sur la faune native (Lutz, 1983, cité par Schockert, 2017). Selon Kowarik (2003) et Winter (2011) (cités par Beinlich, 2012), aucune preuve n'a encore été rapportée concernant l'impact réel par le raton laveur sur les populations d'oiseaux nichant au sol et d'amphibiens, bien que des cas de prédation aient été documentés. À l'exception de tortues en Allemagne (*Emys orbicularis*) et en Espagne (*Mauremys leprosa*), qui ne sont pas présentes en Wallonie, aucun autre impact sérieux sur les reptiles n'a pu être mis en évidence (Alvarez, 2008 ; cité par García et al., 2012 ; Schneeweib & Wolf, 2009 ; Zeweloff, 2002). La prédation par le raton laveur pourrait, en revanche, représenter une menace supplémentaire pour les espèces dont le statut de conservation est menacé et dont la distribution est très limitée. Les avis concernant l'impact du raton laveur divergent encore à ce jour, compte tenu du peu d'études qui ont été menées, et des impacts différents en fonction des zones géographiques étudiées.

#### 2.1.5.1.2 Compétition

Outre la prédation, l'impact du raton laveur sur d'autres espèces peut être la conséquence d'une situation de compétition. Cette compétition est majoritairement liée à la disponibilité des abris et de la nourriture, et peut être renforcée par le comportement agressif du raton laveur (Salgado, 2018). Les espèces natives de Wallonie qui pourraient entrer en compétition avec ce dernier sont : le chat sauvage (*Felis silvestris*), le renard roux (*Vulpes vulpes*), le putois (*Mustela putorius*), la martre des pins (*Martes martes*), la fouine (*Martes foina*) et le blaireau (*Meles meles*).

La **compétition pour les refuges** n'a cependant pas encore été prouvée avec le chat sauvage (Hohmann & Hupe, 1999, cité par Bartoszewicz, 2011). Pour autant que la densité de population des raton laveur soit faible, le blaireau, le renard, la fouine et la martre des pins ne semblent pas non plus impactés par une compétition pour les refuges (Drygala & Zoller, 2013 ; Fiderer et al., 2019 ; Lutz, 1981, cité par Schockert, 2017). Le putois et la martre, quant à eux, peuvent occuper des refuges trop étroits pour le raton laveur, ce qui limite la compétition (Schockert, 2017).

Aucune **compétition alimentaire** n'a pu être mise en évidence non plus, ce qui peut être expliqué par le fait que le raton laveur consomme majoritairement les espèces les plus abondantes (Roger et al., 1988, cité par Schockert, 2017 ; Zeweloff, 2002). En Wallonie, la compétition avec le putois n'a pas pu

être prouvée (Gautherot, 2011). La fouine et la martre ne sont pas concernées par la compétition alimentaire, ces deux espèces ayant un régime alimentaire trop éloigné de celui du raton laveur (Campos Martinez, 2013 ; Schockert, 2017). La compétition alimentaire est fonction de la disponibilité alimentaire, ce qui signifie qu'elle peut fortement varier d'une zone géographique à l'autre (Drygala & Zoller, 2013).

Le raton laveur peut également se trouver en compétition avec d'autres espèces pour les **espaces de reproduction**. Cette compétition pourrait toucher plusieurs espèces de rapaces nocturnes (Kobayashi et al., 2014). En Wallonie, cela pourrait concerner entre autres la chouette effraie (*Tyto alba*), la chouette hulotte (*Strix aluco*), la chevêche d'Athéna (*Athene noctua*), le hibou moyen-duc (*Asio otus*) ou le hibou grand-duc (*Bubo bubo*).

#### 2.1.5.2 Impacts sanitaires

En Amérique du Nord, les problèmes sanitaires posés par le raton laveur sont essentiellement liés à la rage (Bartoszewicz, 2011). Certains cas de rage ont été constatés en Europe mais, pour l'instant, cela ne semble pas représenter une menace pour la Wallonie, les foyers connus se situant à plus de 1000 km de chez nous. Ce risque est toutefois à prendre au sérieux compte tenu de l'augmentation des densités de population de raton laveur (Lutz, 1996 ; Vos et al., 2012). En Allemagne, 70 à 80% des rats sont également porteurs du *Baylisascaris procyonis* (Hohmann et al., 2001), un nématode transmissible à l'homme dont les larves peuvent être responsables de l'affection connue sous le nom de « larva migrans » qui, chez les jeunes enfants, peut occasionner des troubles du système nerveux et des atteintes oculaires. Cependant, en Allemagne, très peu de cas ont été détectés jusqu'à présents sur les humains. L'OMS l'a tout de même classé en tant que zoonose ayant un « impact actuel et potentiellement croissant » en Europe, à cause de la proximité entre les rats laveurs et les humains, par leurs densités en zones urbaines (Maas et al., 2021). Ce parasite peut également être dangereux pour la faune native, car il peut toucher d'autres espèces de mammifères et des oiseaux (Teer, 2006, cité par Bartoszewicz, 2011).

#### 2.1.5.3 Impacts économiques

Il arrive que le raton laveur s'attaque aux cultures, notamment de maïs, aux vergers ou, dans les zones domestiques, aux poubelles, aux potagers et même aux animaux d'élevage comme les poules (Michler & Michler, 2012). En Allemagne, tout comme au Québec, à part quelques attaques sporadiques sur des cultures, le raton laveur ne semble pas avoir d'impact économique significatif : cet impact concerne moins d'1% de la valeur totale de la production (Lutz, 1996; Rivest & Bergeron, 1981). En effet, un calcul effectué sur base de la consommation journalière de nourriture par le raton laveur a permis d'obtenir une valeur moyenne de 1,05 ares de dégât par parcelle agricole, ce qui a été confirmé par les observations faites sur le terrain. L'impact serait dès lors plus important au niveau des jardins de particuliers que dans les productions agricoles (Schockert, 2017).

#### 2.1.5.4 Méthodes de régulation

La méthode de régulation la plus utilisée au monde est la chasse. En Allemagne, 200.000 individus sont tués annuellement depuis les quelques dernières années (Thünen-Institut, 2021).

En **Europe**, le raton laveur est considéré comme espèce gibier dans plusieurs pays tels que la Suisse et la France. En Allemagne, où il a été naturalisé, il possède le statut d'espèce autochtone depuis 1980.

En **Belgique**, la lutte est effectuée par le Département de la Nature et des Forêts du Service Public de Wallonie (DNF) qui collabore avec des opérateurs spécialisés de la Cellule interdépartementale sur les Espèces invasives, des propriétaires privés, des chasseurs et des agents forestiers. Les méthodes mises en œuvre sont le piégeage par cage appâtée, la destruction au gîte lors de la lutte dans les zones sensibles et le tir (Branquart et al., 2008). Les pièges utilisés sont les pièges de type pièges à patte (*egg trap*), pour lesquels des dérogations très spécifiques sont nécessaires, et les pièges-cages non létaux (cages métalliques). De légères modifications ont dû être effectuées sur les cages, notamment pour empêcher le raton, très agile, de pouvoir en sortir, ainsi que pour en augmenter la spécificité (Leuris B., communication personnelle).

En **Wallonie**, la législation autour des tirs sur raton laveur repose sur la circulaire 2688 du 23 janvier 2007 de Chasse et Pêche relative à la régulation des espèces animales non indigènes. Selon cette circulaire, le raton laveur peut être tiré par « un chasseur lorsqu'il se trouve en action de chasse sur un territoire où il possède le droit de chasse, par un garde champêtre particulier sur le territoire pour lequel il est commissionné, par un occupant sur ses biens ou sur ceux qu'il exploite dans le cas où ces animaux porteraient atteinte à ces biens et à la condition que l'occupant possède un permis de chasse valide, par les fonctionnaires et préposés de la Division de la Nature et des Forêts dans les bois soumis au régime forestier, dans les propriétés rurales domaniales ainsi que dans les propriétés privées lorsqu'ils sont requis par le propriétaire ou l'ayant droit. »

Bien que des méthodes de régulation soient mises en œuvre, une éradication de l'espèce semble à présent inatteignable. En effet, comme cela a déjà été prouvé pour d'autres espèces, la baisse de densité causée par les campagnes d'éradication peut entraîner une hausse du taux de reproduction, un taux de survie plus élevé chez les espèces ciblées et des migrations des zones à forte densité vers les zones à faible densité (phénomène du « vacuum biologique » ; Rosatte et al., 1986). La restauration rapide des densités de population de raton laveur qui peut être constatée après une période de forte régulation semble surtout provenir du haut taux de reproduction de l'espèce, plutôt que des migrations liées au vacuum biologique (Rosatte et al., 2007). Ainsi, une tentative d'éradication a déjà été menée en Allemagne dans les années 1950, avec 50.000 individus tués chaque année, sans succès (Vos et al., 2012). Les méthodes de régulation seules semblent également avoir un impact mitigé sur l'expansion de l'espèce (Schockert, 2017). De plus, parvenir à une régulation efficace de l'espèce ne pourra s'envisager qu'au travers d'efforts de coopération entre les différents pays (Maillard et al., 2020) – cf. par exemple les contacts existant entre la population belgo-allemande de ratons laveurs présente en Wallonie et celle du département de l'Aisne en France.

Une autre méthode qui peut être appliquée consiste à tenter de réguler l'espèce dans certaines zones spécifiques. Par exemple, en Pologne, le projet LIFE EU, qui s'est terminé en 2014, incluait des mesures de destruction des ratons laveurs dans les vastes zones de protection pour les oiseaux (Bartoszewicz, 2011). Un plan similaire a été mis en place en Allemagne dans des aires protégées autour de Berlin, pour la protection des colonies d'oiseaux marins. En Wallonie, une campagne de destruction intensive du raton laveur en zone de Peste Porcine Africaine (PPA) a eu lieu de mai 2019 à septembre 2020.

Durant cette période, 1685 individus ont été piégés, ce qui a permis de diminuer les déclenchements de pièges à sangliers par les rats laveurs (Service public de Wallonie agriculture, ressources naturelles, environnement, 2020). Ces expériences de piégeage dans des zones ciblées ont montré l'efficacité de la technique pour la protection d'espèces ciblées (Harfenist et al., 2000). Ces résultats prouvent à quel point il est important de bien cibler les espèces autochtones pour lesquelles une protection contre l'impact du raton laveur doit être envisagée, ainsi que les habitats où la mettre en place. À noter que la protection peut associer des moyens de prévention pour l'espèce impactée avec la destruction de rats laveurs.

## 2.2 UTILISATION DE L'HABITAT PAR LE RATON LAVEUR

Le raton laveur est un généraliste (Zeweloff, 2002). Avec sa large niche écologique et ses grandes capacités d'adaptation, on peut le trouver dans de nombreux types d'habitats différents. Son utilisation de l'habitat varie avec l'abondance des ressources en fonction des saisons ; il préfère donc les paysages fragmentés et hétérogènes aux grandes zones boisées (Byrne & Chamberlain, 2011). On peut ainsi le trouver dans des milieux qui vont des prairies humides et marécageuses aux forêts de bas-fonds, jusqu'aux zones suburbaines (Bartoszewicz et al., 2008 ; Ikeda et al., 2004), où la majorité des rats laveurs présents sont des femelles (McWilliams & Wilson, 2015). Le raton laveur est également attiré par les zones cultivées, telles que les champs de maïs, à proximité des lisières forestières (Mito, 2006). Les seules conditions nécessaires à son implémentation sont la présence d'eau et d'abris, ainsi que la disponibilité de ressources alimentaires (Stuewer, 1943). Selon plusieurs études (Gehrt & Fritzell, 1998 ; Henner et al., 2004 ; Stuewer, 1943), l'accès permanent ou semi-permanent à une source d'eau est le facteur principal expliquant l'activité du raton laveur et sa sélection d'abris. C'est pourquoi, malgré cette diversité des milieux susceptibles de lui convenir, on le trouve principalement dans les fonds de vallées boisés, préférant les vieux peuplements mixtes caducifoliés, et à proximité de cours d'eau (Bartoszewicz et al., 2008 ; Branquart et al., 2009 ; Zeweloff, 2002), soit le type de milieu qui regroupe le mieux les trois critères cités précédemment : la présence d'eau, d'abris et de nourriture (Bartoszewicz, 2011). Cependant, en l'absence de ces milieux, ils peuvent s'adapter en utilisant d'autres types de milieux, comme ce fut le cas pour une femelle au Luxembourg qui vivait dans une plantation d'épicéas qu'elle utilisait comme gîte (Frantz et al., 2005). C'est également le cas en Pologne, où les rats laveurs utilisent des zones humides comportant des saules et des roselières (Bartoszewicz et al., 2008).

### 2.2.1 Refuges

Comme refuge, l'espèce utilise principalement des arbres à cavités et des terriers creusés par d'autres mammifères (renard ou blaireau principalement), mais elle peut également s'adapter à la disponibilité du milieu en utilisant une anfractuosité rocheuse, une souche, un tapis de végétation dense au sol ou encore une structure anthropique (Bartoszewicz et al., 2008 ; Endres & Smith, 1993 ; Frantz et al., 2005 ; Gehrt, 2003 ; McWilliams & Wilson, 2015). De nature nocturne, le raton laveur utilise ces refuges comme zones de repos diurne (Gehrt, 2003). Le choix du refuge dépend de la météo, une cavité étant préférentiellement sélectionnée en cas de beau temps, tandis qu'un terrier souterrain sera favorisé lorsque les conditions sont plus rigoureuses, a fortiori en hiver (Endres & Smith, 1993). Le

raton laveur occupe généralement plusieurs refuges différents simultanément, particulièrement lorsque son domaine vital est fort étendu (Gehrt, 2003). Ainsi, en Amérique du Nord, une moyenne de 12 refuges par individu a été obtenue au printemps (Endres & Smith, 1993). Pour survivre aux hivers rigoureux des climats tempérés, en cas de couche épaisse de neige, les rats laveurs peuvent entrer dans une période de dormance et rester inactifs, bien qu'ils n'hibernent pas (Zaveloff, 2002).

### 2.2.2 Territorialité

La territorialité des rats laveurs mâles dépend de la distribution des femelles et de la défense des ressources du territoire (Gehrt & Fritzell, 1998). Ils peuvent se montrer territoriaux lorsque les ressources, alimentaires ou reproductives, doivent être protégées (Fritzell, 1978). Dans le cas d'une forte abondance des ressources, les densités de population augmentent et les animaux sont moins territoriaux, le besoin de protection des ressources se faisant moins ressentir (Wilson & Ruff, 1999, cité par Schockert, 2017). C'est le cas en zone suburbaine en Pologne, où les domaines vitaux des rats laveurs se recouvrent largement (Bartoszewicz et al., 2008). Dans des situations de forte densité de populations, les mâles peuvent former des coalitions entre eux, partageant ainsi leur territoire (Gehrt & Fritzell, 1998 ; Pitt et al., 2008).

### 2.2.3 Domaine vital

La taille et l'emplacement du domaine vital du raton laveur varie fortement en fonction de la disponibilité alimentaire, du sexe et de la saison (Byrne & Chamberlain, 2011 ; Hohmann et al., 2000). Ainsi, en Pologne, la taille du domaine vital en milieu urbain/suburbain est plus petite que celle en milieu ouvert humide, elle-même plus faible qu'en zone forestière, la disponibilité alimentaire de ces milieux allant en décroissant (Bartoszewicz et al., 2008). Le domaine vital des mâles dépend de la distribution spatiale des femelles (Frantz et al., 2005 ; Fritzell, 1978), qui elle-même dépend de la disponibilité des ressources (Gehrt & Fritzell, 1998). Certaines études ont montré que le domaine vital des femelles est près de 3 fois inférieur à celui des mâles, et qu'il augmente à l'approche de l'été (Hohmann et al., 2000 ; Prange et al., 2004). D'autres résultats ont été obtenus en Illinois, où la différence entre les domaines vitaux des femelles et des mâles est moins marquée ; il a par ailleurs été observé dans cette région que l'augmentation des domaines vitaux se produit surtout en automne (Prange et al., 2004). Selon une autre étude effectuée par Byrne et Chamberlain (2011), les domaines vitaux augmentent durant la saison de reproduction. Le tableau 2 illustre la variabilité dans la dimension des domaines vitaux rapportée par différentes études.

Tableau 3 : Exemples de domaines vitaux en fonction des saisons et des milieux pour le raton laveur.  $n$  = Nombre d'individus suivis.

Lieu	Domaines vitaux	Méthode	n	Saison	Milieu
Grand-Duché du Luxembourg <sup>12</sup>	340 ha	MCP 100	1	printemps	Rural
Allemagne centrale <sup>13</sup>	677 ha	MCP 100	8	été	Rural
Illinois <sup>14</sup>	40 ha 70-180 ha	Kernel 95	29 39	Toute l'année	Urbain, suburbain Rural
Nebraska <sup>15</sup>	40 ha	Kernel 95	4	Hiver	Rural
Pologne <sup>16</sup>	100 ha 1000 ha 6000 ha	Kernel 95	5 5 1	Toute l'année	Suburbain Ouvert humide Forestier

## 2.3 ANALYSE DE L'UTILISATION DE L'HABITAT : RESOURCE SELECTION FUNCTION

### 2.3.1 Conceptualisation

Une fonction de sélection de ressources (Resource Selection Function – RSF) est définie comme « toute fonction proportionnelle à la probabilité d'utilisation par un organisme » (Manly et al., 2002), c'est-à-dire que c'est une fonction permettant de déterminer la probabilité d'utiliser une ressource particulière par un animal, proportionnellement à la disponibilité de cette ressource dans l'environnement. Cela permet de déterminer si une ressource est sélectionnée, évitée, ou ni l'un ni l'autre lorsqu'elle est consommée de manière proportionnelle à sa disponibilité.

Les modèles de RSF ont de nombreuses applications dans le milieu de la gestion de la faune, telles que l'évaluation des effets cumulés, la planification de la gestion de l'environnement et l'analyse de la viabilité d'une population (Boyce et al., 1994 ; Boyce & Waller, 2000, cités par Boyce et al., 2002 ; Boyce & McDonald, 1999). Un des principaux atouts des RSFs est la prédiction qu'ils permettent sur l'utilisation future de l'habitat et des ressources par les animaux.

Johnson (1980) a défini plusieurs termes liés à l'utilisation de composants de la manière suivante :

- **Abondance** d'un composant : quantité de ce composant dans l'environnement, telle que définie indépendamment du consommateur ;
- **Disponibilité** d'un composant : accessibilité de ce composant par le consommateur ;
- **Utilisation** d'un composant par le consommateur : quantité de ce composant utilisée par le consommateur durant une période de temps fixe ;
- **Sélection** d'un composant : processus par lequel un animal choisit ce composant ;
- L'utilisation est dite **sélective** si les composants sont utilisés de manière disproportionnée par rapport à leur disponibilité ;

<sup>12</sup> Frantz et al., 2005

<sup>13</sup> Hohmann et al., 2000

<sup>14</sup> Prange et al., 2004

<sup>15</sup> McWilliams & Nowak, 2015

<sup>16</sup> Bartoszewicz et al., 2008

- **Préférence** d'un consommateur pour un composant spécifique : reflète la probabilité avec laquelle ce composant est choisi s'il est proposé sur un pied d'égalité avec les autres.

La modélisation des RSFs peut porter sur 4 ordres de sélection, à des échelles différentes (Johnson, 1980) :

1. Premier ordre de sélection : aire de répartition de l'espèce.
2. Deuxième ordre de sélection : domaine vital de chaque individu, ou groupe d'animaux, au sein d'une zone d'étude.
3. Troisième ordre de sélection : utilisation des ressources et/ou de l'habitat au sein du domaine vital.
4. Quatrième ordre de sélection : utilisation de ressources spécifiques (par exemple : nourriture) sur des sites spécifiques.

Dans le cadre de ce travail, une analyse a été effectuée au niveau du 3<sup>e</sup> ordre de sélection, afin de déterminer la sélection des ressources au sein du domaine vital de chaque individu. Ensuite, une étude préliminaire a été effectuée durant le mois de juin au niveau du 4<sup>e</sup> ordre de sélection afin de déterminer les ressources précises qui ont été utilisées par le raton laveur dans les habitats qu'il a sélectionné. Cette seconde analyse préliminaire a pour objectif d'ouvrir des pistes d'hypothèses, de réflexions et de discussion concernant l'impact du raton laveur sur son habitat, ainsi que concernant la méthode d'analyse utilisée.

Pour estimer un RSF, il est nécessaire d'avoir deux des trois types de données suivantes : présence, absence ou disponibilité. Ces données représentent les observations d'utilisation, ou non, des ressources par l'animal étudié (Boyce et al., 2002). Les trois protocoles d'échantillonnage communément utilisés dépendent du type de données mesurées (Manly et al., 2002) :

- **Protocole SP-A** : les unités de ressources disponibles sont soit échantillonnées aléatoirement, soit recensées et les unités de ressources utilisées sont échantillonnées aléatoirement.
- **Protocole SP-B** : les unités de ressources disponibles sont soit échantillonnées aléatoirement, soit recensées et les unités de ressources inutilisées sont échantillonnées aléatoirement.
- **Protocole SP-C** : les unités de ressources inutilisées et les unités de ressources utilisées sont échantillonnées indépendamment.

Étant donné l'impossibilité d'affirmer avec certitude qu'une ressource n'a pas été utilisée par un raton laveur sur l'ensemble de la zone d'étude, les données sur les ressources inutilisées n'ont pas été récoltées dans le cadre de cette analyse. Ainsi, les données analysées sont celles des ressources utilisées et des ressources disponibles (modèle « use/availability »), et le protocole d'échantillonnage est le SP-A.

La sélection d'habitat peut avoir lieu au sein de nombreuses catégories discrètes d'habitats (ex : champ ouvert, forêt, affleurement rocheux) ou au sein d'une gamme continue d'attributs d'habitat (densité d'arbustes, pourcentage de couverture, distance par rapport à un cours d'eau, hauteur de la canopée). Les variables observées peuvent donc être discrètes, continues, ou une combinaison des deux (Manly et al., 2002).

Thomas et Taylor (1990) ont identifié trois designs d'étude généraux pour l'évaluation de la sélection :

- **Design I** : les sélections des ressources utilisées et disponibles sont mesurées au niveau de la population. Les individus ne sont donc pas identifiés.
- **Design II** : la sélection des ressources utilisées est mesurée pour chaque individu identifié séparément, mais la disponibilité est mesurée au niveau de la population.
- **Design III** : les sélections des ressources utilisées et disponibles sont mesurées pour chaque individu identifié séparément.

Plus tard, Erickson et al. (2001) ont identifié un quatrième design d'étude :

- **Design IV** : la sélection des ressources utilisées est mesurée pour chaque animal, et la disponibilité est mesurée pour chaque localisation d'utilisation. Donc, les mesures d'utilisation et de disponibilité sont couplées pour chaque utilisation.

La comparaison des ressources utilisées avec les ressources disponibles au sein d'un domaine vital peut cependant être biaisée, le domaine vital pouvant déjà être perçu comme une première forme de sélection du milieu et de ses ressources par l'animal (Johnson, 1980).

Le tableau 4 reprend les différents paramètres sélectionnés pour l'étude.

Tableau 4 : Paramètres sélectionnés dans le cadre de ce TFE pour les objectifs 1 et 2.

Ordre de sélection	3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup>
Design	Design III
Protocole d'échantillonnage	SP-A
Modélisation	Régression logistique

### 2.3.2 Modèle statistique

Le modèle statistique le plus fréquemment utilisé dans le cadre d'une RSF est la régression logistique en tant que fonction d'estimation, c'est-à-dire un modèle linéaire généralisé binomial (GLM) (Boyce et al., 2002). C'est une méthode statistique très mature et bien documentée, ce qui justifie son choix fréquent (Fithian et al., 2013).

La régression logistique est effectuée avec des données binaires (0 et 1) : elle modélise la probabilité logarithmique d'avoir un « 1 » (=présence de l'animal) selon l'équation (1), qui peut être modélisée en tant que fonction linéaire de plusieurs covariables et paramètres de régression. Le modèle se fait sur une échelle logit car il est plus simple de le transformer afin d'obtenir des probabilités entre 0 et 1. L'équation (1) permet donc d'obtenir une probabilité de succès entre 0 et 1.

$$\log \left[ \frac{p_i}{1 - p_i} \right] = \text{logit}(p_i) = \beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + \dots + x_p\beta_p$$

$$p_i = \frac{\exp(\beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + \dots + x_p\beta_p)}{1 + \exp(\beta_0 + x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + \dots + x_p\beta_p)} \quad (1)$$

Avec  $p_i$  = probabilité de succès ;  $\beta_0$  = intercept ;  $x_1, x_2 \dots x_p$  = covariables ;  $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_p$  = coefficients de régression (Manly et al., 2002).

Lors d'une régression logistique avec des données de type « utilisation-disponibilité » (protocole SP-A), les données ne suivent plus une distribution de Bernoulli. La formule devient donc :

$$w(x, \beta) = \exp(x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + \dots + x_p\beta_p) \quad (2)$$

L'intercept est alors ignoré.

À partir des résultats de la régression logistique, l'« Odds ratio » (ou « rapport des cotes ») peut être généré (3). Cela représente, pour chaque variable explicative, la variation de la probabilité d'avoir une présence en fonction de l'augmentation ou de la diminution de la valeur de la variable explicative en question.

$$Odds\ ratio_p = \exp(\beta_p) \quad (3)$$

Avec  $p$  = variable explicative ;  $\beta_p$  = coefficient de régression de la variable explicative.

Les données nécessaires pour ajuster une régression logistique sont donc : nombre de succès observés sous  $m$  différentes conditions, nombre de tentatives pour chacune des conditions, et valeurs  $x_1$  à  $x_p$  des variables explicatives, avec un ensemble de valeurs pour chaque condition  $m$ . Les estimations des valeurs  $\beta_0$  à  $\beta_p$  sont obtenues avec la « maximum likelihood » ou « vraisemblance maximale » (Manly et al., 2002).

### 3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

#### 3.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

D'une superficie de 4.100 ha, la forêt de Saint-Michel Freyr fait partie du massif de Saint-Hubert (Figure 4). Elle est, avec l'Hertogenwald, un des deux territoires des Chasses de la Couronne.

La forêt de Saint-Michel Freyr est divisée en deux par une nationale à quatre bandes, la N89, aux bordures de laquelle sont placées des clôtures qui empêchent le passage des grands ongulés.

Le territoire est à cheval sur la Moyenne et la Haute Ardenne, avec des altitudes allant de 320 m à la vallée de la Diglette, près du fourneau Saint-Michel, jusqu'à 570 m au niveau de Falgaude, près de la Nationale 89. La température moyenne annuelle y est de 7,5°C et les précipitations de 1.150 mm par an. La période sans gelées est d'environ 145 jours.

La forêt est représentée par une mosaïque de peuplements de feuillus et de résineux, plantés ou naturels. Les essences dominantes sont sans conteste le hêtre commun et l'épicéa. Le grand gibier (cerf, chevreuil et sanglier) y est chassé. Vingt-trois sites de Grand Intérêt Biologique y sont répertoriés et l'entièreté de la partie Nord de Saint-Michel Freyr se retrouve dans le réseau Natura 2000. L'Unité de Gestion majoritairement représentée est celle des forêts indigènes de grand intérêt biologique (UG 8), suivie de loin par les milieux ouverts prioritaires (UG 2) et les forêts non indigènes de liaison (UG 10).

Des projets de restauration y ont déjà été effectués, avec notamment le projet LIFE Saint-Hubert qui a mené à la restauration de nombreux habitats tourbeux et humides. Ce projet a permis la réouverture du milieu sur au moins 150 hectares, ainsi que le rétablissement du régime hydrique sur plus de 100 km.

La gestion de l'ensemble du territoire est effectuée par le cantonnement forestier de Nassogne, la moitié de la superficie étant domaniale, et l'autre moitié communale (9 communes au total, ce qui atteste de la complexité de la gestion d'un tel territoire).

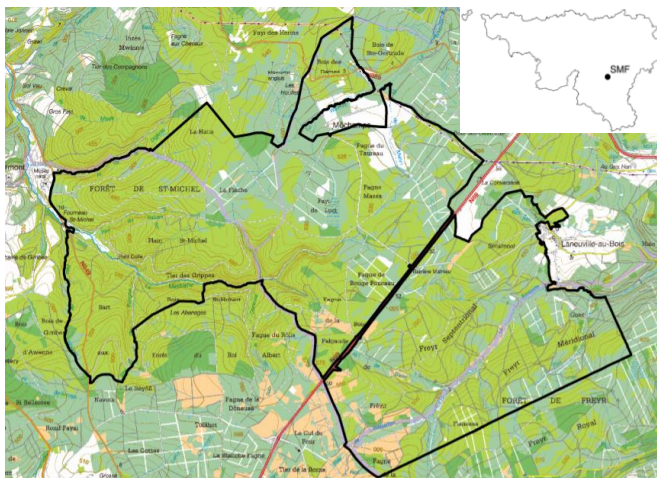


Figure 4 : Limites géographiques du territoire de Saint-Michel Freyr et localisation au sein de la Wallonie (Source : biodiversite.wallonie.be).

## 3.2 RÉCOLTE DE DONNÉES

### 3.2.1 Piégeage des ratons laveurs et pose des colliers

La pose de colliers GPS sur les ratons laveurs que nous avons réalisée pour ce travail a été la première effectuée en Belgique. Elle a eu lieu le 18/03/2021, dans la forêt de Saint-Michel Freyr.

#### 3.2.1.1 Piégeage

Vingt-et-une cages de capture de la DCENN (Direction des Cours d'Eau non navigables, Cellule Piégeage Invasives) ont été placées le 02/02/2021 dans la partie Nord du massif de Saint-Michel Freyr (annexe 1). La sélection des emplacements des cages a été réalisée sur base d'observations des pièges photographiques (« Camera traps ») indiquant la présence de ratons laveurs, et en concertation avec les agents de triages concernés. La majorité a été placée le long de cours d'eau, principalement en milieu boisé, parfois en milieu ouvert humide.

Les pièges désamorçés ont été appâtés à raison de 2-3 fois par semaine, avec un mélange à base de maïs, croquettes pour chat/chien, huile de poissons, sardines et granulés pour truites. La veille de la capture, les pièges ont été amorçés et des appâts ont été suspendus dans la cage (bas Nylon fourrés avec le mélange décrit ci-dessus).

Le piégeage a eu lieu le 18/03/2021. Sur les 21 cages amorçées, seules deux n'ont pas été visitées, deux autres étaient désamorçées mais vides, et 17 cages contenaient un raton laveur.

#### 3.2.1.2 Anesthésie et pose des colliers

La sélection des ratons laveurs pour la pose de colliers a été effectuée en favorisant une bonne répartition au sein du massif, et une variété de milieux (feuillus, résineux, milieu ouvert). L'objectif était d'avoir 3 femelles et 2 mâles (tableau 5).



Figure 5 : Photo d'un raton laveur anesthésié lors de la pose de colliers.

Pour la pose des colliers, les animaux ont été anesthésiés (injection intramusculaire) par la Dr vétérinaire Valérie De Waele (SPWARNE/DEMNA) (Figure 5). Une fois l'anesthésie effectuée et l'animal sorti de sa cage, les opérations suivantes ont été réalisées :

- prise de poids au moyen d'un sac de jute et peson (précision 0,1 kg),
- identification du sexe,
- estimation de l'âge,
- pose de collier,
- pose d'une oreillette,
- attribution d'un nom à chaque raton laveur.

Tableau 5 : Caractéristiques des rats laveurs ayant reçu un collier GPS.

Piège n°	Âge	Poids (kg)	Pesé (non = estimé)	Sexe	Oreillette	Oreillette n°	Couleur de l'oreillette	Remarques
17	6 mois - 1 an	4,45	oui	femelle	droite	26	bleu	Nom : <b>Valérie</b> Collier n°43
7	> 1 an	5	oui	mâle	gauche	46	bleu	Nom : <b>Lucien</b> Collier n°61
5	6 mois - 1 an	4,1	oui	mâle	droite	16	bleu	Nom : <b>Achille</b> Collier n°51
					gauche	73	vert	
10	6 mois - 1 an	4	non	femelle	gauche	4	vert	Nom : <b>Sarah</b> Collier n° 60
21	> 1 an	5,65	oui	femelle	droite	3	vert	Nom : <b>Baguera</b> Collier n°25 Femelle gestante
					gauche	43	vert	

Le collier n°43, le premier posé, n'a pas été activé directement en raison d'une mauvaise manipulation lors de la pose. L'animal a donc été piégé à nouveau le 19/04/2021 afin d'activer le collier. Cinq cages ont été réinstallées dans la zone de la première capture. Lors de la recapture, il a été constaté que le collier s'était finalement activé de lui-même le 28/03/2021. Un émetteur supplémentaire de type VHF (très haute fréquence) a été placé en plus afin d'aider à localiser l'animal lors des séances de récolte de données.

L'émetteur VHF utilise une gamme de fréquences entre 30 MHz et 300 MHz, ce qui est plus faible que la gamme de fréquence UHF utilisée par les colliers GPS, qui se situe entre 300 MHz et 3000 MHz. La gamme de fréquence de l'émetteur VHF est donc beaucoup plus étroite que celle de l'émetteur UHF. L'avantage des émetteurs UHF sur les colliers GPS est leur largeur de bande supérieure à la VHF, ce qui leur permet de transporter plus d'informations, ainsi que la taille réduite de leur antenne, leur longueur d'onde étant inférieure à celle des ondes VHF. L'avantage, par contre, de rajouter un émetteur VHF sur un collier est que les ondes de ce dernier peuvent parcourir de plus grandes distances que les UHF, qui sont plus affectées par l'atténuation et donc par les nombreux obstacles du milieu forestier. Cependant, les VHF sont plus susceptibles de rentrer en interférence avec d'autres fréquences radioélectriques. Finalement, les UHF usent plus rapidement la batterie des colliers et sont plus chers que les VHF.

### 3.2.1.3 Paramétrage des colliers

Les 5 colliers GPS proviennent de la société française AGOM Systems.

Le raton laveur étant un animal nocturne, le collier a été paramétré pour n'être actif que durant la nuit, de 16h à 6h UTC, afin de préserver la batterie durant la journée. Ils ont été paramétrés de manière à prendre une localisation GPS toutes les 2h et les lundis des semaines paires une localisation toutes les 5 minutes. Lorsque tous les points GPS ont pu être pris, on s'attend donc à avoir 7 localisations GPS par jour et par raton laveur, sauf les lundis des semaines paires où ce nombre devrait atteindre 144.

Pour récupérer les données du collier GPS, celui-ci tente de se connecter depuis un émetteur UHF vers un routeur via une antenne omnidirectionnelle toutes les 120 secondes les mardis des semaines paires, de 14h à 20h UTC.

Le tableau en annexe 2 reprend tous les paramètres appliqués aux colliers.

### 3.2.2 Récupération des données GPS

La récupération des données s'est effectuée un mardi sur deux entre 14h et 20h (GMT). Pour cela, les zones ont été parcourues en voiture à faible allure (entre 15 et 20 km/h), en tenant l'antenne omnidirectionnelle à environ 2 mètres de hauteur, jusqu'à ce que le signal entre le collier et le routeur soit assez bon pour permettre un transfert de données. Lors de la première récupération de données, les zones où chaque raton laveur a été piégé ont été prospectées en priorité. Pour les récupérations suivantes, les zones à prospecter étaient sélectionnées sur base des informations obtenues sur l'utilisation de l'espace par les ratons laveurs avec les localisations GPS récoltées les fois précédentes (annexe 3 : exemples de cartes produites en vue d'améliorer la récupération de données sur le terrain).

Plusieurs problèmes ont été rencontrés lors de cette récolte de données. En effet, la puissance d'émission des colliers n'était pas suffisante pour permettre une bonne récupération des données, à moins d'être à une distance très proche du raton laveur ; en moyenne, une distance de 250-300m entre le capteur et le collier GPS commençait à devenir problématique. Dans ce cas il était nécessaire de parcourir à pied la zone pour améliorer la réception du signal. Sur une séance de 6h de récolte de données, le nombre de colliers captés était en moyenne de deux. Durant les mois de mars et avril, lorsque la météo indiquait des températures très froides, il n'était pas rare de ne capter aucun collier pendant une période de six heures. Les données du collier n°60, sur Sarah, n'ont pas pu être récupérées pour l'étude, malgré de nombreuses tentatives.

La récolte de données GPS s'est étendue sur la période du 18 mars au 30 juin, à l'exception du collier 43 qui s'est activé le 28 mars (figure 6).

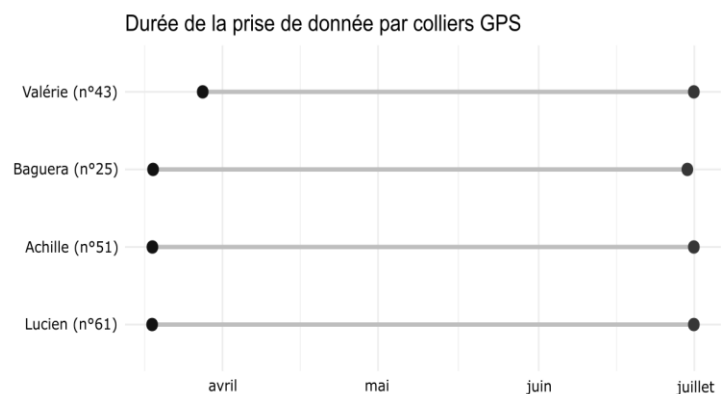


Figure 6 : Durée de la prise de données pour chaque collier GPS.

### 3.2.3 Caractérisation du milieu

Durant le mois de juin, des relevés de terrain ont été effectués afin de caractériser les types de milieux utilisés par les individus. Ces relevés ont eu lieu le lendemain de la prise de données intense (toutes les 5 minutes) ayant lieu une fois toutes les deux semaines, et ont donc été effectués à 3 reprises. Les milieux étudiés ont été sélectionnés sur base des localisations GPS de la nuit du lundi au mardi précédent, afin de privilégier les endroits où des traces de ratons laveurs encore fraîches pouvaient être retrouvées, et où les ressources alimentaires ayant attiré l'animal étaient toujours présentes. La sélection des zones à prospecter a été effectuée en choisissant les zones avec la présence d'un

minimum de deux localisations à 5 minutes d'intervalle et à moins de 10 mètres l'une de l'autre. Cela a permis d'identifier les différents clusters où l'individu est resté au minimum 5 minutes.

Sur le terrain, un jalon a été placé au centre du cluster étudié, et 4 autres aux points cardinaux, à 20m de distance du centre. Cela a permis de caractériser le cluster dans un cercle de 20 mètres de rayon. Des photos ont été prises à partir du centre vers les 4 points cardinaux. Ensuite, l'occupation du sol a été décrite, ainsi que la surface terrière et la surface de taillis pour chaque quadrant, à l'aide d'un relascope. Les différentes ressources alimentaires présentes dans la zone ont été répertoriées et l'habitat a été décrit le plus précisément possible (annexe 4). La recherche d'indices de présence a également été effectuée, amenant à quelques récoltes de fèces. Les fèces trouvées ont été prélevées, disséquées et les différents items alimentaires ont été identifiés.

Les individus qui ont bénéficié d'un suivi sur le terrain sont Lucien, Valérie et Baguera. En effet, aucune des données GPS d'Achille n'a pu être récoltée durant le mois de juin, en raison des problèmes de réception évoqués précédemment. Les clusters n'ont donc pas pu être identifiés, empêchant un suivi sur le terrain.

### 3.2.4 Préparation des données GPS

L'analyse des localisations GPS a été effectuée à l'aide des programmes QGIS (v3.18.3) et R (v4.0.3) via l'interface RStudio (v1.3.1093).

Les données GPS ont été nettoyées en supprimant les outliers ainsi que les localisations ayant un HDOP supérieur à 5 (Figure 7). Pour limiter l'interdépendance des données, celles-ci ont été ré-échantillonnées de manière à ne garder qu'un point toutes les 2h. Il a également été vérifié que le nombre de données par mois ne descendait en-dessous de 5 pour aucun individu. En effet, un nombre trop faible de données aurait rendu l'analyse statistique impossible.

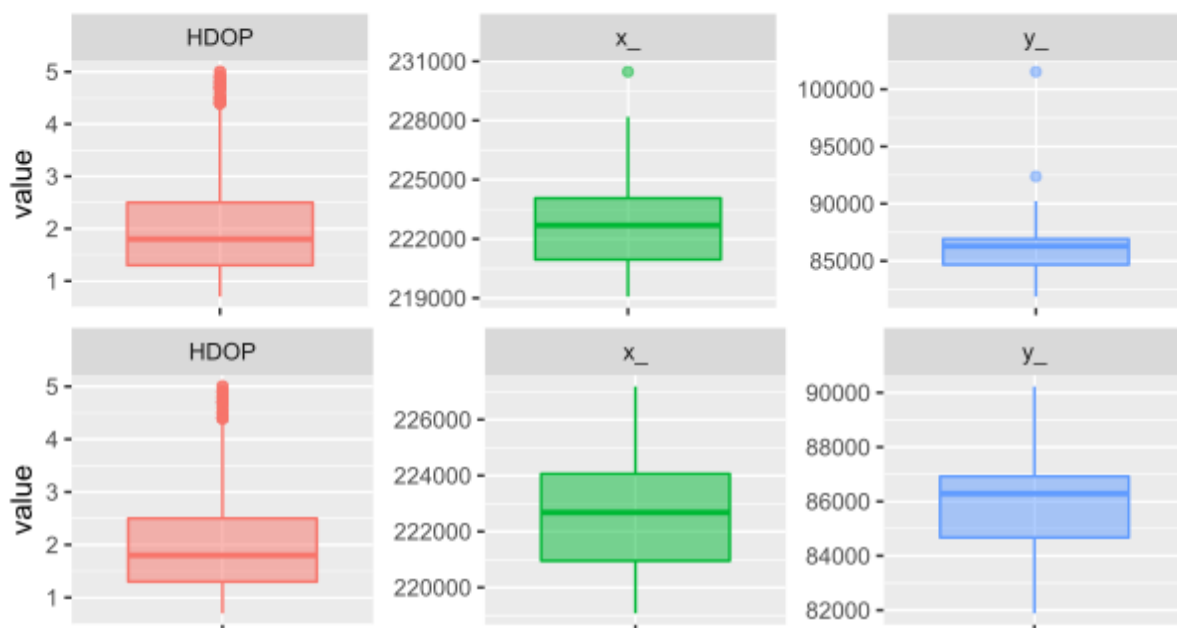


Figure 7 : Représentation des outliers sous forme de Boxplot avant (au-dessus) et après (en-dessous) leur suppression.

Après ce nettoyage des données, il reste un total de 1320 points GPS pour toute la durée de l'étude. Deux tableaux reprenant les nombres de données par raton laveur et par mois sont disponibles en annexe 5.

### 3.2.5 Préparation des données cartographiques

#### 3.2.5.1 Récolte de données

Les données cartographiques des paramètres à intégrer dans le modèle ont été recherchées. Voici les différentes cartes disponibles retenues a priori pour l'étude (annexe 6) :

- Distance par rapport à l'eau : carte de distance créée à partir de la fusion de la carte des eaux de surface du réseau hydrologique en région wallonne (Réseau hydrologique de l'Atlas ; origine de l'information : SPW), d'une autre carte du réseau hydrologique de Wallonie reprenant les axes de rivières permanents et intermittents (Réseau Hydrologique Wallon – RHW) ainsi que des cartes représentant les milieux ouverts humides et les plans d'eau permanents du « Lifewatch – WB geodatabase (v2.9) ».
- Hauteur de canopée : Modèle Numérique de Hauteur (MNH) de 2018 (origine de l'information : SPW).
- Occupation du sol : carte représentant les différentes variables catégoriques d'occupation du sol, dérivée de la carte « Lifewatch – WB geodatabase (v2.9) ». Ces variables ont été rassemblées en quatre grandes classes d'occupations du sol : les milieux ouverts, les forêts feuillues/mixtes, les forêts résineuses et les milieux anthropiques (comprenant les milieux artificialisés, les prairies productives monospécifiques permanentes et les cultures).
- Probabilité de présence des principales essences : cartes issues de la carte de « GxABT – Forest is Life » reprenant les probabilités de présence des principales essences (bouleau, chêne indigène, douglas, épicéa, hêtre, mélèze, peuplier, pin, autres). Les cartes concernant les bouleaux et peupliers ont été rassemblées. Les cartes concernant les chênes, épicéas et hêtres ont été utilisées telles quelles.

Le Variance Inflation Factor (VIF) a été utilisé afin de supprimer les variables dont l'intercorrélation était trop élevée ; le seuil a été fixé à une corrélation de 0,5. Une matrice de corrélation a également été utilisée, ainsi qu'un arbre utilisant le coefficient de corrélation de Pearson (figure 8), afin de confirmer ces résultats. Plusieurs paramètres ont été envisagés mais n'ont pas pu être étudiés, tels que les différents types de cours d'eau séparés (intermittents, permanents, eaux de surface), les zones humides d'intérêt biologique, les différents types de cultures agricoles et la distance par rapport aux coupe-feux.

Les variables représentant les probabilités d'avoir du hêtre et de l'épicéa ont dû être étudiées séparément en raison de leur trop forte intercorrélation, mais également de leur corrélation avec le MNH et les variables catégoriques d'occupation du sol.

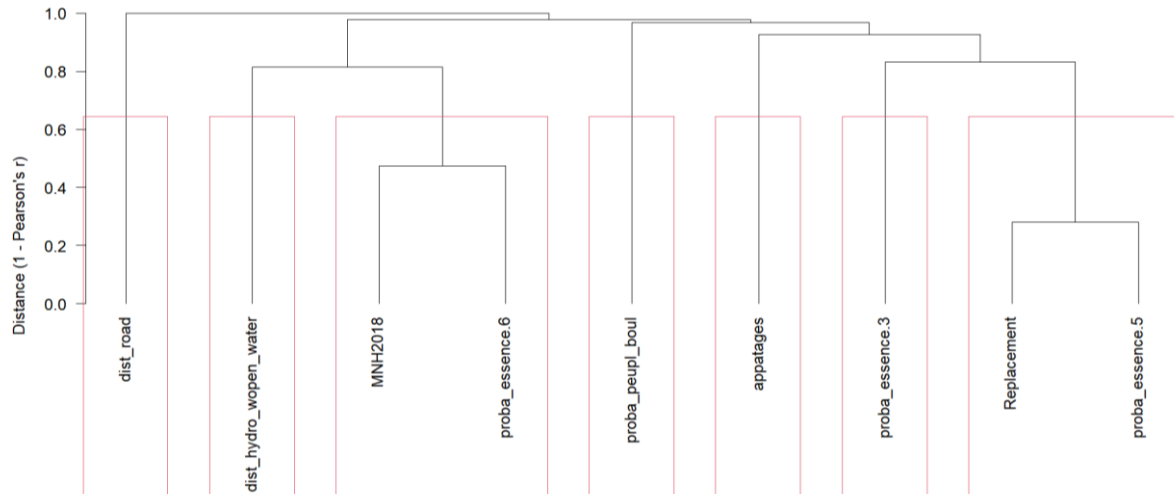


Figure 8 : Coefficient de corrélation de Pearson représentant les groupes de variables intercorrélées avec une limite fixée à 0,5. *appatages* = distance par rapport aux appatages ; *dist\_hydro\_wopen\_water* = distance par rapport aux cours d'eau ; *dist\_road* = distance par rapport aux routes ; *proba\_essence\_3* = probabilité de présence de chênes indigènes ; *proba\_essence\_5* = probabilité de présence d'épicéas ; *proba\_essence\_6* = probabilité de présence de hêtres ; *proba\_peupl\_boul* = probabilité de présence de peupliers et/ou bouleaux ; *Replacement* = classes d'occupation du sol rassemblées.

### 3.2.5.2 Préparation et prévisualisation des données

Toutes les cartes ont été rasterisées avec des pixels de 10x10m, ce qui correspond à l'erreur moyenne estimée des colliers GPS. Les valeurs « NA » de ces cartes ont toutes été transformées en valeurs « 0 ». Les rasters ont ensuite été rééchantillonnés selon l'emprise de la zone d'étude, avec la méthode « bilinéaire » qui interpole les valeurs des pixels avoisinants pour les variables continues, et la méthode du « plus proche voisin » qui prend la valeur du pixel le plus proche pour les variables catégorisées. La zone d'étude correspond à l'emprise du Polygone Minimum Convex (MCP) 100 de tous les individus confondus, entourée d'un tampon de 500 mètres (figure 9). Toutes les cartes ont ensuite été empilées en un unique RasterStack.

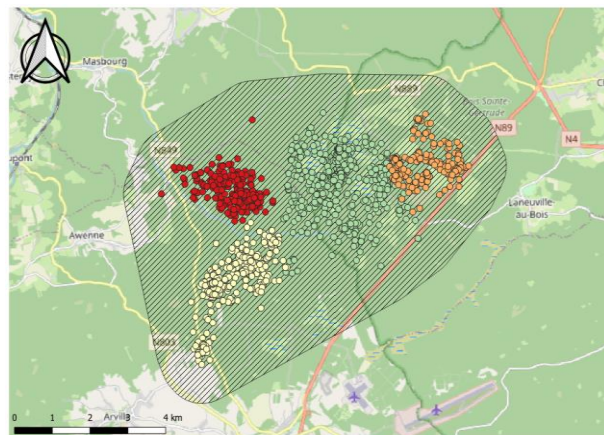


Figure 9 : Zone d'étude : emprise du MCP 100 de tous les individus confondus, majorée d'un tampon de 500 m. En couleur : localisations de 2h d'intervalle retenues pour l'étude. Rouge = Baguera ; jaune = Achille ; vert = Lucien ; orange = Valérie

Finalement, les points GPS ont été superposés avec le RasterStack afin d'extraire les valeurs de chaque donnée environnementale pour chaque point GPS.

L'impact de la capture sur le déplacement du raton laveur durant les 14 jours après la pose du collier a été analysé afin de s'assurer que la capture n'avait pas créé un biais. Par la suite, il a été supposé que les colliers GPS n'influençaient pas les déplacements des rats laveurs.

La distance entre chaque point de 2h (=step length) a également été calculée.

### 3.2.6 Analyse des domaines vitaux

L'analyse des domaines vitaux a été effectuée dans R avec le package 'adehabitatHR' (Calenge & Fortmann-Roe, 2021).

Les Polygones Minimum Convexes (MCP) 100 et 95 ainsi que les Kernels Density Estimators (KDE) 95 et 50 ont été calculés pour toute la période de récolte de données ainsi que par mois et par individu. Les MCP 95 et les KDE 95 ont également été calculés par semaine pour chaque individu. Les KDE ont été calculés avec un facteur de lissage (h) de 220, sélectionné de manière arbitraire afin d'obtenir les domaines vitaux les plus réalistes possible en comparant avec les localisations GPS.

Afin d'avoir une première idée de la proportion de chaque type d'habitat au sein des domaines vitaux, les données catégorisées des types d'habitats ont été extraites pour les kernel 50 et 95 ainsi que pour les MCP 100 et 95 pour toute la période d'étude et par mois, et pour chaque individu. La proportion de chaque type d'habitat a alors pu être calculée en comptant le nombre de pixels qui représentent chaque habitat.

### 3.2.7 Mesure de sélectivité de Manly

L'analyse des ratios de sélection a été effectuée avec le package 'adehabitatHS' (Calenge & Basille, 2017) dans R.

Afin d'avoir une première idée de la sélection des ressources par les rats laveurs, une analyse des ratios de sélection de ressource, ou mesure de sélectivité de Manly, a été effectuée. Les ratios de sélection identifient l'utilisation générale de l'habitat en tenant compte de ce qui est disponible. Trois différents ratios de sélection ont été étudiés afin d'explorer la sélection des ressources en fonction des différents designs décrits par Thomas et Taylor (1990).

- Ratio I : explore la sélection des ressources en cas de Design I. La sélection de l'habitat est testée avec les  $Khi^2$  de Pearson et log-likelihood  $Khi^2$ . Ensuite, la mesure de sélectivité de Manly (=utilisé/disponible) est mesurée, qui permet de mesurer la préférence ou l'évitement de chaque habitat (Manly et al., 2002).
- Ratio II : explore la sélection des ressources en cas de Design II. En plus des mesures similaires à celles effectuées pour le ratio I, des tests sont effectués pour similitudes entre les sélection et utilisation de l'habitat pour tous les animaux.
- Ratio III : explore la sélection des ressources en cas de Design III. Les mesures effectuées pour chaque animal sont similaires à celles du ratio I.

Ces trois ratios reposent sur les hypothèses selon lesquelles les animaux sont indépendants et sélectionnent tous l'habitat de la même manière.

### 3.3 ANALYSE STATISTIQUE DES MODÈLES DE SÉLECTION DE LA RESSOURCE (RESOURCE SELECTION FUNCTION, RSF)

Les RSFs permettent d'explorer et d'étudier plus en détail la sélection de ressource premièrement identifiée par les ratios de sélections.

L'analyse statistique des RSF a été effectuée dans R avec les packages 'amt' (Signer et al., 2021) et 'lme4' (Bates et al., 2021).

Les ressources utilisées correspondent aux localisations GPS obtenues durant la nuit par les colliers GPS placés sur les rats laveurs, chaque pixel recouvert par un point GPS prenant la valeur « 1 ». L'hypothèse nulle d'indépendance temporelle des données est supposée respectée (Gehrt & Fritzell, 1997) ; les rats laveurs ont la possibilité, en 2h, d'atteindre chaque endroit de leur domaine vital (cela a été confirmé par le calcul des vitesses de déplacement et des tailles de domaines vitaux). Il a été supposé que les animaux étaient en train de chercher de la nourriture la majorité du temps où ils étaient actifs la nuit.

Compte tenu du manque de données d'absence dans le cadre de cette étude, une solution permettant de pallier ce manque et d'effectuer l'étude avec uniquement des données de présence consiste à effectuer une étude par modèles linéaires généralisés (GLM) avec des pseudo-absences stimulées (Engler et al., 2004). Les pseudo-absences représentent donc les ressources disponibles, et constituent un échantillon représentatif des ressources à disposition de l'animal au sein de son domaine vital. Elles ont été échantillonnées de manière régulière au sein de chaque domaine vital (MCP 100), donc, en fonction des modèles effectués, par individu, par mois, ou les deux, à raison de 10 points de pseudo-absences pour un point de présence (annexes 7-8, figure 10). Cela représente donc, en fonction du mois et de l'individu, un échantillonnage régulier entre tous les 40 et 95m. Chaque pixel recouvert par un point de pseudo-absence a reçu la valeur « 0 ».

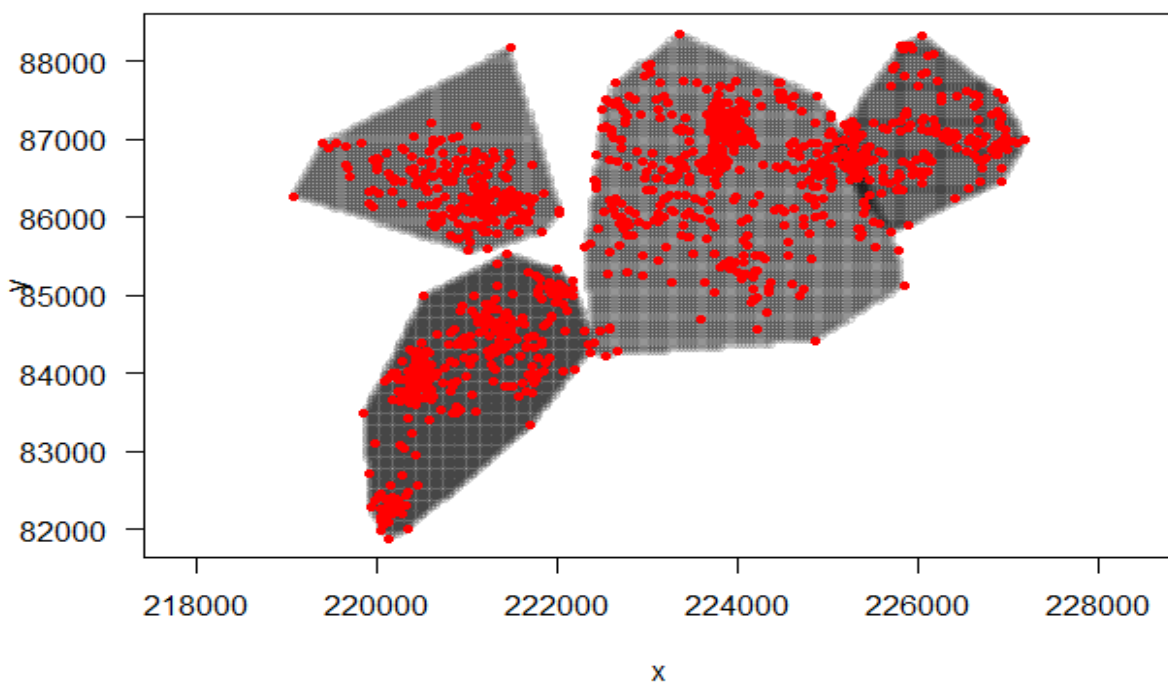


Figure 10: Représentation des points de présence et de pseudo-absence échantillonnés au sein des domaines vitaux (MCP100) de chaque individu, tous points confondus.

Les variables environnementales ont été extraites pour chaque point de présence et de pseudo-absence. La distribution des classes d'habitats au sein des domaines vitaux par individu et par mois a été visualisée en comparant les variables disponibles et utilisées.

La modélisation des RSFs s'est faite par régression logistique binaire, en donnant un poids de 5000 aux points de disponibilité (=pseudo-absences) contre 1 pour les points utilisés.

Les différents modèles d'ajustement effectués ont été les suivants :

- Modèles généraux : une série de modèles linéaires mixtes généralisés binomiaux (GLMM) avec la variable « individu » comme variable aléatoire (effet aléatoire), sur tous les individus confondus, pour l'entièreté de la période mars-juin. Ces modèles permettent d'avoir une vision globale des comportements (un comportement « moyen ») en ce qui concerne la sélection des habitats.
- Modèles mensuels : une série de modèles linéaires généralisés binomiaux (GLM) par mois, tous individus confondus. Les quatre séries de modèles obtenues permettent de visualiser la sélection des habitats au niveau mensuel.
- Modèles individuels : une série de modèles linéaires généralisés binomiaux (GLM) par individus, tous les mois confondus. Les quatre séries de modèles obtenues permettent de visualiser les variations de sélection des habitats entre individus.
- Modèles bimensuels par individu : une série de modèles linéaires généralisés binomiaux (GLM) par individus et par deux mois, afin d'avoir une vision plus fine de la variation de sélection mensuelle pour chaque individu.

La présence du raton laveur représente la variable de réponse. Les effets fixes (variables explicatives) des différents modèles testés pour chaque série de modèle ont été les suivants :

- Modèles « habitats » : classes d'occupation du sol regroupées (milieux ouverts, forêts feuillues, forêts résineuses, milieux anthropiques) et MNH.
- Modèles « essences » : taux de probabilité pour les chênes, les peupliers/bouleaux, et un modèle avec les hêtres, un autre avec les épicéas, les deux variables étant fortement intercorrélées.
- Modèles « complets » : toutes les variables des modèles « habitat » et « essence » sans les essences « épicéas » ni « hêtres », supplémentées des distances par rapport aux cours d'eau.

Pour faciliter l'interprétation des résultats, l'intercept a été fixé manuellement afin d'être représenté par la classe d'occupation du sol la plus sélectionnée par les ratons laveurs, à savoir les forêts feuillues décidues. Ces différents modèles ont permis d'étudier toutes les variables d'intérêt tout en évitant l'intercorrélation des effets fixes.

Une autre méthode a également été testée afin d'étudier la sélection mensuelle tout en tenant compte de la variation individuelle sans devoir passer par des GLMM, qui sont souvent sources de problèmes dans ce type de modélisation. Cette méthode « en 2 étapes » consiste à faire la moyenne des coefficients obtenus avec les modèles bimensuels par individu, afin d'obtenir les coefficients moyens au niveau populationnel, en tenant compte de la variation du nombre de points échantillonnés entre individus. Cette méthode a été recommandée par John Fieberg dans le séminaire MoveBank de 2018 (Fieberg et al., 2018).

La sélection du meilleur modèle, celui qui explique le mieux les données, se fait généralement avec un critère d'information tel que le critère d'information d'Akaike (AIC) (Akaike, 1973) ou le critère d'information Bayésien (BIC), qui identifient le modèle permettant de justifier le plus de variations avec le moins de variables. Le modèle sélectionné a donc été celui avec la plus faible valeur d'AIC, c'est-à-dire celui offrant le meilleur compromis entre la réduction de la déviance et l'augmentation du nombre de paramètres dans le modèle. Cela permet de s'assurer que le nombre de paramètres du modèle est suffisamment élevé pour avoir une faible déviance, mais pas trop afin d'éviter d'avoir des paramètres inutiles dans le modèle (Manly et al., 2002).

À partir de chaque meilleur modèle, les coefficients « Odds ratios » (ou « rapports des cotes ») ont pu être générés pour chaque variable explicative.

Finalement, des cartes de prédictions mensuelles ont été générées avec les modèles « habitats », indiquant où sur le site d'étude se trouvent les plus grandes probabilités d'utilisation. Le choix d'utiliser les modèles « habitats » provient du fait que les cartes de probabilité d'essences ne sont pas encore abouties, et qu'elles peuvent mener à des biais dans les prédictions. De plus, les coefficients obtenus pour les variables « essences » ne sont pas toujours significatifs, ce qui peut également fausser les prédictions.

### 3.4 INFLUENCE DES ARBRES À CAVITÉ

La distance par rapport aux arbres à cavité a également été étudiée. Cependant, la carte représentant les arbres à cavité n'étant disponible que pour les forêts feuillues de la zone de Nassonia, à savoir la forêt domaniale de Saint-Michel Freyr, l'étude de l'influence des arbres à cavité n'a pas pu être intégrée dans les RSFs. La distance entre les points GPS présents dans cette zone et les arbres à cavité a été mesurée avec la méthode du plus proche voisin. Ensuite, le même nombre de points a été échantillonné de manière aléatoire dans la zone, et la distance avec les arbres à cavité a également été mesurée pour chacun des points de cet échantillon. Les moyennes, médianes, coefficients de variations et déviations standards ont été calculées pour l'échantillon aléatoire, ainsi que pour l'échantillon de points GPS. Finalement, un test de Wilcoxon a été effectué afin de déterminer si la différence entre les distances des deux distributions est significative ou non.

## 4 RÉSULTATS

### 4.1 PRÉVISUALISATION

Tableau 6 : Médianes, moyennes et minimum/maximum par mois des distances (en mètres) parcourues en 2h. Les intervalles de confiance sont indiqués entre parenthèses.

	Mars	Avril	Mai	juin
<b>Médiane</b>	391 (212-643)	426 (263-659)	425 (307-1276)	369 (225-579)
<b>Moyenne</b>	512 (250-779)	585 (328-775)	515 (451-954)	503 (386-606)
<b>Min-Max</b>	10-2793	7-2360	6-1693	2-2046

Le tableau 6 représente les médianes, moyennes et intervalles des distances parcourues par pas de 2 heures par mois. Les médianes des distances moyennes parcourues par les rats laveurs sur toute la durée de l'étude est de 395 m par pas de 2h et de 40m par pas de 5 minutes.

La vitesse du raton laveur calculée sur base des distances entre deux points de 5 minutes varie entre 0,0036 km/h et 5,47 km/h, avec une moyenne de 1,68 km/h.

La figure 11 représente la densité de fréquence des distances parcourues par pas de 5 minutes (= step length) en mètres pour chaque individu.

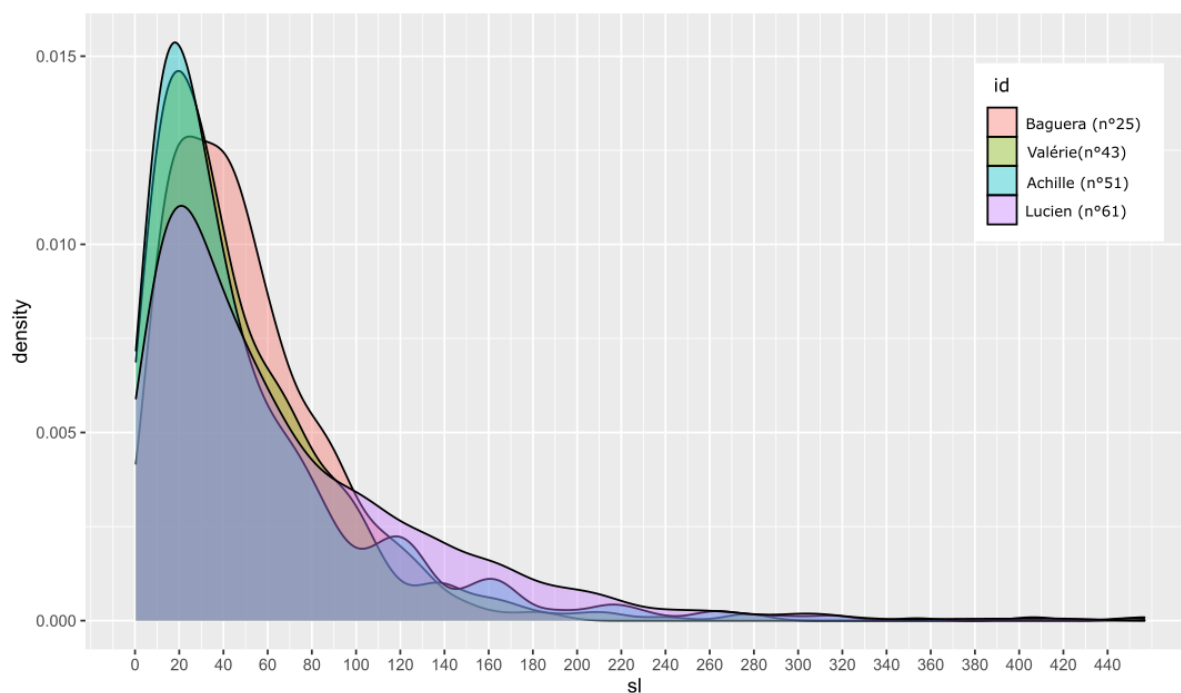


Figure 11 : Densité de fréquence des distances (en mètres) parcourues en 5 minutes pour chaque individu.

## 4.2 DOMAINES VITAUX

Tableau 7 : Variation de domaines vitaux (moyenne (sd) en ha) sur base des périodes d'observation et des méthodes (MCP et kernel).

période	mcp100	mcp95	K95	K50
mars-juin	597.5 (334.1)	437.5 (217.2)	592.5 (242.1)	137.5 (41.1)
mars	237.5 (203.4)	172.5 (135.7)	387.5 (169.6)	95.0 (33.2)
avril	455.0 (333.5)	335.0 (300.3)	542.5 (302.8)	125.0 (42.0)
mai	342.5 (235.0)	287.5 (206.1)	480.0 (207.4)	95.0 (25.2)
juin	360.0 (232.8)	247.5 (161.5)	447.5 (206.0)	105.0 (77.7)

Le tableau 7 représente les tailles moyennes (déviations standards) des domaines vitaux en fonction de la période de l'année et de la méthode utilisée. Les Kernels 50 (K50) représentent les zones noyaux utilisées par les animaux.

Les KDE 95 sont utilisés pour la comparaison des domaines vitaux, car ils sont moins sensibles aux différentes tailles d'échantillons que les MCP. La figure 12 représente l'évolution des domaines vitaux calculés avec la méthode KDE (95%) par mois et par individu, en fonction du sexe et de l'âge. Celui-ci met en évidence l'augmentation des domaines vitaux en avril et mai chez les deux jeunes, tandis que ceux des deux adultes diminuent en mai.

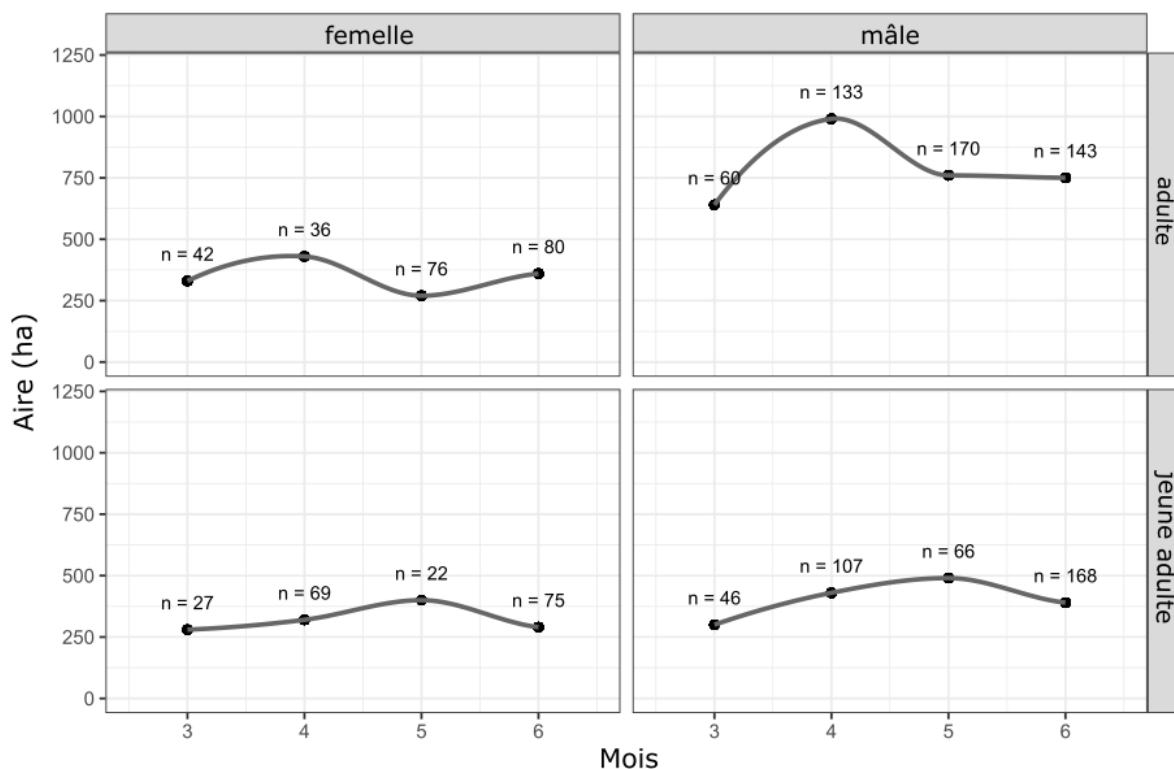


Figure 12 : Évolution du KDE (95%) par mois et par individu, selon le sexe et l'âge. N = nombre de points GPS. Mâle adulte = Lucien ; Femelle adulte = Baguera ; Jeune mâle = Achille ; Jeune femelle = Valérie.

Les MCP 100 sont utilisés pour les analyses de sélection de ressources afin de garder toute l'information obtenue par les localisations GPS. La figure 13 représente l'évolution, par

individu et par mois, de la proportion des types d'habitats principaux au sein des domaines vitaux (MCP 100). La moyenne de l'ensemble des individus est représentée sous forme de régression linéaire par une droite noire au sein de chaque type d'habitat. Ce graphique permet de mettre en évidence une proportion moyenne assez stable de chaque type de milieu au cours des mois, tandis que certaines proportions au niveau individuel varient fortement, indiquant une modification importante des domaines vitaux. Les individus concernés par ces variations importantes sont les deux jeunes adultes, Valérie et Achille, qui portent respectivement les colliers 43 et 51.

Les milieux majoritairement représentés sont, par ordre décroissant : les forêts feuillues décidues, les forêts de résineux sempervirents, les prairies et zones arbustives diversifiées, les mises à blanc récentes avec repousse forestière, comprenant les trouées forestières, les prairies monospécifiques productives permanentes et les forêts de résineux décidus. Les descriptions détaillées des écotopes étudiés sont présentées en annexe 9.

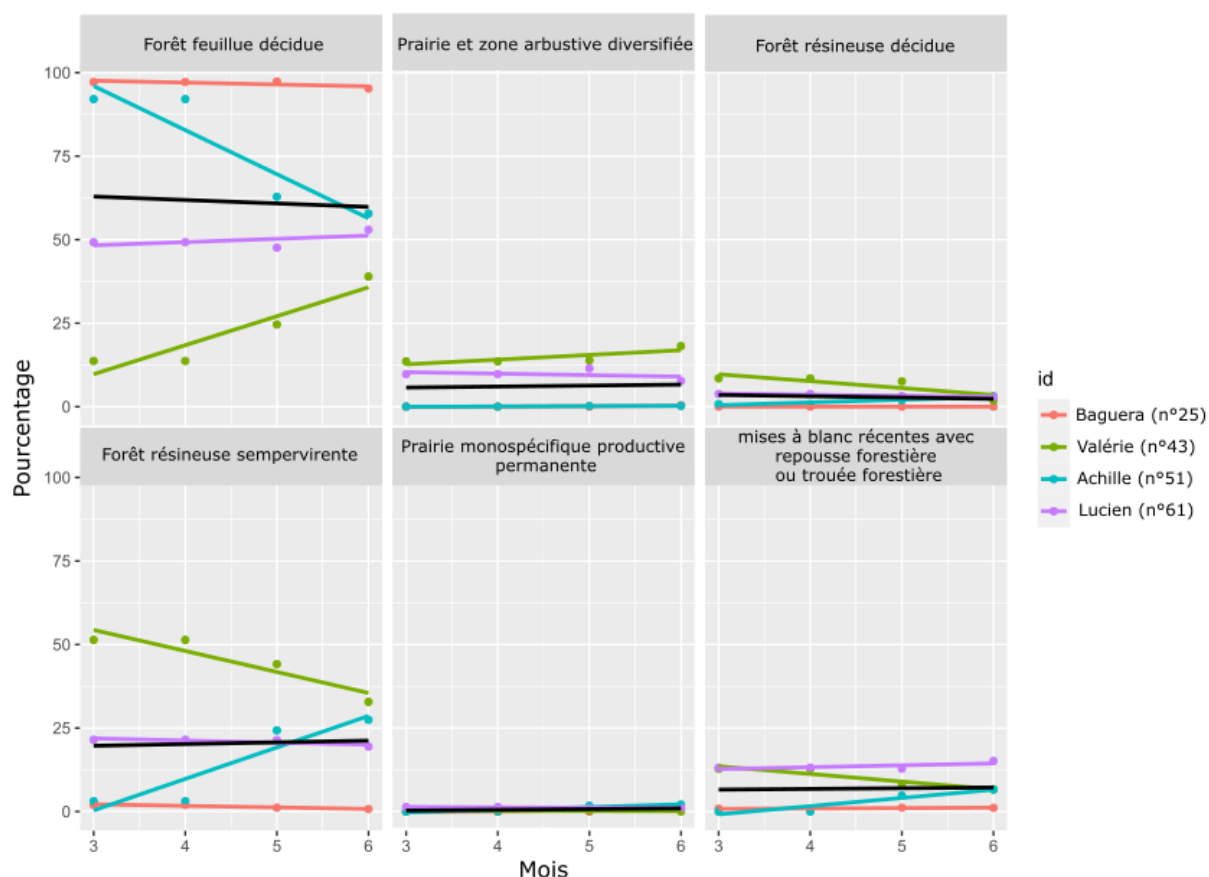


Figure 13 : Proportions moyennes de chaque type d'habitat au sein des domaines vitaux (MCP 100) par mois, pour tous les individus.

La figure 14 présente les proportions des différents types de milieux disponibles et utilisés au sein des domaines vitaux (MCP 100) par individus et par mois. Elle permet une première visualisation de la sélection de l'habitat par les rats laveurs en comparant la proportion d'utilisation d'un type d'habitat et sa disponibilité. Les grandes tendances mensuelles suivantes peuvent être observées, bien que des variations soient présentes entre les individus :

- Mars : sélection des forêts feuillues décidues, des forêts résineuses sempervirentes et décidues ; évitement des prairies et zones arbustives diversifiées.
- Avril : sélection des forêts feuillues décidues.
- Mai : sélection des forêts feuillues décidues et des forêts résineuses sempervirentes.
- Juin : sélection des forêts feuillues décidues ; évitement des forêts résineuses sempervirentes.

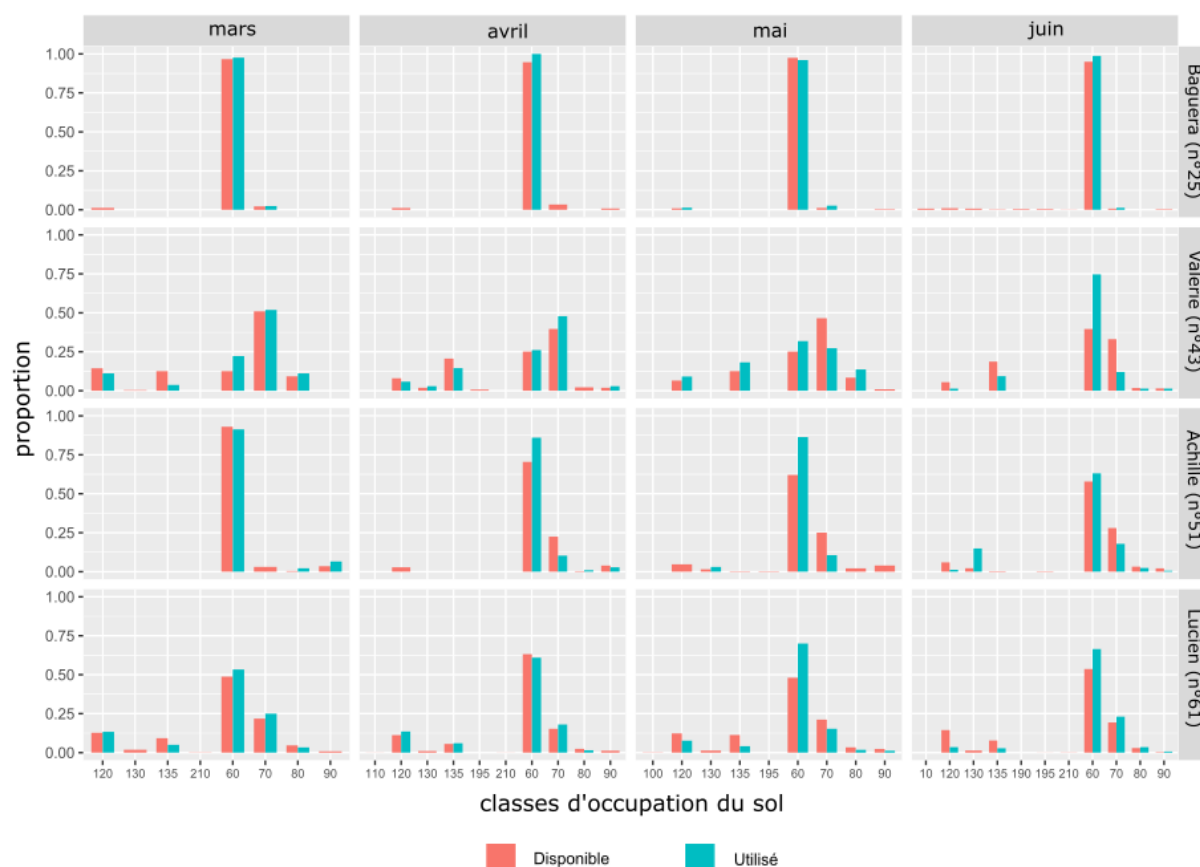


Figure 14 : Proportion des différents types de milieux disponibles et utilisés au sein des domaines vitaux (MCP 100) par individu (à droite) et par mois (en haut). En rouge : disponible ; en bleu : utilisé. Classes d'occupation du sol : 10 = périodiquement herbacé ; 60 = forêt feuillue décidue ; 70 = forêt résineuse sempervirente ; 80 = forêt résineuse décidue ; 90 = forêt mixte ; 100 = couverture herbacée et arbustive mixte, avec une majorité d'arbres ; 110 = couverture herbacée et arbustive mixte, avec une majorité d'herbacés ; 120 = mises à blanc récentes avec repousse forestière, comprenant également les trouées forestières ; 130 = prairies monospécifiques productives permanentes ; 135 = prairies et zones arbustives diversifiées ; 190 = zones densément artificialisées (>50% de surface artificielle) ; 195 = zones peu artificialisées (>25% de surface artificielle) ; 210 = eau.

#### 4.3 MESURE DE SÉLECTIVITÉ DE MANLY

La figure 15 présente les résultats de l'analyse des ratios de sélection de ressources pour les designs I, II et III.

Au niveau populationnel (**Design I**), une sélection est observée pour les prairies monospécifiques permanentes ainsi que pour les forêts feuillues décidues.

La sélection des ressources au niveau individuel pour la zone d'étude qui regroupe tous les individus étudiés (**Design II**) indique une sélection des forêts feuillues décidues, des forêts mixtes, des forêts

résineuses décidues et sempervirentes et des mises à blanc récentes avec repousse forestière, comprenant également les trouées forestières.

Au niveau individuel (**Design III**), au sein du domaine vital de chaque individu, la sélection des forêts feuillues décidues est à nouveau observée, ainsi que la sélection des prairies monospécifiques permanentes, qui présente cependant une grande variation.

Ces résultats sont à mettre en relation avec la disponibilité des milieux dans l'environnement, et seront abordés dans la partie « discussion » de ce travail.

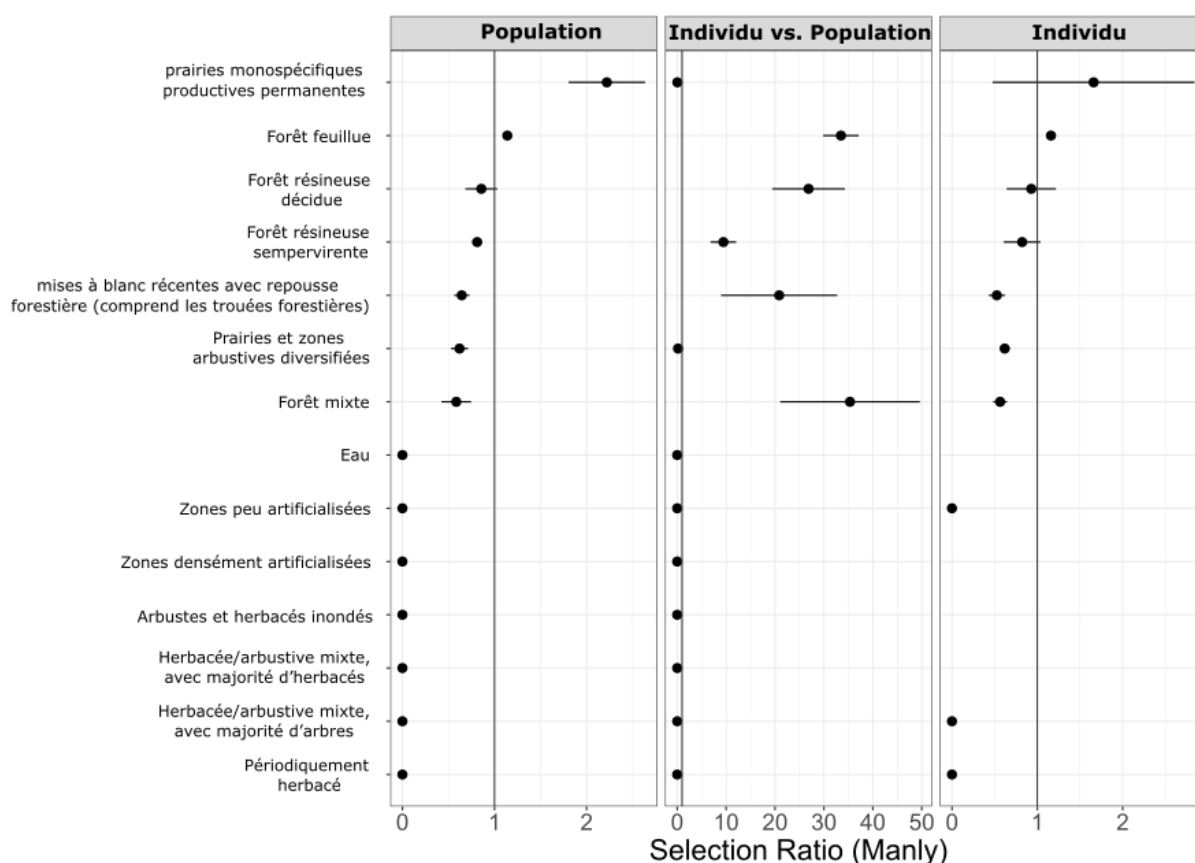


Figure 15 : Ratios de sélection de ressources pour les design I, II et III. Les descriptions détaillées des classes d'occupation du sol sont présentes en annexe 9.

#### 4.4 MODÈLE DE SÉLECTION DE LA RESSOURCE (RESOURCE SELECTION FUNCTION, RSF)

Le modèle sélectionné sur base du meilleur AIC est le modèle qui comprend toutes les variables non corrélées (c'est-à-dire sans les proportions d'épicéas et de hêtres), et ce quelle que soit la période étudiée.

Les deux variables « sélection d'épicéas » et « sélection de hêtres » n'apparaissent pas dans les modèles globaux présentés dans les figures 16 à 18, en raison de leur corrélation avec la variable catégorique d'occupation du sol et le MNH. Cependant, ces résultats sont présents dans les autres modèles testés, disponibles en annexe et sont donc tout de même discutés dans ce travail (annexes 10-18).

## 4.4.1 Période d'étude complète

La figure 16 présente les rapports des cotes de chaque variable, pour toute la durée de l'étude, tous individus confondus. Les valeurs supérieures à 1, en bleu, représentent les variables sélectionnées, tandis que celles inférieures à 1, en rouge, représentent les variables évitées.

Les coefficients de sélection des différentes variables catégoriques d'occupation du sol sont à interpréter, non pas en tant que sélection absolue d'un type de milieu, mais en tant que sélection relative par rapport au milieu utilisé en tant qu'intercept (pour rappel ici, les forêts de feuillus). Ce modèle indique, à disponibilité égale, une sélection préférentielle peu marquée des milieux anthropiques par rapport aux forêts feuillues, tandis que ces dernières sont significativement plus sélectionnées que les milieux ouverts et les forêts de résineux. L'exploration des coefficients obtenus pour les variables continues permet d'étudier la sélection de manière plus fine au sein de ces différents habitats. Ainsi, les essences feuillues évitées sont les peupliers et les bouleaux, indiquant une sélection très marquée pour les hêtres (annexe 10). Étant très fortement corrélé négativement avec le hêtre, l'épicéa est, de manière peu surprenante, également évité de manière très significative (annexe 10). Les distances par rapport aux cours d'eau interviennent significativement, les ratons laveurs se retrouvant préférentiellement dans des endroits éloignés des cours d'eau.

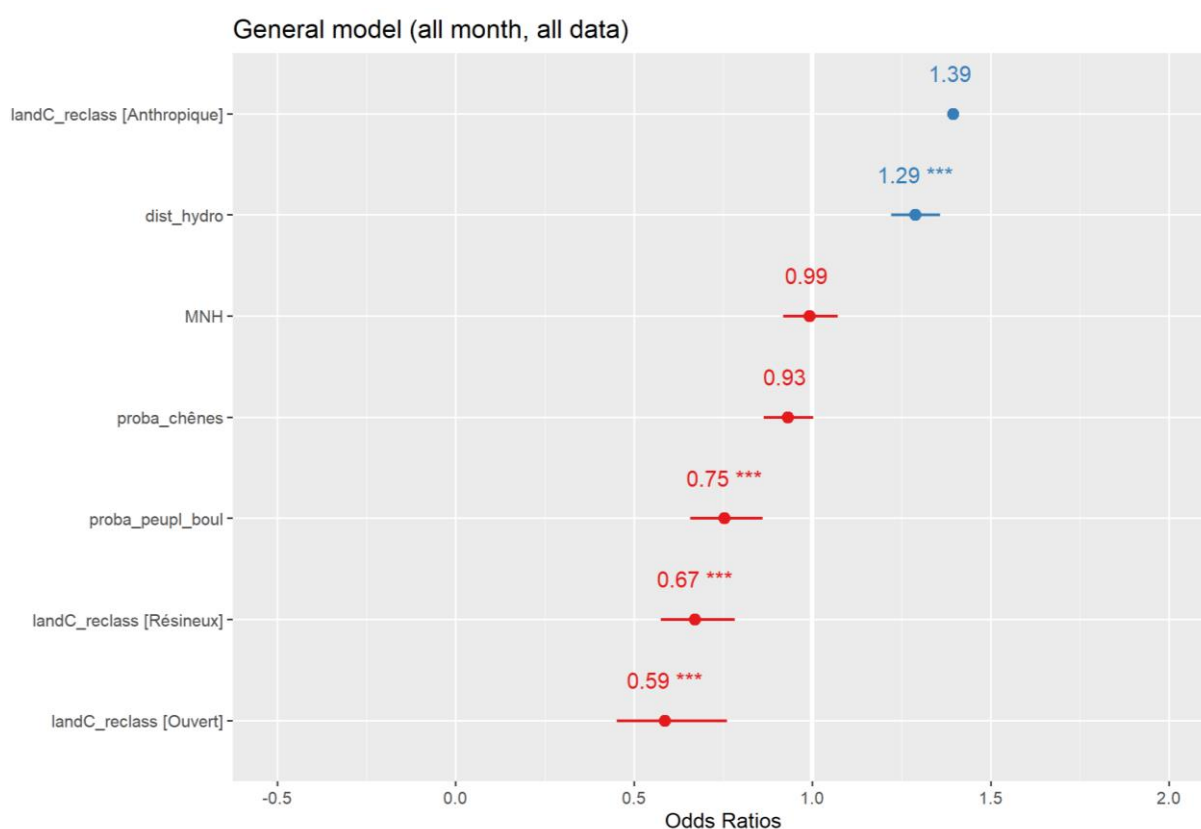


Figure 16 : Rapports de cotes de chaque variable, tous les mois et individus confondus. Codes de significativité : '\*\*\*'  $\leq 0.001$  ;  $0.001 < '**' \leq 0.01$  ;  $0.01 < '*' \leq 0.05$ ,  $0.05 < '.' \leq 0.1$ ,  $0.1 < '' \leq 1$ .

#### 4.4.2 Modèles mensuels

Les résultats présentés ici sont ceux obtenus avec les modèles « groupés », regroupant tous les individus. Les résultats obtenus avec la méthode « en deux étapes » sont présentés en annexe 21. Le choix en faveur de la première méthode provient de l'impossibilité d'appliquer la méthode « en deux étapes » aux données mensuelles, le nombre de données par individu/mois étant parfois trop faible. Une étude bimensuelle entraîne une perte d'informations utiles à la compréhension plus fine de la sélection des ressources en fonction des ressources disponibles (elles-mêmes dépendantes des conditions météorologiques). De plus, la méthode « en deux étapes » ne donne pas d'informations concernant les p-valeurs des coefficients moyens, ce qui rend compliquée l'interprétation de la significativité ou non d'une sélection ou d'un évitement. Finalement, même si les variations entre individus ne sont pas représentées avec les modèles « groupés », le nombre limité d'individus et la durée limitée de la période étudiée rendent l'analyse de ces variations possible sans trop de difficultés. En effet, les modèles individuels servent à représenter la variation entre individus, et peuvent être utilisés au moment de la discussion afin de mettre en relief les résultats des modèles mensuels. De plus, il est facile d'analyser cartographiquement les points GPS, en superposition avec les classes d'occupation du sol, afin de discuter plus en profondeur des résultats obtenus avec les modèles.

La figure 17 regroupe les rapports de cotes des quatre mois étudiés.

Le modèle de **mars** indique un évitement significatif des milieux ouverts par rapport aux forêts feuillues. De plus, il ne semble pas y avoir de différence significative entre les milieux résineux et les milieux feuillus. Les variables continues montrent la sélection des milieux éloignés des cours d'eau ainsi que la sélection des valeurs de MNH (Modèle Numérique de Hauteur) faibles, ce qui est probablement influencé par sa sélection des milieux ouverts. En outre, aucune différence de sélection significative n'a été relevée entre les différents types de peuplements. Le coefficient « zéro » attribué aux milieux anthropiques provient du fait qu'aucun point GPS n'a été relevé dans ces milieux pour le mois de mars, ce qui est certainement lié à la très faible représentativité du milieu dans les domaines vitaux de cette période et à la période limitée de récolte de points (uniquement durant la dernière décade).

Le modèle d'**avril** indique une sélection significativement plus élevée des forêts de résineux par rapport à celles de feuillus. Aucune différence de sélection significative n'a été relevée entre ces dernières et les milieux ouverts et anthropiques. Au sein des milieux forestiers, les épicéas sont sélectionnés, mais également les chênes, tandis qu'aucune sélection de hêtres n'a été relevée (annexe 12). On remarque à nouveau une relation positive entre la distance par rapport aux cours d'eau et la sélection de la ressource.

Le modèle de **mai** indique une sélection évidente des forêts de feuillus, en présentant un évitement des trois autres types de milieux, bien que l'évitement des milieux anthropiques ne soit pas significatif. En effet, les hêtres sont très significativement sélectionnés, tandis que les épicéas sont très significativement évités (annexe 13). Une fois de plus, on remarque une relation positive entre la distance par rapport au cours d'eau et la sélection de la ressource.

Le modèle de **juin** indique une sélection très significative des milieux anthropiques par rapport aux forêts de feuillus. A contrario, les milieux ouverts sont significativement moins sélectionnés. Les épicéas, les peupliers et les bouleaux sont évités, tandis que les hêtres sont très significativement

sélectionnés (annexe 14). En juin également, le raton laveur sélectionne plus volontiers des habitats/ressources éloignés des cours d'eau.

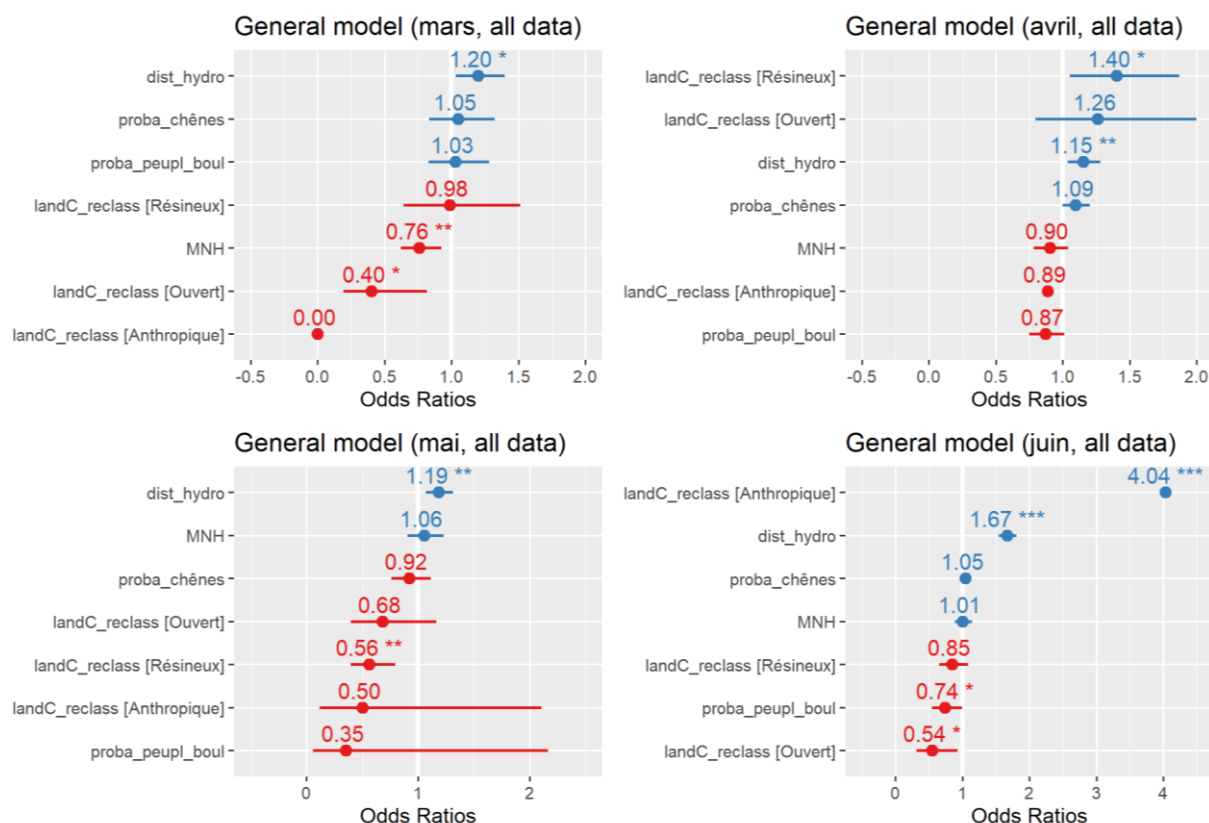


Figure 17 : Rapports de cotes de chaque variable pour les mois de mars, avril, mai et juin, tous individus confondus. Codes de significativité : '\*\*\*'  $\leq 0.001$  ;  $0.001 < '**' \leq 0.01$  ;  $0.01 < '*' \leq 0.05$ ,  $0.05 < '.' \leq 0.1$ ,  $0.1 < '' \leq 1$ .

#### 4.4.3 Modèles individuels

La figure 18 regroupe les rapports de cotes des quatre individus étudiés.

Les modèles par individu permettent, une fois de plus, de représenter la variation présente entre les différents individus. Il est ainsi constaté que la distance par rapport aux cours d'eau est significativement sélectionnée pour tous les individus, à l'exception de Valérie pour qui aucune tendance n'a pu être mise en évidence. De manière générale, tous les individus semblent préférer les forêts de feuillus aux plantations de résineux, aux milieux ouverts et aux milieux anthropiques, à l'exception d'Achille qui sélectionne les milieux anthropiques. Finalement, Valérie et Lucien sélectionnent des MNH plus élevés, tandis qu'Achille les évite. Valérie et Achille sélectionnent tous deux les peuplements avec présence de chênes, tandis que Lucien et Baguera ont le comportement inverse.

Le coefficient lié à la proportion de peupliers et de bouleaux n'est pas représenté pour Baguera car aucun de ses points GPS n'est présent dans ce type de milieu. Le coefficient « zéro » attribué aux milieux anthropiques pour Baguera et Lucien provient du fait qu'aucun de leurs points GPS n'ont été relevés dans ces milieux.

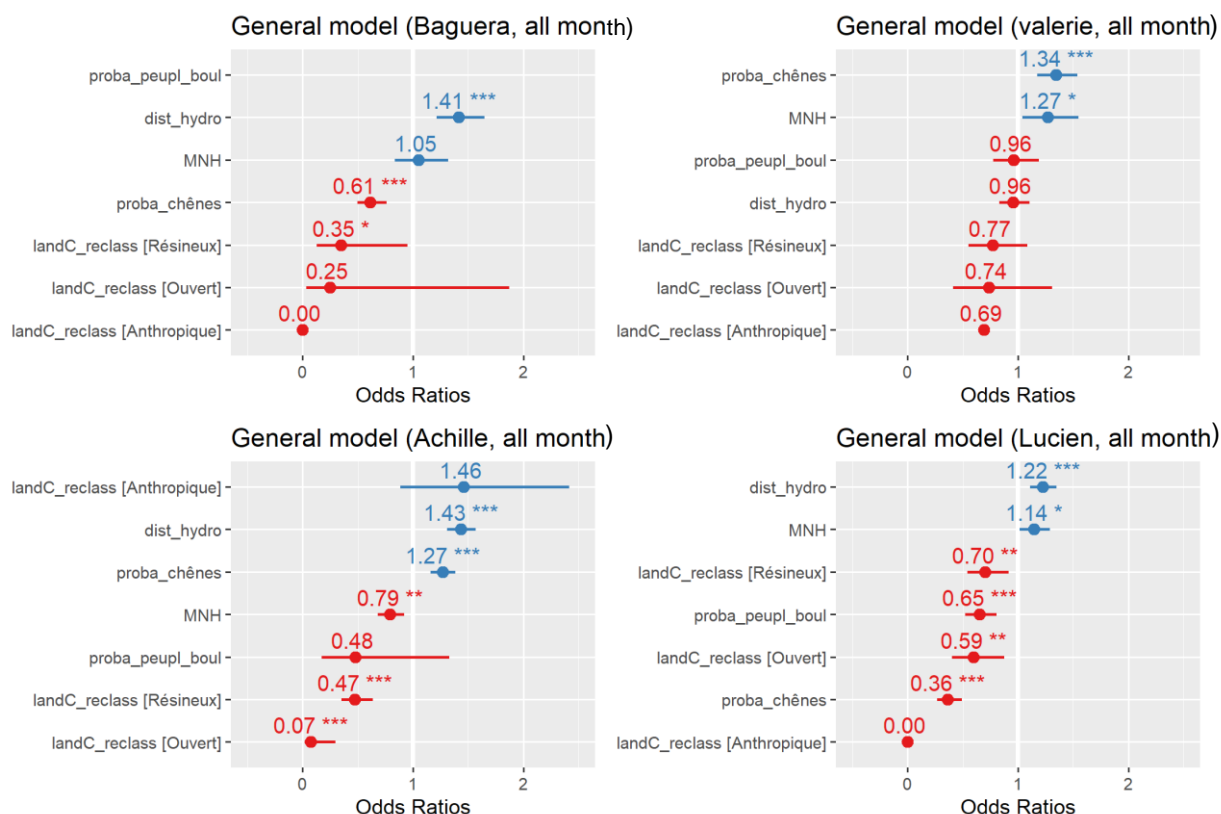


Figure 18 : Rapports de cotes de chaque variable pour les 4 individus étudiés (Baguera, Valérie, Achille et Lucien), tous mois confondus. Codes de significativité : '\*\*\*'  $\leq 0.001$  ;  $0.001 < '**' \leq 0.01$  ;  $0.01 < '*' \leq 0.05$ ,  $0.05 < '.' \leq 0.1$ ,  $0.1 < '' \leq 1$ .

Pour terminer ce chapitre sur les résultats des RSF, les résultats obtenus pour les modèles bimensuels par individus sont disponibles en annexes 19 et 20.

#### 4.4.4 Prédictions

Les cartes de prédictions obtenues se trouvent en annexe 22. Ces cartes donnent la probabilité relative (et pas absolue) de trouver des rats laveurs dans la zone d'étude, en fonction des quatre grandes classes d'occupation du sol et du MNH. Elles sont à interpréter avec précaution car elles sont directement liées aux coefficients des modèles, qui sont parfois soumis à discussion. Le mois de juin, tout particulièrement, est biaisé par l'influence des milieux anthropiques.

#### 4.4.5 Relevés de terrain

Les items alimentaires principalement observés sur le terrain sont présentés dans le tableau 7. Les bois morts dont l'écorce a été arrachée ne représentent par un item alimentaire en soi, mais un élément du paysage riche en ressources alimentaires attractives pour le raton laveur (insectes, limaces, cloportes). Les bois morts sont tout de même mentionnés dans ce tableau de résultats, car ils permettent de bien représenter la recherche alimentaire des rats laveurs dans les milieux sélectionnés. C'est en effet l'indice de présence le plus majoritairement observé sur le terrain, puisqu'il était présent dans plus de 2/3 des sites prospectés. Les autres ressources alimentaires les plus abondamment et fréquemment observées sont les insectes (coléoptères, fourmis, libellules), les

limaces et escargots, les amphibiens, les micromammifères et les cloportes. Le tableau détaillé des observations de terrain se trouve en annexes 23 et 24, et des illustrations se trouvent en annexe 25.

Tableau 7 : Fréquence d'observation de présence des items alimentaires majoritaires observés sur le terrain, par classes d'occupation du sol.

	Forêts feuillues (n=17)	Forêts résineuses (n=3)	Milieux ouverts humides (n=6)	Milieux ouverts secs (n=4)	Total (n=29)
Bois morts écorcés	14	1	3	2	20
Insectes (coléoptères, fourmis, libellules)	6	1	6	1	14
Limaces/escargots	8	0	2	1	11
Amphibiens	2	2	6	1	11
Micromammifères	6	1	0	1	8
Cloportes	5	0	1	0	6

#### 4.5 INFLUENCE DES ARBRES À CAVITÉ

Le tableau 8 présente les distances moyennes et médianes, ainsi que les déviations standards et coefficients de variation associés, entre les points GPS d'une part, et les points échantillonnés aléatoirement d'autre part, et les arbres à cavité les plus proches.

Tableau 8 : Distances moyennes, médianes (en mètres) et déviations standards et coefficients de variation associés, entre les points GPS et les arbres à cavités les plus proches, et entre les points échantillonnés aléatoirement et les arbres à cavité les plus proches.

	Points GPS	Échantillon aléatoire
Moyenne	159	166
Médiane	141	163
Déviations standard	113	9
Coefficient de variation	71	5

La p-value obtenue lors du test de Wilcoxon est largement supérieure à 0,05, et ce, peu importe le nombre de répétitions effectuées. Ce résultat ne permet pas de mettre en évidence une influence des arbres à cavités sur les déplacements du raton laveur.

## 5 DISCUSSION

---

### 5.1 DOMAINE VITAUX

En raison de la petite taille de l'échantillon d'individus étudiés, les comparaisons statistiques entre sexes et âges n'ont pas pu être réalisées ; toutefois, et en gardant toute la prudence requise, des tendances semblent visuellement se dessiner. Ainsi, il semble que les domaines vitaux soient plus grands chez les mâles que chez les femelles. Le domaine vital du mâle adulte (Lucien), tout particulièrement, est près de trois fois plus grand que celui des femelles, ce qui coïncide avec les résultats de Hohmann et al. (2000).

La taille moyenne des domaines vitaux (590 ha) est supérieure à celles obtenues en Allemagne sur une femelle dans une mosaïque de pâturage, de terres arables et de forêts (340 ha), en Allemagne de l'est (2 femelles, 200 et 250 ha) et en Amérique du Nord (Illinois et Nebraska, Prange et al., 2004 ; McWilliams & Nowak, 2015). Elle est cependant largement inférieure aux tailles obtenues en Pologne, tant en milieux humides que forestiers (Bartoszewicz et al., 2008). Elle est relativement similaire à la taille obtenue en Allemagne Centrale sur sept femelles en été (670 ha, intervalle de 385 ha à 1.572 ha) dans une mosaïque majoritairement composée de forêts mixtes, suivie par des terres arables et une minorité de bassins versants (Hohmann et al., 2000).

La différence entre la vitesse moyenne calculée sur base des localisations de 5 minutes d'écart, et les distances parcourues en 2h confirme la recherche de nourriture par le raton laveur pendant la nuit. Son comportement de chasseur-cueilleur l'amène en effet à avancer à faible allure et à prospecter de manière plus intense les zones riches en ressources alimentaires, avant de continuer son chemin.

Les résultats suggèrent aussi que les distances parcourues en 2h seraient plus grandes en avril et en mai, ce qui coïncide avec les pics d'augmentation des domaines vitaux respectivement des adultes et des jeunes adultes.

La diminution du domaine vital de Baguera (femelle adulte) en mai est liée à la parturition, qui a eu lieu en avril. En réalité, la taille de son domaine vital s'est brusquement réduite le 6 avril, ce qui correspond au début de l'utilisation par Baguera d'un nouveau refuge et à la diminution de ses déplacements, dont la fréquence n'augmentera à nouveau tout doucement qu'à partir du 3 mai. Durant cette période, la femelle n'effectue qu'une sortie par jour, entre 20h et 22h, avec un creux entre le 12 et le 26 avril, où uniquement quatre sorties ont lieu (les 12, 16, 19 et 26 avril).

#### 5.1.1 Variations dans les domaines vitaux des jeunes adultes

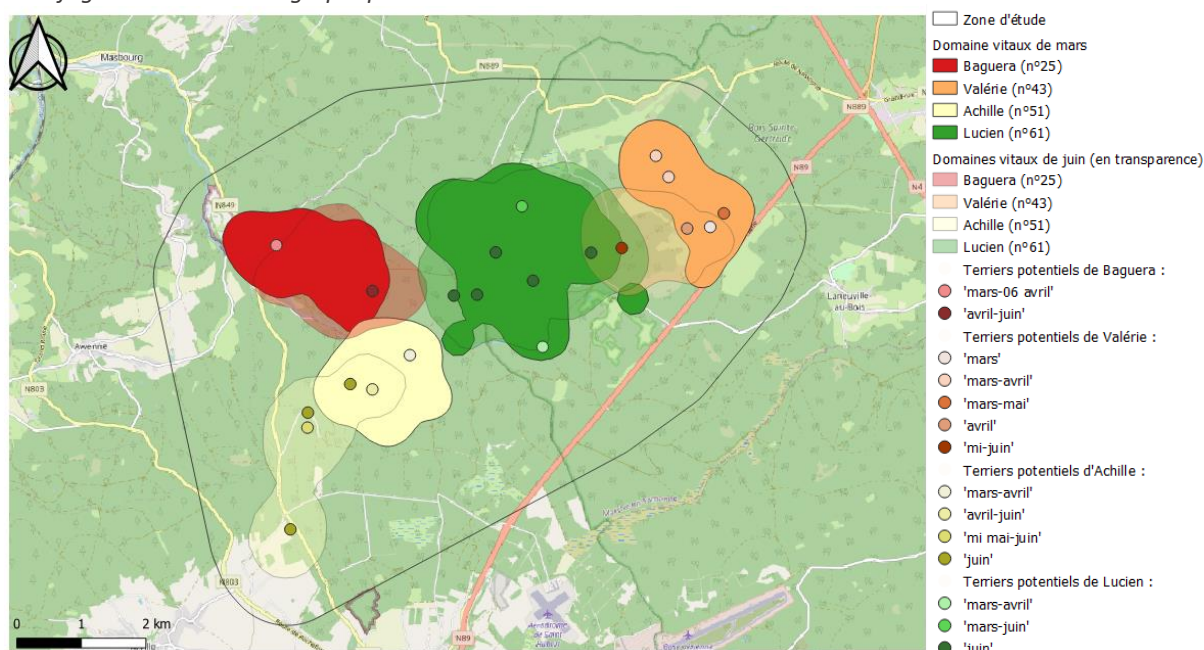
L'augmentation des domaines vitaux des jeunes adultes entre les mois d'avril et de mai pourrait provenir de leur dispersion, celle-ci ayant lieu au printemps. Cette interprétation est corroborée par les variations importantes des types de milieux présents au sein de leurs domaines vitaux (figure 14). Ainsi, Valérie (collier 43) quitte des forêts résineuses sempervirentes pour se déplacer vers des zones à proportion plus élevée de forêts feuillues, tandis qu'Achille (collier 51) fait l'inverse. La figure 19

représente les domaines vitaux des mois de mars et de juin, superposés avec les refuges mis en évidence cartographiquement.

La figure 14, qui représente les proportions de milieux disponibles et utilisés par individu et par mois, confirme également une augmentation de la proportion de forêt feuillue dans son domaine vital, et une augmentation très marquée de l'utilisation de ce milieu par comparaison avec sa disponibilité, principalement en juin. La proportion de forêts résineuses sempervirentes diminue également dans le temps, et leur utilisation baisse de manière très significative à partir du mois de mai.

La diminution de la proportion de forêts de feuillus au sein du domaine vital d'Achille est également confirmée par la figure 14, tandis que la proportion de leur utilisation ne diminue qu'à partir du mois de juin, bien que ce milieu reste sélectionné tout au long de la période étudiée. L'augmentation des forêts résineuses sempervirentes est également confirmée, leur proportion d'utilisation augmentant avec l'augmentation de la proportion du milieu au sein du domaine vital, sans pour autant que celui-ci soit sélectionné. À partir du mois de mai, la présence de prairies et zones arbustives diversifiées est constatée dans le domaine vital ; leur sélection est également observée, particulièrement pour le mois de juin où le milieu est proportionnellement bien plus utilisé qu'il n'est disponible.

Figure 19 : Domaines vitaux de mars (en opaque) et juin (en transparence) pour chaque individu, avec les zones de refuges détectées cartographiquement.



## 5.2 RATIOS DE SÉLECTION

En théorie, des ratios de sélection plus élevés indiquent une sélection plus marquée d'un type de milieu. Au **niveau populationnel**, le ratio de sélection indique une sélection très marquée des prairies monospécifiques. L'observation cartographique de cette classe d'occupation du sol superposée aux points GPS montre une sélection importante de ce milieu par Achille (ce qui est confirmé par l'analyse RSF, tous mois confondus, d'Achille). Cependant, aucun autre individu ne sélectionne ce milieu ; Valérie n'y a qu'un unique point de présence, tandis que Baguera et Lucien n'en ont aucun. Dans ce cas, comment expliquer un ratio de sélection si élevé au niveau populationnel ? Pour rappel, les ratios

de sélection de ressources sont calculés à l'aide de la mesure de sélectivité de Manly, c'est-à-dire en divisant les ressources utilisées par les ressources disponibles. Or, les prairies monospécifiques productives permanentes sont très peu représentées dans le paysage (sous forme de gagnages en forêt), ce qui mène à un ratio anormalement élevé de sélection.

Le **niveau « Individuel vs Populationnel »** montre dans quelle mesure une ressource est sélectionnée au niveau individuel par rapport à sa disponibilité au sein de l'entière de la zone d'étude. Les forêts résineuses, sempervirentes et décidues, apparaissent ici sélectionnées. Une fois de plus, la valeur relativement élevée obtenue pour les forêts résineuses décidues provient de la très faible représentation de ce type de milieu dans l'environnement, et d'une zone unique fortement sélectionnée par Lucien. Les forêts résineuses sempervirentes, bien que sélectionnées également, sont présentes de manière plus importante au niveau du paysage, ce qui rend l'indice de sélection moins élevé. De la même manière, les mises à blanc récentes sont peu présentes au niveau de l'environnement, et sont sélectionnées par Lucien, ce qui explique leur ratio de sélection élevé. Les forêts mixtes sont, une fois de plus, indiquées comme très sélectionnées à cause de leur faible représentativité dans le paysage.

Au **niveau individuel**, seuls deux milieux apparaissent comme sélectionnés : les prairies monospécifiques productives permanentes et les forêts feuillues décidues. Cependant, le ratio relatif aux prairies monospécifiques montre une erreur standard élevée, ce qui indique une grande variabilité entre individus, comme cela a déjà été évoqué pour le niveau populationnel. Les forêts résineuses sempervirentes, bien que généralement évitées, présentent une erreur standard qui indique également une sélection par certains individus, comme cela a déjà été discuté précédemment.

Pour finir, le seul milieu sélectionné dans les trois niveaux étudiés sont les forêts feuillues décidues. En effet, ce milieu est majoritaire dans l'environnement, et apparaît être sélectionné par tous les individus au sein de leur domaine vital (lorsque tous les mois sont regroupés).

L'information apportée par ces ratios dans le cadre de cette étude est donc limitée. On y apprend la sélection évidente, à tous niveaux, des forêts feuillues, ainsi que la sélection au niveau du paysage des forêts résineuses par les individus. Cela signifie que, malgré la faible représentativité des forêts résineuses relativement aux forêts feuillues au niveau du paysage, les rats laveur sélectionnent tout de même cet environnement de manière non négligeable, même si cette sélection reste moindre par rapport à celle des forêts feuillues.

### 5.3 MODÈLE DE SÉLECTION DE LA RESSOURCE (RESOURCE SELECTION FUNCTION, RSF)

#### 5.3.1 Sélection des forêts

##### 5.3.1.1 Niveau 3

Sur toute la période d'étude, la sélection des **forêts de feuillus** au détriment des forêts résineuses et des milieux ouverts confirme les résultats obtenus par les ratios de sélection. Parmi celles-ci, les hêtraies sont particulièrement sélectionnées, tandis que les pessières sont particulièrement évitées.

Une sélection significativement plus élevée des forêts résineuses par rapport aux forêts feuillues, par la sélection des pessières et l'évitement des hêtraies, a eu lieu durant le mois d'avril 2021, durant

lequel de faibles températures ont été enregistrées. Les rats laveurs auraient alors pu rechercher un microclimat plus tamponné apporté par les peuplements à couverts plus bas, plus denses ou sempervirents, d'autant plus que les feuillus n'ont débourré que tardivement. Cette régulation thermique a pu leur être apportée par les peuplements résineux ainsi que par les jeunes peuplements.

A contrario, une sélection significativement plus élevée des forêts feuillues par rapport aux forêts résineuses a eu lieu durant le mois de mai ainsi que, de manière bien moins marquée, durant le mois de juin. En effet, durant ces deux mois, les pessières ont été évitées, tandis que les hêtraies ont été sélectionnées. Cela peut être lié à l'activité bioclimatique du mois de mai qui était encore, dans l'ensemble, toujours défavorable à une reprise franche de la végétation, et à la reprise de cette végétation durant le mois de juin (Rosillon et al., 2021). Bien que les forêts feuillues n'aient débourré qu'entre le 10 et le 15 mai (Lievens J., communication personnelle), pendant ces deux mois, la valeur biologique des forêts feuillues était sans doute plus importante que celle des forêts résineuses, la reprise de la végétation faisant sortir les proies potentielles et autres ressources alimentaires convoitées par le raton laveur. Le mois de juin s'est également révélé être le seul mois où une tendance envers les zones à peupliers et bouleaux a pu être observée. En effet, ces zones, qui consistent généralement en zones humides, ont été significativement évitées durant ce mois, qui fut le plus pluvieux des quatre mois étudiés.

Finalement, sur l'entièreté de la période d'étude, les rats laveurs, tous confondus, ne montrent aucune différence de sélection en fonction du **MNH**. Cela nous apprend que, pour les rats laveurs étudiés, l'âge du peuplement n'est pas aussi important que les essences qui le constituent.

#### 5.3.1.2 Niveau 4 : sélection de ressources spécifiques au sein des forêts feuillues pour le mois de juin 2021

Les forêts feuillues se révèlent donc être le milieu de prédilection du raton laveur durant la majorité de la période étudiée. Elles peuvent servir à la fois de zone de refuge et de recherche de nourriture. L'analyse des ressources alimentaires a été effectuée avec les résultats obtenus dans les forêts à surface terrière normale à élevée, excluant les clairières et zones ouvertes.

Plusieurs zones ont été repérées sur la carte comme étant des **zones de refuges**, comportant beaucoup de points GPS aux tranches horaires des sorties et rentrées de gîte, à savoir le début et la fin de nuit (18h-20h et 6h-8h). Ces zones sont donc, potentiellement, celles où se trouvent une partie des abris (terriers, arbres creux...), ou en tout cas en sont probablement proches. Le tableau 9 reprend le pourcentage de zones de refuges déterminées à partir de la carte qui se trouvent en forêts feuillues ou résineuses. Les refuges détectés cartographiquement étant principalement déterminés sur base des localisations prises à 5 minutes d'intervalle (donc un jour toutes les deux semaines), ce nombre est certainement incomplet, et doit être considéré à titre indicatif.

Tableau 9 : Pourcentages de zones de refuges potentiels se trouvant en forêt feuillues et résineuses. N = nombre de refuges potentiels.

	N	% feuillus	% résineux	% indéterminés
Baguera (collier 25)	2	100	0	0
Lucien (collier 61)	8	50	25	25
Achille (collier 51)	6	83	16	0
Valérie (collier 43)	6	16	83	0

Pour tous les individus à l'exception de Valérie, la majorité des refuges se trouve en forêt feuillue. Deux des refuges de Lucien se situent en limite de forêts feuillues et résineuses, nous empêchant de tirer des conclusions quant au milieu dans lequel se trouve le refuge.

La zone de refuge potentielle occupée par Baguera d'avril à juin a été prospectée à deux reprises sur le terrain, mais en vain (zone 6). Baguera est le seul des individus suivis à n'avoir utilisé qu'une zone de refuge durant la plus grande partie de la période d'étude (d'avril à juin), ce qui est logique étant donné qu'elle était gestante et a donc dû mettre bas durant la période étudiée.

La zone potentielle de refuge de Valérie, située en forêts feuillues, a également été prospectée (zones 26, 29, 30), mais là non plus aucun terrier ou cavité d'arbre n'a été détecté.

Concernant les **ressources alimentaires**, si certaines forêts feuillues sont assez pauvres, d'autres se révèlent très riches en ressources alimentaires. Les différentes ressources disponibles sont les limaces (très majoritaires par temps humide), les insectes (carabes, géotrupes, fourmis), les crustacés (cloportes), les micromammifères, les fruits (myrtilles), les lézards et orvets et les vers de terre. On y constate également presque toujours une très forte abondance d'araignées qui rendent le milieu idéal pour les oiseaux.

On y trouve aussi très fréquemment des arbres morts avec des écorces pelées, voire parfois arrachées par petits morceaux quand elles adhèrent encore fortement au tronc, ainsi que de la mousse grattée. En effet, sous ces écorces et mousses se cachent souvent bon nombre d'invertébrés (insectes, limaces, vers de terre, etc.). L'utilisation fréquente de cet élément du paysage, riche en ressources alimentaires, a été observée dans presque toutes les zones prospectées sur le terrain, ce qui justifie encore le choix de la sélection majoritaire des forêts feuillues par rapports aux résineuses. En effet, la densité de gros bois morts (> 125 cm de circonférence), au sol et sur pied, est plus grande dans les forêts feuillues que dans les forêts de résineux, et cela est d'autant plus marqué dans le cadre de Saint-Michel Freyr, où la quasi-totalité des forêts feuillues est classée en tant que site Natura 2000 (UG 8 : forêts indigènes de grand intérêt biologique). Au sein des forêts feuillues, cette densité de bois mort est plus élevée dans les hêtraies que dans les chênaies, ce qui peut également expliquer la préférence des rats laveurs pour les premières (Alderweireld et al., 2015). Le tableau 10 indique que plus de 2/3 des sites prospectés présentaient de gros arbres morts au sol ou des souches, et des bois dont l'écorce avait été arrachée. L'écorce arrachée s'observe parfois sur des petits bois, ce qui justifie leur fréquence d'observation supérieure aux gros arbres morts en forêt feuillue, présentée dans le tableau 10.

*Tableau 10 : Fréquence d'observation de la présence sur le terrain de gros arbres morts, de souches et de bois écorcés, par classes d'occupation du sol.*

	Forêts feuillues (n=17)	Forêts résineuses (n=3)	Milieux ouverts humides (n=6)	Milieux ouverts secs (n=4)	Total (n=29)
Gros arbres morts au sol/souches	13	3	3	2	21
Bois écorcés	14	1	3	2	20

De plus, lorsque les forêts sont traversées par des cours d'eau, ceux-ci constituent des zones potentielles de ressources alimentaires très intéressantes, comme nous avons pu le vérifier sur le terrain (têtards et grenouilles, crustacés, insectes aquatiques...).

Un excrément, appartenant potentiellement à Valérie, a été récolté sur le site 16 qui est un milieu ouvert humide. L'analyse de cette laissée a mis en évidence la consommation de carabes, de glands, de micromammifères (*Microtus agrestis*) et d'une chenille (non identifiée). La présence de glands et l'analyse des points GPS des heures précédentes, sachant qu'il faut de 9 à 14h pour que la nourriture ingérée passe à travers le système digestif du raton laveur (Zaveloff, 2002), indiquent l'utilisation récente de forêts feuillues décidues avec présence de chênes, d'où peuvent provenir ces items consommés. Cependant, à l'exception du gland, tous les autres items peuvent se retrouver dans presque tous les types d'habitats, étant relativement abondants et communs dans la mosaïque de Saint-Michel Freyr.

Tant en termes de refuges que de ressources alimentaires, les forêts feuillues de Saint-Michel Freyr sont particulièrement riches. Faisant partie du réseau Natura 2000, elles sont traitées de manière à garder une structure et une composition qui soient les plus naturelles possibles (grand nombre d'arbres morts, forêts étagées, etc.).

#### 5.3.1.3 Niveau 4 : sélection de ressources spécifiques au sein des forêts résineuses pour le mois de juin 2021

Tout d'abord, il convient de préciser que l'analyse de terrain a révélé un problème concernant la différence entre les milieux résineux décidus et sempervirents au niveau cartographique. En effet, au moins une forêt résineuse décidue s'est avérée être une pessière partiellement mise à blanc. Les forêts résineuses sempervirentes et décidues seront dès lors interprétées ensemble en tant que forêts résineuses.

Tout comme pour les forêts feuillues, la sélection des forêts résineuses peut s'expliquer par les ressources alimentaires et/ou par les zones de refuges qui s'y trouvent. Valérie est la seule qui sélectionne majoritairement les milieux résineux, qui sont les plus nombreux sur son domaine vital, en tant que **zones de refuges**. Des mesures de terrain ont été effectuées en juin dans une zone potentielle de repos de Lucien repérée cartographiquement (site 11) ; ces mesures ont mis en évidence la présence d'un terrier avec une latrine juste à côté (figure 20). Une zone dans la forêt résineuse adjacente a également été prospectée (site 10), ce qui a permis d'identifier deux terriers, dont un qui semblait utilisé. Lucien a fait un aller-retour assez rapide du site 10 vers le site 11, qui est un milieu peu intéressant en termes de ressources, ce qui donne à penser qu'il pourrait avoir utilisé un de ces gîtes.

En termes de **ressources alimentaires**, ces deux zones avec présence de terriers sont peu intéressantes. On y retrouve la présence d'eau, d'arbres morts et de coléoptères. Les deux zones se caractérisent aussi par une forte abondance de gibier (sangliers, cervidés). Dans le site 11, des plumes d'étourneau juvénile ont été retrouvées au sol. Cela pourrait toutefois correspondre à une attaque de rapace en raison du mode de consommation (plumes arrachées et dispersées, et rachis non grignotés) et du type d'habitat (pessière dense pouvant servir de site de nidification pour l'épervier).

Comme pour les forêts feuillues, lorsque les forêts résineuses sont traversées par des drains, ceux-ci constituent des zones potentielles de ressources alimentaires très intéressantes, tel que vérifié sur le terrain (insectes aquatiques, têtards et grenouilles, crustacés...).

La latrine de raton laveur retrouvée sur le site 11 a également été analysée. Elle comportait environ 6 laissées. Après les glumes de maïs présents en majorité, ces résultats mettent en évidence une prédation sur des coléoptères indéterminés, un amphibien indéterminé et un passereau de type « mésange », ainsi qu'un charognage sur sanglier mort. Il est cependant compliqué d'évaluer où se trouvait Lucien lorsqu'il a consommé ces aliments et il n'est pas possible d'établir de lien entre les traces trouvées sur le site 11 et le contenu de cette latrine.



Figure 20 : Terrier (au-dessus) et latrine (en-dessous) trouvés dans le site 11.  
Crédits : Vinciane Schockert, 2021.

Finalement, des zones d'appâtage (agrains) pour la capture de marcassins étaient présentes sur le site durant la période étudiée. Ces appâtages, tous présents en forêt feuillues comme résineuses, représentent également une source alimentaire facile d'accès pour le raton laveur.

### 5.3.2 Sélection des milieux ouverts

#### 5.3.2.1 Niveau 3

En comparaison avec les forêts feuillues, les **milieux ouverts** sont significativement évités en mars et en juin. Ils sont également évités en mai, mais de manière moins significative. Le seul mois où ils ne sont pas évités est le mois d'avril, qui est le mois le plus sec des quatre. Parmi les milieux utilisés en avril, on retrouve les mises à blanc récentes avec repousse forestière (incluant les clairières) et les prairies et zones arbustives diversifiées. Une diminution de l'utilisation des mises à blanc récentes au cours du temps est observée pour Lucien et Valérie (Figure 14). Or, ces mises à blanc sont fortement corrélées avec les zones à apport d'eau permanent.

On observe que les deux mâles évitent très significativement les milieux ouverts au profit des forêts feuillues, ce qui n'est pas le cas des femelles.

#### 5.3.2.2 Niveau 4 : sélection de ressources spécifiques au sein des milieux ouverts pour le mois de juin 2021

Contrairement aux résultats obtenus dans les analyses, les données de terrain ont montré que, souvent, les rats laveurs sélectionnent des milieux relativement ouverts ; il peut s'agir de milieux ouverts humides ou de prairies diversifiées ou monospécifiques (gagnages herbeux) mais, le plus souvent, le raton laveur sélectionne des forêts feuillues relativement ouvertes, ou des clairières. En effet, sur les 29 clusters prospectés sur le terrain en juin, 11 étaient des milieux ouverts ou des clairières. Or, seuls deux de ces onze milieux sont classés en tant que milieux ouverts par le LifeWatch ; tous les autres sont des forêts feuillues ou résineuses. Cela reflète la nécessité d'interpréter les résultats obtenus par les modèles avec prudence, ces derniers pouvant être biaisés par le manque de précision des ressources cartographiques par rapport aux données GPS.

Au sein des milieux ouverts, une distinction peut être faite entre milieux humides et milieux secs.

Tout d'abord, dans les **milieux ouverts secs** fréquentés par les individus étudiés, nos prospections ont permis de détecter diverses ressources telles que des araignées, des coléoptères, des myrtilles

(intensivement consommées par un individu au cours d'une nuit dans une zone où ces fruits abondaient), des micromammifères, et des arbres morts au sol et sur pied avec des écorces qui ont été dépecées dans le but d'atteindre d'éventuels insectes ou invertébrés logés en dessous. Les milieux ouverts secs utilisés par temps humide se révèlent bien plus riches, avec la présence très dense de limaces. À noter que dans les diverses zones prospectées, la recherche visuelle de nids dans les cavités d'arbres à faible ou moyenne hauteur n'a pas montré d'indices de prédation, à l'exception du site 11 évoqué ci-avant.

Les **milieux ouverts humides** semblent, quant à eux, plus riches. On y retrouve des insectes (coléoptères, fourmis, libellules), des amphibiens (grenouilles, têtards), des mollusques (escargots, limaces), des araignées, des crustacés (crustacés aquatiques, cloportes), des lézards et des invertébrés (vers de terre). On y retrouve également des arbres morts au sol et sur pied, dont les écorces dépecées et la mousse grattée témoignent d'une quête de limaces, de vers, et d'autres invertébrés et insectes.

Parmi les milieux ouverts distingués par le LifeWatch, ceux utilisés par les ratons laveurs étudiés correspondent aux mises à blanc récentes avec repousse forestière, incluant les clairières forestières, les prairies monospécifiques permanentes productives (sous forme de gagnages herbeux) et les prairies et zones arbustives diversifiées.

Une récolte de données sur le terrain a eu lieu dans une zone classée comme mise à blanc récente. Cette zone était en réalité devenue une zone humide ouverte en bordure de pessière. Les ressources alimentaires principales trouvées dans cette zone humide sont des têtards en abondance, ainsi que quelques grenouilles.

### 5.3.3 Sélection des milieux anthropiques

La sélection des **milieux anthropiques** au profit des forêts feuillues provient de l'utilisation marquée des gagnages herbeux par Achille durant le mois de juin. Celui-ci a également utilisé les milieux peu artificialisés (entre 25% et 50% de surface artificielle), à savoir les routes et chemins proches de ce gagnage. Valérie a également utilisé, bien que plus faiblement, un gagnage herbeux présent dans son domaine vital. Une visite de terrain sur ces gagnages herbeux, particulièrement celui très fortement utilisé par Achille, aurait permis d'évaluer les ressources alimentaires présentes afin de déterminer les raisons de cette sélection. Ce milieu pourrait cependant être assimilé à des milieux ouverts secs classiques et offrir les mêmes types de ressources alimentaires que ceux-ci.

### 5.3.4 Sélection des milieux humides

L'évitement significatif des **cours d'eau** est inattendu. L'étude de la **sélection des peupliers et des bouleaux** (ou plutôt, des zones où la probabilité de retrouver des peupliers et/ou des bouleaux est élevée) a pour objectif de mieux étudier la sélection des milieux humides ; en effet, ces deux essences, qui ont une bonne tolérance à l'engorgement, sont fortement corrélées aux zones à apport d'eau permanent. De manière générale, elles sont également significativement évitées. Cependant, ces résultats doivent être considérés en tenant compte de la précision des cartes utilisées et de la météo.

Tout d'abord, la **carte** qui représente les cours d'eau ne montre pas tous les petits ruisseaux présents sur le terrain, ni les sources d'eau temporaires. De plus, certaines zones ouvertes humides (terrain) ne sont pas cartographiées, même pas sur la carte WOpen supposée représenter les pourcentages de

milieux ouverts humides dans la zone d'étude. La comparaison des données de terrain avec la carte de distance par rapport aux cours d'eau permet de confirmer cette hypothèse. En effet, sur les 15 sites prospectés en juin qui pourraient être considérés comme situés loin des cours d'eau selon la carte de distance, on observe en réalité la présence d'eau sur trois sites, ainsi que celle d'une source d'eau à proximité pour un autre site.

De plus, la **météo**, particulièrement humide en ce mois de juin 2021, influence également la nécessité pour les animaux de sélectionner des milieux humides ou non. Sur les 15 sites mentionnés précédemment, six ont été visités par les rats laveurs lors d'une période de pluies intenses, l'eau étant alors omniprésente. En combinant la carte de distance et les données de terrain, on a donc, sur 28 sites sélectionnés par les rats laveurs, seulement 5 sites qui sont éloignés des cours d'eau sans présence d'eau, et 23 qui sont soit proches de cours d'eau, soit avec présence d'eau.

Il faut également garder en tête que ce printemps 2021 a été, dans l'ensemble, relativement frais et humide. On peut donc supposer que l'eau a été omniprésente, ce qui n'en fait pas une ressource contraignante. L'étude de la sélection des cours d'eau et des milieux humides en périodes de fortes chaleurs et/ou sécheresses conduirait probablement à des résultats différents.

#### 5.3.5 Arbres à cavité

L'étude de l'influence des arbres à cavité se base sur la cartographie réalisée dans le périmètre du projet Nassonia qui n'a eu lieu que dans les forêts feuillues. Cela peut donc expliquer les résultats, qui ne montrent aucune influence des arbres à cavité. En effet, le raton laveur ne sélectionne peut-être pas les arbres à cavité au sein des forêts de feuillus, mais pourrait sélectionner les forêts de feuillus en partie en raison de leur plus grande densité d'arbres à cavité. Cette étude aurait été plus intéressante si l'inventaire d'arbres à cavité avait été fait sur une surface plus grande, recouvrant plus de types de milieux différents.

### 5.4 LIMITES DE L'ÉTUDE

Une des limites de l'étude tient à la **précision des cartes** utilisées par rapport à la précision des localisations GPS. En effet, bien que la carte « LifeWatch – WB Geodatabase », qui représente les classes d'occupation du sol, soit relativement précise, les différents écosystèmes présents au sein de ces classes d'habitat ne peuvent pas tous être représentés. Cela a notamment été observé sur le terrain durant le mois de juin. Comme évoqué précédemment, sur 29 sites prospectés qui étaient classifiés par le « LifeWatch » en tant que « forêt feuillue décidue », onze étaient en réalité des clairières, voire même des milieux ouverts. De nombreuses zones ouvertes ne sont donc pas représentées dans la classe d'occupation du sol des « milieux ouverts », ce qui entraîne indéniablement un biais concernant sa sélection ou son évitement. En plus de cela, certaines cartes nécessitent d'être récentes pour être valides ; c'est particulièrement le cas pour les cartes des mises à blanc. Finalement, les cartes qui représentent les probabilités d'essences forestières sont encore imparfaites et en cours d'amélioration. Une nouvelle version devrait être disponible dans le courant du mois d'août. Certaines informations, telles que celles relatives aux arbres à cavité sélectionnés pour cette étude, ne sont cartographiées que sur un échantillon réduit de la zone d'étude. Il aurait été intéressant d'étudier

l'impact des arbres à cavité à plus large échelle, et pas uniquement au sein des forêts feuillues de *Nassonia*.

L'utilisation, pour les modèles mensuels, de données individuelles regroupées sans utiliser la variable « individu » en tant que **facteur aléatoire** peut être une source d'erreur dans le modèle. En effet, les individus ayant tous un nombre de points GPS différent, les variations entre individus ne sont pas prises en compte, et les termes d'erreur utilisés pour les tests et les intervalles de confiance peuvent être biaisés (Thomas & Taylor, 2006). Le même problème se pose pour les modèles individuels qui ne tiennent pas compte de la variation inter-mensuelle. Pour régler ce problème, il aurait donc fallu utiliser les variables « individu » et « mois » comme variables aléatoires respectivement dans les modèles mensuels et individuels. Pour diverses raisons, cela n'a pas pu être effectué. Premièrement, la variable « mois » constitue une composante temporelle continue (ou plutôt discrète à haute fréquence). Un modèle GLMM contenant cette variable en tant que variable aléatoire assigne donc une évaluation nulle à la différence entre mois. Cela signifie que les différences entre mois ne sont pas plus élevées que les différences au sein d'un même mois. Ces modèles menaient donc à un ajustement singulier. Deuxièmement, l'utilisation de la variable « individu » en tant que variable aléatoire au sein des modèles mensuels n'était pas possible en raison du nombre trop faible de données. L'ajustement obtenu était également singulier.

L'étude de la sélection de l'habitat se base sur la sélection de ressources, alimentaires et de refuges, sans tenir compte de **l'influence sociale** entre les individus, en traitant ceux-ci comme indépendants. Pourtant, il ne faut pas oublier que, si les femelles sélectionnent l'habitat en fonction des ressources présentes, la sélection effectuée par les mâles est également influencée par la distribution des femelles. La compétition intraspécifique empêche les individus d'enfreindre les limites des domaines vitaux des autres individus, ce qui a nécessairement une influence sur le choix de l'habitat. L'hypothèse nulle qui considère les individus comme indépendants n'est donc pas respectée, ce qui peut entraîner un biais dans les résultats des modèles de sélection.

Finalement, l'utilisation de quatre grandes classes d'occupation du sol (forêts feuillues, résineuses, milieux ouverts et anthropiques) amène une **perte d'information** concernant la sélection des autres types de milieux. La source de ce problème provient de la modélisation des GLM(M) et du nombre de variables trop peu représentées. En effet, lorsqu'une carte présentait beaucoup de valeurs nulles, ou quand une catégorie d'occupation du sol trop peu représentée était utilisée dans les modèles, ceux-ci ne pouvaient pas s'ajuster correctement, ce qui conduisait à des erreurs standards gigantesques. Les variables catégoriques ont donc dû être rassemblées jusqu'à obtenir des classes suffisamment bien représentées. C'est également pour cette raison que les variables continues d'occupation du sol utilisées dans le « LifeWatch WB-geodatabase », bien que plus précises et informatives que les variables catégoriques, n'ont pas pu être mises à profit. Ce problème aurait pu être évité si on avait disposé d'un échantillon plus élevé, ou d'une zone d'étude plus large, couvrant davantage de milieux différents, présents en plus grande proportion.

## 5.5 PERSPECTIVES

L'**évaluation des modèles** de régression logistique en cas d'utilisation de pseudo-absences représente pour les spécialistes un véritable défi, encore plus difficile que l'ajustement des modèles en soi (Manly et al., 2002). Cela est lié au fait que les probabilités prédites par les pseudo-absences n'ont pas, *per se*, de valeurs absolues (Guisan et al., 2017). La plupart des méthodes d'évaluation donnent des valeurs d'évaluation relatives, permettant des comparaisons uniquement entre des modèles portant sur une même zone d'étude, ou sur une même espèce. De plus, seules les données de présence peuvent être utilisées pour évaluer la calibration. Les trois méthodes les plus simples sont l'AVI, la MPA et le CVI. Cependant, toutes ces méthodes se basent sur un seuil optimal prédéfini. Pour trouver ce seuil optimal, une validation croisée et/ou une procédure d'échantillonnage fractionnée doivent être effectuées. Certaines méthodes, bien que plus complexes, ne nécessitent pas de définir un seuil, tel que l'indice de Boyce (Guisan et al., 2017). Il n'est donc pas rare que l'étape de l'évaluation des modèles soit ignorée dans les études publiées sur les RSF. Pourtant, avant de tirer des conclusions solides des résultats obtenus, il serait intéressant d'en évaluer la validité.

À partir des points GPS obtenus, d'autres études portant sur l'utilisation des ressources pourraient être conduites. Tout d'abord, une fois les données récoltées sur toute l'année, il serait intéressant d'étudier la sélection de l'habitat **en fonction des saisons** plutôt que des mois. Cela permettra de laisser plus de données de présence dans les modèles (par rapport aux modèles mensuels) et ainsi, d'une part, d'utiliser les variations entre individus en tant que variable aléatoire (et donc de passer d'un GLM à un GLMM) et, d'autre part, d'étudier plus de variables explicatives, en augmentant par exemple le nombre de classes d'occupation du sol étudiées. Une autre étude qui pourrait se révéler très intéressante serait une étude portant sur le lien entre l'utilisation de l'habitat et la **météo journalière** (taux d'humidité, minimas de pluie, etc.). En effet, la météo influence fortement la disponibilité alimentaire, qui elle-même influence la sélection de l'habitat pour l'accès aux ressources, particulièrement les ressources alimentaires. En complément à une étude de ce type, il serait intéressant de procéder à des relevés similaires à ceux effectués en juin dans le cadre de ce travail, afin d'analyser plus finement le lien entre disponibilité alimentaire, météo, et sélection du milieu par le raton laveur. Dans cette perspective, deux sondes météorologiques récoltant des données toutes les 2h ont été placées dans le massif de Saint-Hubert le 16 juin 2021 afin d'obtenir la température du sol. Une mini-station météorologique qui prend des mesures supplémentaires de l'humidité du sol a également été mise à disposition de l'équipe du DEMNA.

Une autre étude qui aurait été intéressante est celle de l'utilisation de l'habitat **au sein du Kernel 50** des individus. Cela aurait permis d'étudier les habitats sélectionnés au sein des zones noyaux, c'est-à-dire dans les zones les plus utilisées par l'animal. Cependant, cette étude n'a pas pu être effectuée avec les données disponibles ici, en raison de leur nombre trop limité. En outre, ignorer les données extérieures au Kernel 50 aurait encore augmenté les problèmes d'ajustement des modèles.

## 6 CONCLUSION

---

Cette étude a permis de prouver la **très bonne plasticité et capacité d'adaptation** du raton laveur aux variables environnementales dans un écosystème forestier tel que celui de Saint-Michel Freyr. Pour ce printemps 2021, frais et humide, les ratons laveurs n'ont pas rencontré de contraintes majeures liées à l'accès aux ressources alimentaires, l'eau étant omniprésente dans le paysage. Lors des courts épisodes de chaleur et de sécheresse, les ratons laveurs n'ont eu aucun problème à s'adapter à la limitation de ces ressources en sélectionnant des milieux plus humides. On peut bien entendu supposer que la disponibilité en eau soit plus contraignante en cas de sécheresse prolongée. Cependant, il semble clair que le domaine vital du raton laveur, dans ce type de milieu, renferme toutes les ressources nécessaires à sa survie, tant du point de vue alimentaire que de l'accès à l'eau ou à des refuges potentiels.

La richesse de la mosaïque forestière de Saint-Michel Freyr, provenant en partie de sa gestion en tant que site Natura 2000, permet certainement d'expliquer en partie la densité de ratons laveurs qui y sont présents. En effet, des ratons laveurs habitant un milieu plus pauvre tel qu'une forêt entièrement résineuse sans statut de protection auraient certainement occupé des domaines vitaux plus importants, limitant donc la densité de population.

Le raton laveur serait donc **favorisé par les grandes futaies feuillues d'âge varié**, renfermant à la fois un nombre important d'arbres à cavité pouvant servir de gîtes et d'arbres morts riches en ressources alimentaires facilement accessibles une fois au sol. Les peuplements à couvert plus bas, plus dense ou sempervirent, peuvent présenter un attrait pour leur régulation thermique. Au sein des futaies feuillues, le raton laveur passe plus de temps à chercher sa nourriture dans les clairières et zones ouvertes que dans les zones densément boisées. Le nourrissage du sanglier, dissuasif ou pour capture, constitue également une ressource facile d'accès et de nature à le favoriser. Avec son régime alimentaire très diversifié, le raton laveur trouve dans ces milieux une grande variété de ressources alimentaires potentiellement intéressantes. Ces ressources alimentaires variant en fonction des conditions météorologiques, la sélection de l'habitat, qui en dépend, est susceptible de varier fortement d'une saison à l'autre, et d'une année à l'autre.

L'eau en Ardenne ne serait un facteur limitant que lors de rares épisodes de sécheresse. La période hivernale n'est pas non plus un problème pour le raton, compte tenu de la douceur des hivers et de la faculté de cette espèce à adapter son rythme d'activité en fonction de la température.

En ce qui concerne la **menace sur des espèces protégées**, elle reste faible dans des cas de densité de population de ratons laveurs peu élevée, compte tenu de l'opportunisme de l'espèce qui sélectionne principalement les ressources les plus abondantes, selon ce que nous avons pu constater sur le terrain. De plus, son allure lente, mais en mouvement quasi continu, confirme ce caractère de ramasseur-cueilleur. Néanmoins, parce qu'il semble parcourir de grandes distances au sein de son domaine vital et compte tenu du fait que l'ensemble du site d'étude semble couvert par les domaines vitaux de ratons laveurs, la prospection est intensive et la probabilité de rencontre, même accidentelle, avec une espèce protégée peut survenir, ceci d'autant plus que le spectre d'espèces, protégées ou non, potentiellement prédatées par le raton laveur est très large. La prédation n'est donc pas exclue sur des

espèces sensibles, particulièrement durant la période de nidification, par exemple. Et dans le cas où des enjeux particuliers seraient identifiés (suivi d'oiseaux en nichoirs, nidifications d'espèces emblématiques), il serait utile d'anticiper une partie des problèmes en mettant en œuvre des systèmes de protection.

Il n'est pas non plus exclu que les densités de population de rats laveurs augmentent dans les années à venir dans des milieux similaires à la forêt de Saint-Michel Freyr. L'abondance de nourriture, d'eau et d'abris, ainsi que les conditions météorologiques en font un habitat idéal pour l'espèce. Cela dépend bien évidemment de la territorialité des individus et de leur propension à former des coalitions, ce qui est difficilement prédictible. Une augmentation des densités de population dans les zones naturelles pourrait cependant être alimentée par l'augmentation des densités de populations en zones urbaines. Il est pour cela important de sensibiliser le citoyen afin de limiter l'accès aux ressources alimentaires dans ces zones.

## 7 PARTICIPATION PERSONNELLE AU PROJET

---

Ma contribution personnelle au projet a été continue, du piégeage des rats laveurs à l'analyse des localisations GPS. J'ai donc été présente lors du piégeage et de la pose des colliers, bien que les décisions relatives aux manœuvres aient été prises par les différents spécialistes présents, à savoir les agents de la DCENN et du DEMNA. J'ai participé à chaque récupération des données GPS, à l'exception de celles ayant eu lieu durant le mois de juin, avec l'aide des agents du DEMNA (principalement Julien Lievens et Frederic Della Libera). Durant le mois de juin, j'ai été sur le terrain afin de caractériser le milieu, accompagnée de Vinciane Schockert. La préparation des cartes (annexe 3) et des formulaires de prises de notes (annexe 4), ainsi que la sélection des zones à prospecter pour préparer au mieux ces différentes sorties de terrain ont été effectuées par mes soins. Pour finir, j'ai analysé les localisations GPS et interprété les résultats obtenus dans ce travail.

## 8 BIBLIOGRAPHIE

---

- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Second International Symposium on Information Theory, 267-281.
- Alderweireld, M., Burnay, F., Pitchugin, M., & Lecomte, H. (2015). Inventaire Forestier Wallon. Résultats 1994-2012., Jambes: SPW, DGO3, DNF, Direction des Ressources forestières.
- Aliev, F. F., & Sanderson, G. C. (1966). Distribution and status of the raccoon in the Soviet Union. The Journal of Wildlife Management, 30(3), 497-502.
- Bartoszewicz, M. (2011). NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Procyon lotor*. <https://www.nobanis.org/> [Accès le 24 06 2021].
- Bartoszewicz, M., Okarma, H., Zalewski, A., & Szczęsna, J. (2008). Ecology of the raccoon (*Procyon lotor*) from Western Poland. Annales Zoologici Fennici, 45(4), 291-298.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Haubo, R., Christensen, B., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., Green, P., Fox, J., Bauer, A. & Krivitsky, P.N. (2021). Package 'lme4' : Linear Mixed Effects Models using 'Eigen' and S4.
- Beasley, J. C., & Rhodes, O. E. J. (2008). Relationship between raccoon abundance and crop damage. Human-Wildlife Conflicts, 2(2), 248-259.
- Beinlich, V. (2012). Management des Waschbären (*Procyon lotor*) in Schutzgebieten des Kreises Höxter (NRW). Beiträge zur Naturkunde zwischen Egge und Weser, 23, 71-81.
- Biedrzycka, A., Zalewski, A., Bartoszewicz, M., Okarma, H., & Jędrzejewska, E. (2014). The genetic structure of raccoon introduced in Central Europe reflects multiple invasion pathways. Biological Invasions, 16, 1611-1625.
- Boyce, M., & McDonald, L. (1999). Relating populations to habitats using resource selection functions. Trends in Ecology and Evolution, 14, 268-272.
- Boyce, M., Vernier, P., Nielsen, S., & Schmiegelow, F.K.A. (2002). Evaluating resource selection functions. Ecological Modelling, 157(2-3), 281-300.
- Branquart, E., Adant, S., Libois, R., Manet, B., Motte, G., & Schockert, V. (2008). Vers un plan d'action contre les espèces exotiques envahissantes en Région wallonne: Le cas du Raton laveur (*Procyon lotor*). Nouveaux enjeux de la gestion de la faune sauvage.
- Branquart, E., D'Aes, M., Manet, B., Motte, G., Schockert, V., Stuyck, J. (2009). *Procyon lotor* (on-line) In : Invasive Species in Belgium (IAS). <https://ias.biodiversity.be/species/show/29> [Accès le 27 06 2021].
- Byrne, M. E., & Chamberlain, M. J. (2011). Seasonal space use and habitat selection of adult raccoons (*Procyon lotor*) in a Louisiana bottomland hardwood forest. The American Midland Naturalist, 166(2), 426-434.
- Calenge, C. & Basille, M. (2017). Package 'adehabitatHS' : Analysis of Habitat Selection by Animals.
- Calenge, C. & Fortmann-Roe, S. (2021). Package 'adehabitatHR' : Home Range Estimation.

- Campos Martinez, I. (2013). Contribution à l'étude de l'impact écologique d'une espèce invasive en Wallonie : Le raton laveur (*Procyon lotor*). Régime alimentaire et charge parasitaire.
- Diéguez-Urbeondo, J., & Söderhäll, K. (1993). *Procambarus clarkii* Girard as a vector for the crayfish plague fungus, *Aphanomyces astaci* Schikora. *Aquaculture and Fisheries Management*, 24(6), 761-765.
- Drygala, F., & Zoller, H. (2013). Spatial use and interaction of the invasive raccoon dog and the native red fox in Central Europe: Competition or coexistence?. *European Journal of Wildlife Research*, 59, 683-691.
- Endres, K. M., & Smith, W. P. (1993). Influence of age, sex, season and availability on den selection by raccoons within the central basin of Tennessee. *The American Midland Naturalist*, 129(1), 116-131.
- Engelmann, A. (2011). Analyse von Exkrementen gefangener Waschbären (*Procyon lotor* L., 1758) aus dem Müritz-Nationalpark (Mecklenburg-Vorpommern) unter Berücksichtigung individueller Parameter.
- Engler, R., Guisan, A., & Rechsteiner, L. (2004). An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41, 263-274.
- Erickson, W. P., McDonald, T. L., Gerow, K. G., Howlin, S., & Kern, J. W. (2001). Statistical issues in resource selection studies with radio-marked animals. In J. J. Millspaugh, & J. M. Marsluff (Eds), *Radio tracking and animal populations* (pp. 209-242). San Diego: Academic Press.
- Ewer, R. F. (1998). *The carnivores*. Cornell University Press.
- Farashi, A., Naderi, M., & Safavian, S. (2016). Predicting the potential invasive range of raccoon in the world. *Polish Journal of Ecology*, 64(4), 594-600.
- Fiderer, C., Göttert, T., & Zeller, U. (2019). Spatial interrelations between raccoons (*Procyon lotor*), red foxes (*Vulpes vulpes*), and ground-nesting birds in a Special Protection Area of Germany. *European Journal of Wildlife Research*, 65(1), 1-19.
- Fieberg, J., Bohrer, G., Davidson, S.C., Kays, R. (2018). Short course on analyzing animal tracking data. Presented at the North Carolina Museum of Natural Sciences, Raleigh, NC, USA. May 21–23, 2018. <https://movebankworkshopraleighnc.netlify.com/index.html>
- Fischer, M. L., Sullivan, M. J. P., Greiser, G., Guerrero-Casado, J., Heddergott, M., Hohmann, U., Keuling, O., Lang, J., Martin, I., Michler, F.-U., Winter, A., & Klein, R. (2016). Assessing and predicting the spread of non-native raccoons in Germany using hunting bag data and dispersal weighted models. *Biological invasions*, 18(1), 57-71.
- Fithian, W., & Hastie, T. (2013). Finite-sample equivalence in statistical models for presence-only data on Jstor. *The Annals of Applied Statistics*, 7(4), 1917-1939.
- Frantz, A. C., Cyriacks, P., & Schley, L. (2005). Spatial behaviour of a female raccoon (*Procyon lotor*) at the edge of the species' European distribution range. *European Journal of Wildlife Research*, 51(2), 126-130.
- Fritzell, E. K. (1978). Habitat use by prairie raccoons during the waterfowl breeding season. *The Journal of Wildlife Management*, 42(1), 118-127.

- García, J. T., García, F. J., Alda, F., González, J. L., Aramburu, M. J., Cortés, H., Prieto, B., Pliego, B., Pérez, M., Herrera, J., & García-Román, L. (2012). Recent invasion and status of the raccoon (*Procyon lotor*) in Spain. *Biological invasions*, 14(7), 1305-1310.
- Gautherot, J. (2011). Contribution à l'étude du régime alimentaire du raton laveur, *Procyon lotor* (L., 1758) et du putois, *Mustela putorius* L., 1758, dans le cadre d'une éventuelle compétition interspécifique.
- Gehrt, S. D. (2003). Raccoon. In G. A. Feldhamer, B. C. Thompson, & J. A. Chapman (Eds), *Wild mammals of North America: Biology, management, and conservation* (pp. 631-634). Johns Hopkins University Press.
- Gehrt, S.D., & Fritzell, E.K. (1997). Sexual Differences in Home Ranges of Raccoons. *Journal of Mammalogy*, 78(3), 921-931.
- Gehrt, S. D., & Fritzell, E. K. (1998). Resource distribution, female home range dispersion and male spatial interactions: Group structure in a solitary carnivore. *Animal Behaviour*, 55(5), 1211-1227.
- Genovesi, P., & Shine, C. (2003). Stratégie européenne relative aux espèces exotiques envahissantes. Version finale. Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe. Comité permanent. Editions du Conseil de l'Europe.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models with applications in R*. Cambridge University Press.
- Harfenist, A., MacDowell, K. R., Golumbia, T., & Schultze, G. (2000). Monitoring and control of raccoons on seabird colonies in Haida Gwaii (Queen Charlotte Islands). In L. M. Darling (Ed.), *Proceedings of a Conference on the biology and management of species and habitats at risk* (pp. 333-340). Makloops, B.C. 1999.
- Hayama, H., Kaneda, M., & Tabata, M. (2006). Rapid range expansion of the feral raccoon (*Procyon lotor*) in Kanagawa Prefecture, Japan, and its impact on native organisms. In F. Koike, M. N. Clout, M. Kawamichi, M. De Poorter, & K. Iwatsuki (Eds.), *Assessment and Control of Biological Invasion* (pp. 196-199). Shoukadoh Book Sellers, Kyoto, Japan and IUCN, Gland, Switzerland, 2006.
- Henner, C. M., Chamberlain, M. J., Leopold, B. D., & Wes, L. (2004). A multi-resolution assessment of raccoon den selection. *The Journal of Wildlife Management*, 68(1), 179-187.
- Hohmann, U., Gergard, R., & Kasper, M. (2000). Home-range size of adult raccoons (*Procyon lotor*) in Germany. *Z Säugetierk*, 65, 124-127.
- Hohmann, U., Voigt, S., & Andreas, U. (2001). Racoons take the offensive. A curent assessment. *Neobiota*, 1, 191-192.
- Ikeda, T., Asano, M., Matoba, Y., & Abe, G. (2004). Present status of invasive alien raccoon and its impact in Japan. *Global Environmental Research*, 8(2), 125-131.
- Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61(1), 65-71.
- Jolicoeur, H., Guérin, D., Landry, F., & Canac-Marquis, P. (2011). Comparaison de la fécondité des femelles ratons laveurs de la Montérégie à 20 ans d'intervalle. *Le Naturaliste Canadien*, 135(2), 64-72.
- Jule, K. R., Leaver, L. A., & Lea, S. E. (2008). The effects of captive experience on reintroduction survival in carnivores: A review and analysis. *Biological Conservation*, 141, 355-363.

- Kamler, J., Ballard, W., Helliker, B., & Stiver, S. (2003). Range expansion of raccoons in western Utah and central Nevada. *Western North American Naturalist*, 63(3), 406-408.
- Kobayashi, F., Toyama, M., & Koizumi, I. (2014). Potential resource competition between an invasive mammal and native birds: Overlap in tree cavity preferences of feral raccoons and Ural owls. *Biological Invasions*, 16, 1453-1464.
- Kozubíková, E. et al. (2009). Prevalence of the Crayfish Plague Pathogen *Aphanomyces astaci* in Invasive American Crayfishes in the Czech Republic. *Conservation biology*, 23(5), 1204-1213.
- Kunz, B. (2015). Ist der Waschbär *Procyon lotor* eine Gefahr für *Cordulegaster boltonii*? (Mammalia: Procyonidae; Odonata: Cordulegastridae). *Libellula*, 34(3/4), 203-207.
- Lecuire, C. (2020). Etude des effets de la prédation du rat musqué (*Ondatra zibethicus*) sur la Mulette épaisse (*Unio crassus*) dans la Semois à la vanne des Moines. Mémoire de Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : Biodiversité et gestion.
- Léger, F. (1999). Le raton laveur en France. *Bulletin mensuel*, 241, 16-37.
- Léger, F., & Ruetten, S. (2014). Raton laveur et chien viverrin : Le point sur leur répartition en France. *Faune sauvage*, 302, 9-16.
- Libois, R. (1987). Atlas des mammifères sauvages de Wallonie (suite) : Le raton laveur [*Procyon lotor* (L., 1758)]. *Cahiers d'Éthologie*, 7(2), 140-142.
- Libois, R., Schockert, V., Lambinet, C., Richet, J., Campos Martinez, I., Levert, A., Gautherot, J. (2021). Trophic niche of three carnivores in southern Belgium : raccoon (*Procyon lotor*), European badger (*Meles meles*) and stone marten (*Martes foina*). [Unpublished manuscript]. Zoogeography Research Unit, University of Liège.
- Lutz, W. (1984). The distribution of the raccoon (*Procyon lotor*, Linne 1758) in Central Europe. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 30, 218-228.
- Lutz, W. (1996). The introduced raccoon *Procyon lotor* population in Germany. *Wildlife Biology*, 2(1), 228.
- Maas, M., Tatem-Dokter, R., Rijks, J. M., Dam-Deisz, C., Franssen, F., van Bolhuis, H., Heddergott, M., Schleimer, A., Schockert, V., Lambinet, C., Hubert, P., Redelijk, T., Janssen, R., & Cruz, A. (2021). Population genetics, invasion pathways and public health risks of the raccoon and its roundworm *Baylisascaris procyonis* in northwestern Europe. *Transboundary and emerging diseases*, 1-10.
- Maillard, J.-F., Berger, J., Chevret, P., Ruetten, S., Adriaens, T., Schockert, V., Léger, F., Veron, G., Queney, G., & Devillard, S. (2020). L'apport de la génétique dans la compréhension de l'évolution des populations de raton laveur. *Faune Sauvage*, 326, 10-17.
- Manly, B., McDonald, L., Thomas, D., & McDonald, T. L., & Erickson, W. P. (2002). Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies. Second Edition. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Matsuo, R., & Ochiai, K. (2009). Dietary overlap among two introduced and one native sympatric carnivore species, the raccoon, the masked palm civet, and the raccoon dog, in Chiba Prefecture, Japan. *Mammal Study*, 34(4), 187-194.

- McWilliams, M., & Wilson, J. A. (2015). Home range, body condition, and survival of rehabilitated raccoons (*Procyon lotor*) during their first winter. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 18(2), 133-152.
- Michler, F.-U. F., & Michler, B. (2012). A latest survey about the ecological, economic and epidemiologic impact of raccoons (*Procyon lotor*) in Germany. *Beiträge zur Jagd- und Wildforschung* Bd., 37, 389-397.
- Mito, T. (2006). Establishment and enforcement of the new Invasive Alien Species Act in Japan. Dans: *Assessment and Control of Biological Invasion Risks*. Shoukadoh Book Sellers, 35-44.
- Mito, T.(2006) Establishment and enforcement of the new Invasive Alien Species Act in Japan. In F. Koike, M.N. Clout, M. Kawamichi, M. De Poorter, & K. Iwatsuki (Eds.), *Assessment and Control of Biological Invasion Risks* (pp. 35-44). Shoukadoh Book Sellers, Kyoto, Japan and IUCN, Gland, Switzerland.
- Muller-Using, D. (1959). Die Ausbreitung des Waschbaren (*Procyon lotor* [L.]) in Westdeutschland. *Z. Jagdwiss.*, 5, 108-109.
- Nations Unies (1992). *Convention sur la diversité biologique*.
- Newbury, R., & Nelson, T. (2007). Habitat selection and movements of raccoons. *Journal of Mammalogy*, 88(4), 1082-1089.
- Pettit, M. (2009). The problem of raccoon intelligence in behaviourist America. *The British Journal for the History of Science*, 43(3), 391-421.
- Pitt, J. A., Larivière, S., & Messier, F. (2008). Social organization and group formation of raccoons at the edge of their distribution. *Journal of Mammalogy*, 89(3), 646-653.
- Prange, S., Gehrt, S., & Wiggers, E. P. (2003). Demographic factors contributing to high raccoon densities in urban landscapes. *The Journal of Wildlife Management*, 67(2), 324-333.
- Prange, S., Gehrt, S. D., & Wiggers, E. P. (2004). Influences of anthropogenic resources on raccoon (*Procyon lotor*) Movements and spatial distribution. *Journal of Mammalogy*, 85(3), 483-490.
- Rabinowitz, A. R., & Pelton, M. R. (1986). Day-bed use by raccoons. *Journal of Mammalogy*, 67(4), 766-769.
- Rentería-Solís, Z., Förster, C., Aue, A., Wittstatt, U., Wibbelt, G., & König, M. (2014). Canine distemper outbreak in raccoons suggests pathogen interspecies transmission amongst alien and native carnivores in urban areas from Germany. *Veterinary microbiology*, 174(1-2), 50-59.
- Riley, S. P. D., Hadidian, J., & Manski, D. A. (1998). Population density, survival, and rabies in raccoons in an urban national park. *Canadian Journal of Zoology*, 76(6), 1153-1164.
- Rivest, P., & Bergeron, J.-M. (1981). Density, food habits, and economic importance of raccoons (*Procyon lotor*) in Quebec agrosystems. *Canadian Journal of Zoology*, 59(9), 1755-1762.
- Rosatte, R., Pybus, M., & Gunson, J. (1986). Population reduction as a factor in the control of skunk rabies in Alberta. *Journal of Wildlife Diseases*, 22(4), 459-467.
- Rosatte, R., Ryckman, M., Ing, K., Proceviat, S., Allan, M., Bruce, L., Donovan, D., & Davies, C. (2010). Density, movements, and survival of raccoons in Ontario, Canada: Implications for disease spread and management. *Journal of Mammalogy*, 91(1), 122-135.

- Rosatte, R., Sobey, K., Donovan, D., Allan, M., Bruce, L., Buchanan, T., & Davies, C. (2007). Raccoon density and movements after population reduction to control rabies. *The journal of wildlife management*, 71(7), 2373-2378.
- Rosillon, D., Curnel, Y. & Planchon, V. (2021). Bilan Bioclimatique en Wallonie. Observatoire Wallon de la Santé des Forêts (OWSF).
- Salgado, I. (2018). Is the raccoon (*Procyon lotor*) out of control in Europe? *Biodiversity and Conservation*, 27, 2243–2256.
- Schmidt, K. A. (2003). Nest predation and population declines in illinois songbirds: A case for mesopredator effects. *Conservation Biology*, 17(3), 1141-1150.
- Schneeweib, N., & Wolf, M. (2009). Neozoen – eine neue Gefahr für die Reliktpopulationen der Europäischen Sumpfschildkröte in Nordostdeutschland. *Zeitschrift für Feldherpetologie*, 16, 163-182.
- Schockert, V. (2017). Risk analysis of the raccoon, *procyon lotor*, risk analysis report of non-native organisms in Belgium.
- Service public de Wallonie Agriculture, Ressources naturelles, Environnement (2020). Raccoons in Wallonia : General overview and control techniques.
- Signer, J., Smith, B., Reineking, B., Schlaegel, U., Fieberg, J. & LaPoint, S. (2021). Package ‘amt’ : Animal Movement Tools.
- Stuewer, F. W. (1943). Raccoons: Their habits and management in Michigan. *Ecological Monographs*, 13(2), 203-257.
- The European Commission (2014). Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. *Official Journal of the European Union*, 317, 35-55.
- The European Commission (2016). Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1141 of 13 July 2016 adopting a list of invasive alien species of Union concern pursuant to Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, 189, 4-8.
- Thomas, D. L., & Taylor, E. J. (1990). Study designs and tests for comparing resource use and availability. *Journal of Wildlife Management*, 54, 322-330.
- Thomas, D., & Taylor, E. (2006). Study designs and tests for comparing resource use and availability II. *The Journal of Wildlife Management*, 70(2), 324-336.
- Thünen-Institut (2021). Jahresstrecken beim Waschbären (Individuen). [https://wild-monitoring.de/cadenza/api/processingChain?repositoryItemGlobalId=ROOT.Wildtier-Informationssystem.Bundesweite%20Jagdstreckenstatistik.Neozoen.Waschb%C3%A4r.wild%3Ajahressstrecke\\_bundeslaender\\_waschbaer.cwf&conditionValuesSetHash=ed56224&select](https://wild-monitoring.de/cadenza/api/processingChain?repositoryItemGlobalId=ROOT.Wildtier-Informationssystem.Bundesweite%20Jagdstreckenstatistik.Neozoen.Waschb%C3%A4r.wild%3Ajahressstrecke_bundeslaender_waschbaer.cwf&conditionValuesSetHash=ed56224&select) [Accès le 30 07 2021].
- Tossens, S. (2020). Analyse de la dynamique des populations de rats laveurs (*Procyon lotor*) en Wallonie et estimation des densités de population dans deux massifs forestiers par pièges photographiques.

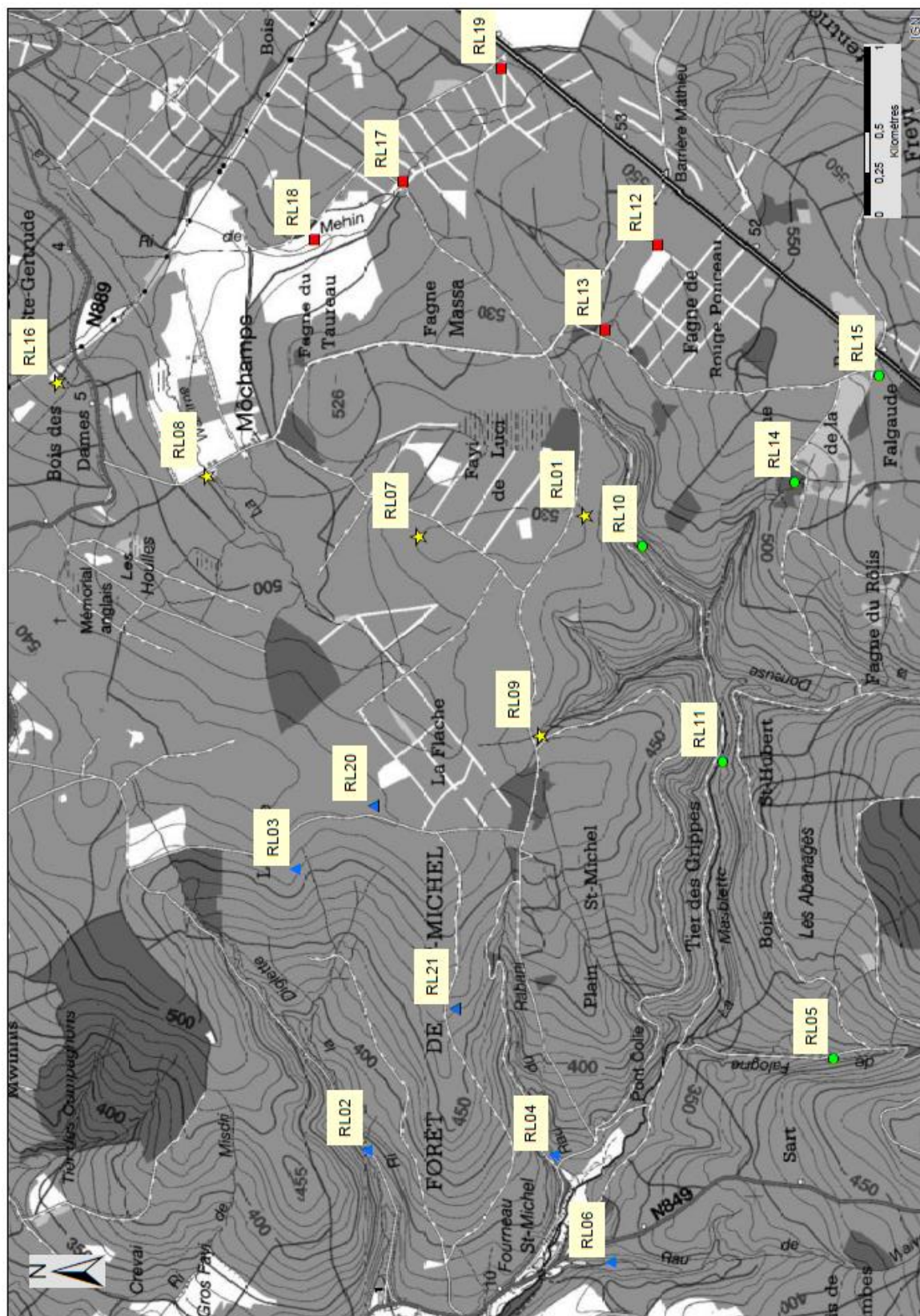
Tsiamis, K., Gervasini, E., Deriu, I., D'Amico, F., Nunes, A., Addamo, A., & De Jesus, C. (2017). Baseline Distribution of Invasive Alien Species of Union concern. EUR 28596 EN. Ispra (Italy): Publications Office of the European Union; 2017. JRC104969

Vos, A., Ortmann, S., Kretzschmar, A. S., Köhnemann, B., & Michler, F. (2012). The raccoon (*Procyon lotor*) as potential rabies reservoir species in Germany: A risk assessment. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 125(5/6), 228-235.

Zeveloff, S. (2002). *Raccoons: A natural history*. Washington (DC): Smithsonian Institution.

## 9 ANNEXES

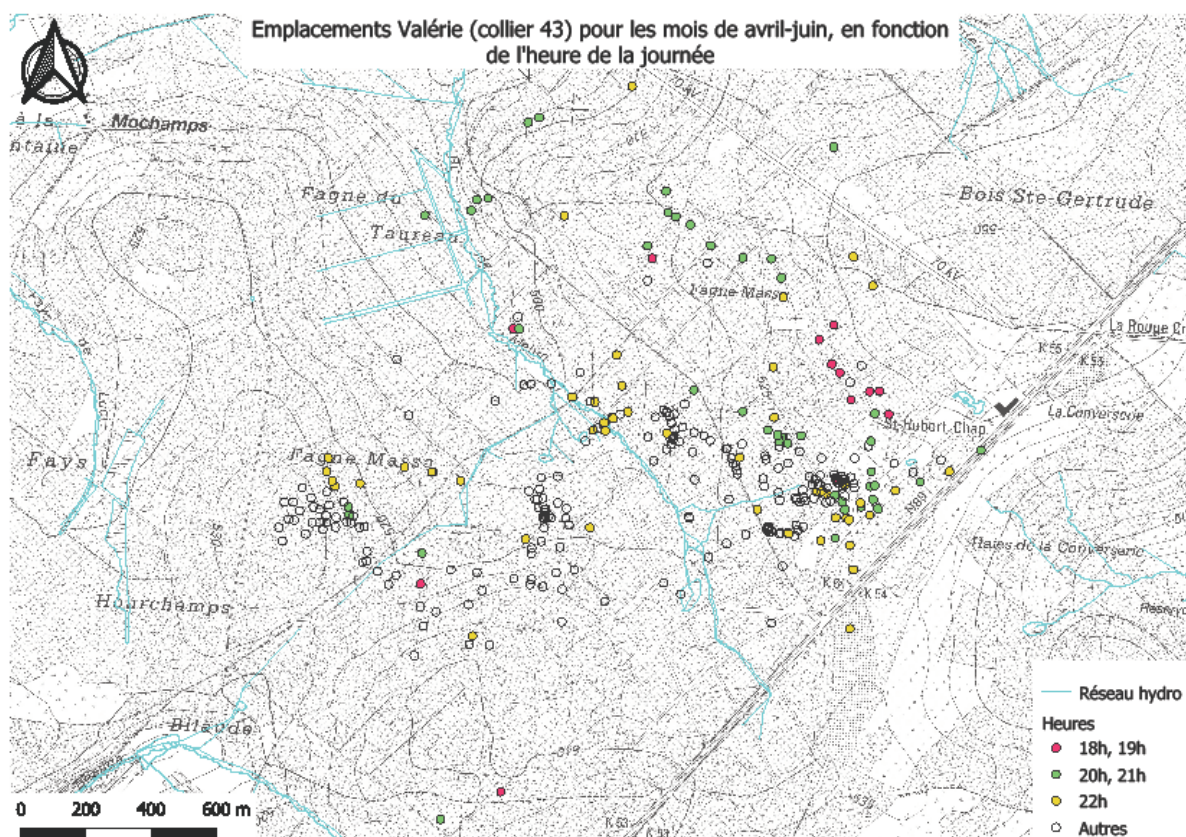
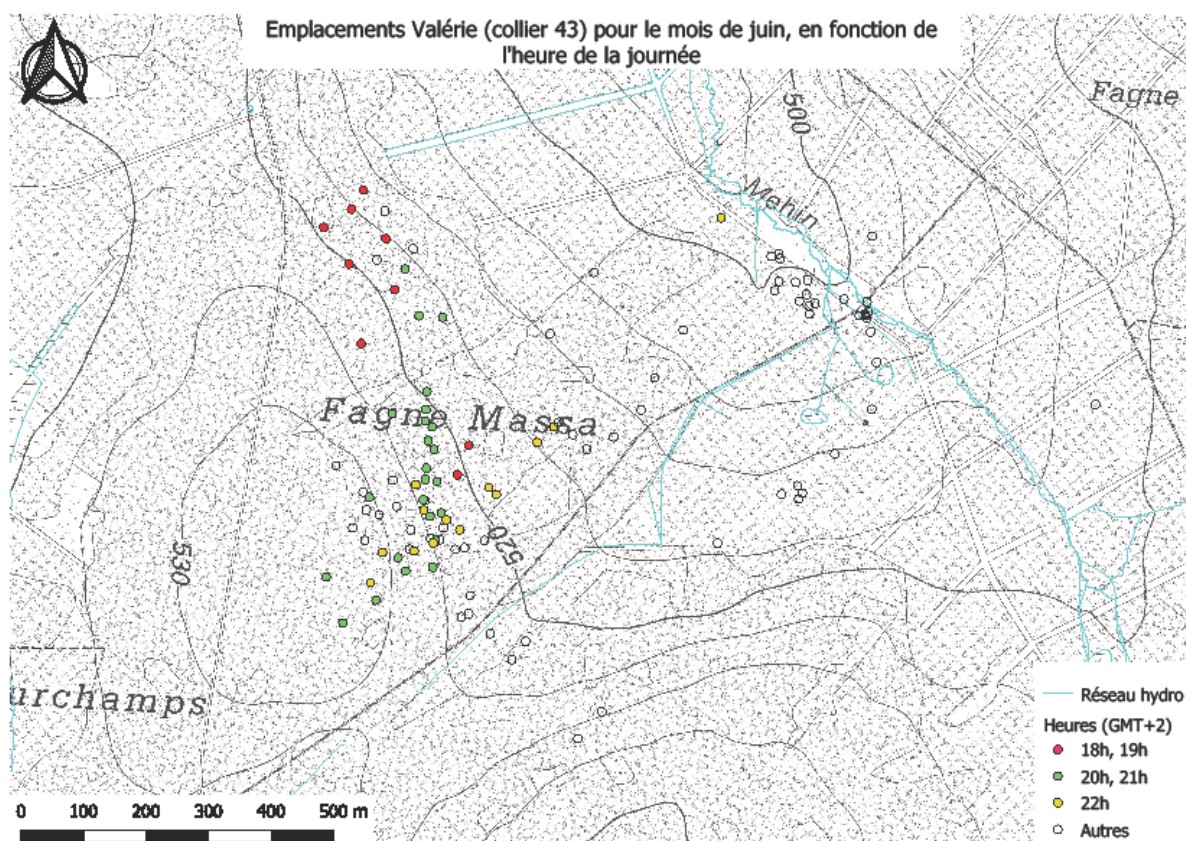
*Annexe 1 : Carte des emplacements des pièges de capture pour la pose de colliers GPS au sein du massif de Saint-Michel Freyr.*



Annexe 2 : Tableau des paramétrages appliqués aux colliers GPS AGOM Systems.



Paramètre	Description	Réglage
<b>SF</b>	Durée d'activation du collier par jour.	12 heures
<b>LoRa</b>	Durée pendant laquelle le collier est actif pour que le routeur puisse récupérer les points.	6 heures
<b>Tentative cnx LoRa</b>	Temps entre 2 tentatives de connexion au routeur par le collier.	120 secondes
<b>Temps de fix GPS</b>	Temps maximum pour que le GPS ait le temps de faire un fix.	80 secondes
<b>Nb trans Lora/14 J</b>	Nombre de fois en 14 jours que le collier essaye de se connecter au routeur.	1 (le mardi des semaines paires)
<b>Nb fix/jour</b>	Nombre de fix GPS par jour, à raison d'un fix toutes les 2 heures.	7
<b>Nb jour fix rapide/14 J</b>	Nombre de jours pendant lesquels le collier prend 1 fix GPS toutes les 5 minutes, par période de 14 jours.	1 (le lundi des semaines paires)
<b>Durée théorique</b>	Durée de vie estimée de la pile (approximative à quelques jours).	320 jours
<b>Début/fin LoRa</b>	Début et fin de phase de transmission de données du GPS vers le routeur.	14h-20h GMT : - 15h-21h heure d'hiver - 16h-22h heure d'été
<b>Début/fin fix GPS</b>	Début et fin de la phase de prise de données fix par le GPS.	16h-6h GMT : - 17h-7h heure d'hiver - 18h-8h heure d'été

Annexe 3 : Exemples de cartes produites en vue d'améliorer la récupération de données sur le terrain.



Annexe 4 : Formulaire utilisé sur le terrain pour la caractérisation du milieu effectuée durant le mois de juin.

FORMULAIRE SUIVI GPS DE RATON-LAVEUR : SAINT-MICHEL-FREYR

Date : ...../...../20.....	Lieu-dit : .....																				
Opérateur(s) : .....	Téléphone : .....																				
Numéro du collier GPS : .....	Date du parcours par le raton : ..... Heure : .....																				
Les photos sont prises : oui - non	Des crotte(s) ont été récoltée(s) : oui – non N° de l'échantillon : .....																				
<b>Conditions météorologiques à date du trajet par le raton :</b> Température diurne : ..... Pluviométrie : ..... Température nocturne : .....																					
<i>Remarque préliminaire : Bien différencier les zones de gîtes des zones de recherche de nourriture. Le formulaire suivant est destiné à caractériser les zones de <u>recherche de nourriture</u> des rats-laveurs.</i>																					
<b>Méthodologie :</b> 1. Placer un jalon au centre du cluster de points. 2. Faire une photo des 4 points cardinaux. 3. Prospecter la zone dans un rayon de 20m en complétant le formulaire ci-dessous. <b>Matériel : Jalon, prisme (calcul de surface terrière), GPS, sachets pour prélèvement de fèces.</b>																					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 16.6%;">Quadrant 1 (N-O)</th> <th style="width: 16.6%;">Quadrant 2 (S-O)</th> <th style="width: 16.6%;">Quadrant 3 (N-E)</th> <th style="width: 16.6%;">Quadrant 4 (S-E)</th> <th style="width: 16.6%;">Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Occupation du sol</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Surface terrière (m²)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Surface taillis (m²)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Quadrant 1 (N-O)	Quadrant 2 (S-O)	Quadrant 3 (N-E)	Quadrant 4 (S-E)	Total	Occupation du sol					Surface terrière (m²)					Surface taillis (m²)				
Quadrant 1 (N-O)	Quadrant 2 (S-O)	Quadrant 3 (N-E)	Quadrant 4 (S-E)	Total																	
Occupation du sol																					
Surface terrière (m²)																					
Surface taillis (m²)																					

Présence de :	Oui	Non	Sans objet
<b>1/ Faune et flore</b>			
Plantules de hêtre (faines)			
Germes de hêtres arrachés, avec feuilles consommées			
Mousse grattée			
Fruits secs - Préciser : .....			
Fruits charnus - Préciser : .....			
Coléoptères			
Micromammifères			
Amphibiens : .....			
Reptiles : .....			
Invertébrés : limaces – escargots – vers de terre			
Autres : .....			
Autre - Préciser : .....			

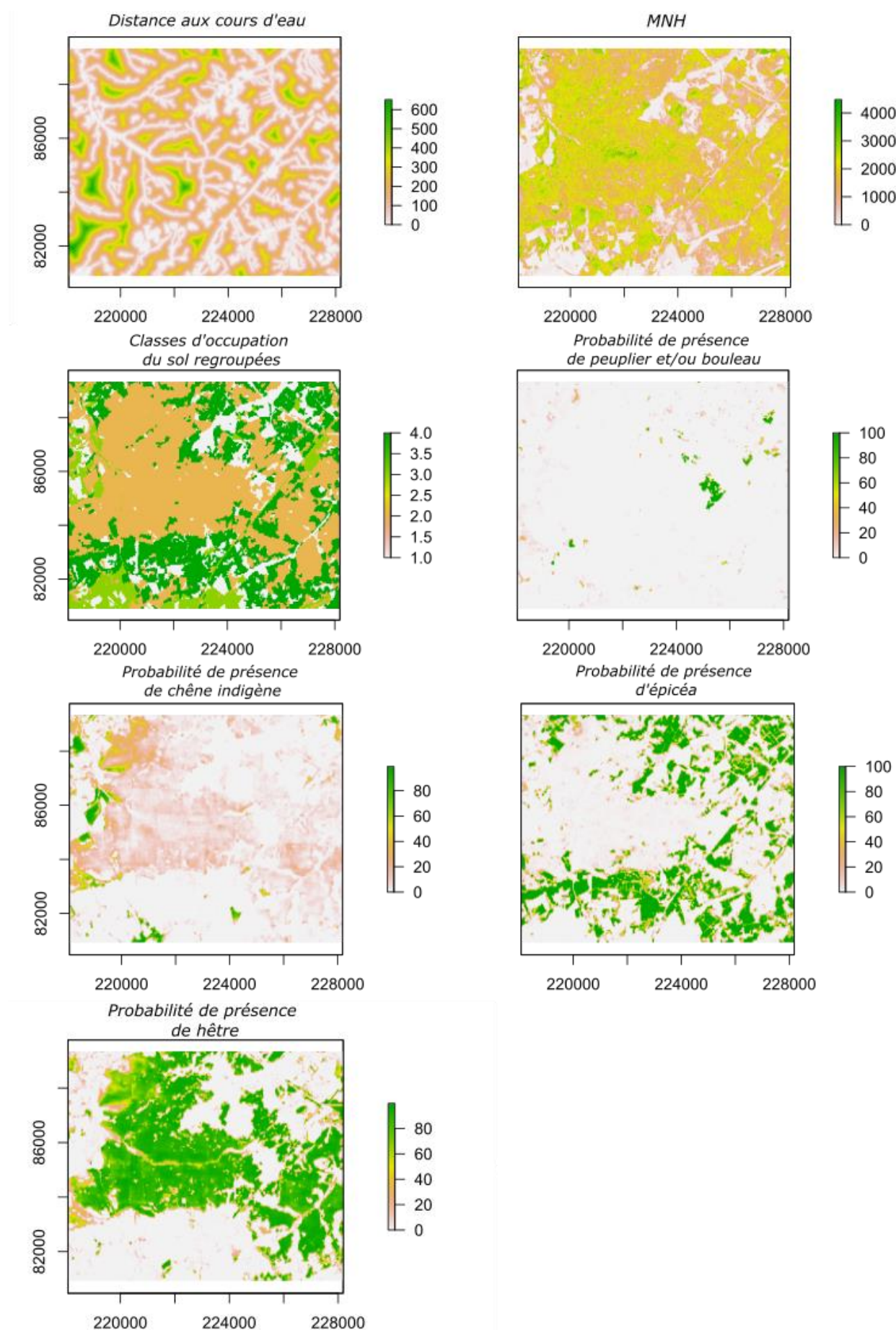
2/ Habitat			
Cours d'eau			
Flaque d'eau <input type="checkbox"/> Permanente <input type="checkbox"/> Temporaire			
Bois mort de > 20cm de diamètre (avec présence d'insectes probable) - Nombre de quilles : ..... - Nombre d'arbres morts au sol : ..... - Nombre de souches : ..... - Surface de couverture des arbres morts au sol (m²) : <input type="checkbox"/> < 1 <input type="checkbox"/> 1-5 <input type="checkbox"/> 5-25 <input type="checkbox"/> 25-50 <input type="checkbox"/> > 50 - Surface terrière des quilles (m²) : <input type="checkbox"/> < 1 <input type="checkbox"/> 1-5 <input type="checkbox"/> 5-25 <input type="checkbox"/> 25-50 <input type="checkbox"/> > 50 - Écorces dépecées : oui - non - Cloportes : oui - non			
Gîte potentiel <input type="checkbox"/> Occupé <input type="checkbox"/> Occasionnel <input type="checkbox"/> Abandonné - Préciser : ..... - Coordonnées GPS : ..... ; .....			
Autre - Préciser : .....			
3/ Indices de présence			
Traces de pattes/griffes - Lieu : .....			
Traces de prédation (nids tombés/saccagé, reste de proies, etc.) - Préciser : .....			
Fèces			
Latrine (crottier) - Coordonnées : ..... ; .....			
Autre - Préciser : .....			
<b>Remarques</b> (zone particulièrement intéressante, intérêt d'y placer un appareil photo, autres observations...) :			

Annexe 5 : Tableaux présentant le nombre de données de disponibilité et d'utilisation échantillonnées par raton laveur et par mois, ainsi que les totaux par raton laveur (tableau 1) et par mois (tableau 2).

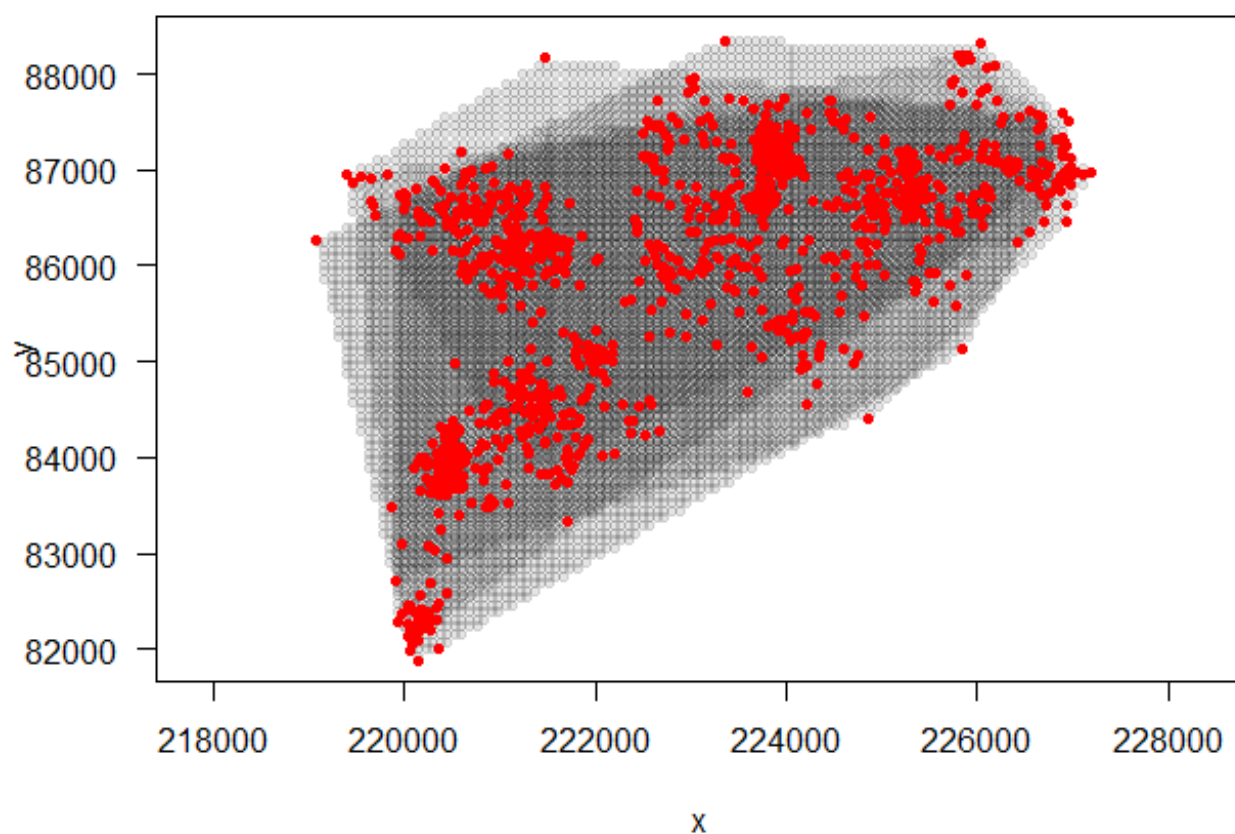
used/available	id	mois	n	n totaux
used	25	3	42	234
		4	36	
		5	76	
		6	80	
	43	3	27	193
		4	69	
		5	22	
		6	75	
	51	3	46	387
		4	108	
		5	66	
		6	167	
	61	3	60	506
		4	133	
		5	170	
		6	143	
available	25	3	420	2339
		4	361	
		5	758	
		6	800	
	43	3	269	1933
		4	692	
		5	221	
		6	751	
	51	3	461	3878
		4	1078	
		5	661	
		6	1678	
	61	3	600	5058
		4	1334	
		5	1696	
		6	1428	

used/available	Mois	n totaux
used	3	175
	4	346
	5	334
	6	465
available	3	1750
	4	3465
	5	3336
	6	4657

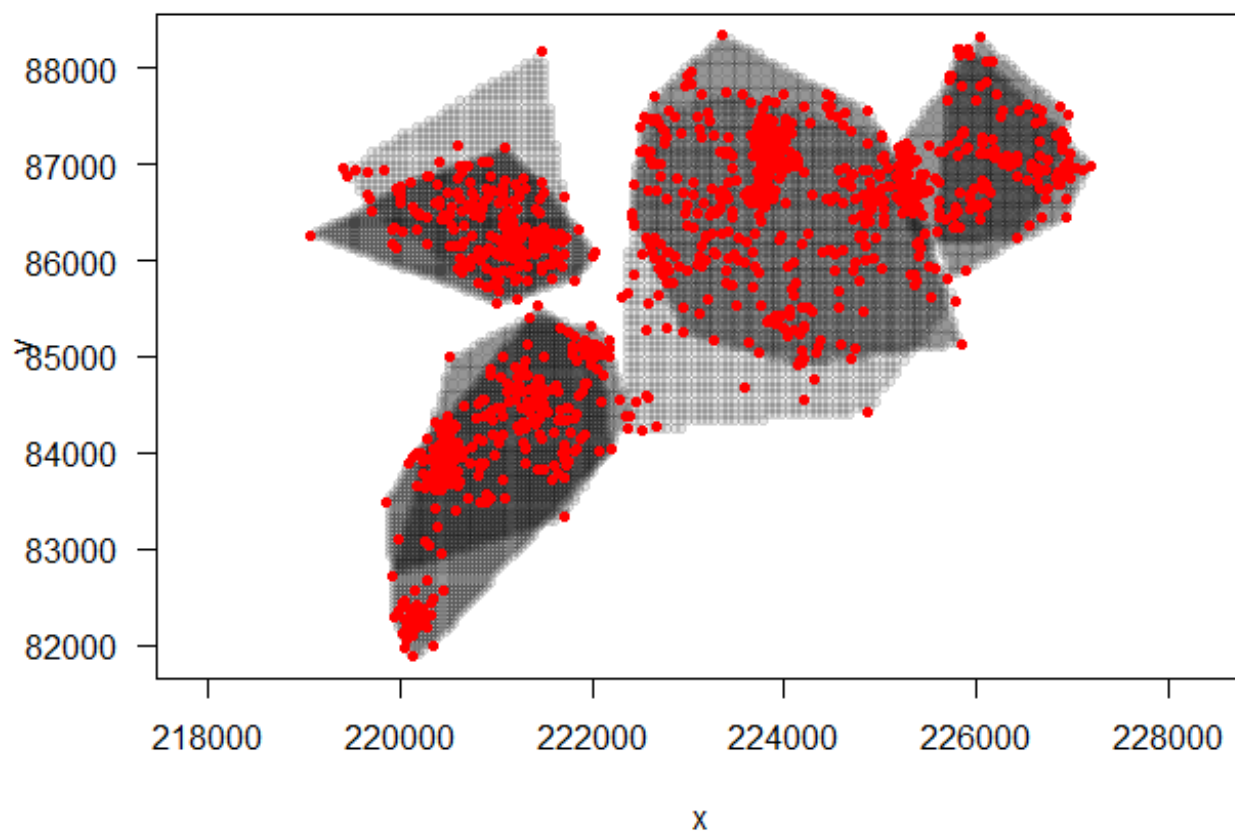
Annexe 6 : Cartes des variables explicatives sélectionnées pour l'étude RSF.



Annexe 7 : Représentation des points de présence et de pseudo-absence échantillonnés au sein des domaines vitaux (MCP100) de chaque mois, tous individus confondus.



Annexe 8 : Représentation des points de présence et de pseudo-absence échantillonnés au sein des domaines vitaux (MCP100) de chaque individu pour deux mois.



*Annexe 9 : Descriptions détaillées des écotopes étudiés, tirées de la geodatabase LifeWatch v2.9, séparées en quatre grandes classes utilisées pour ce travail. Entre parenthèses : le code LCCS attribué à chaque classe d'occupation du sol.*

## Forêts feuillues :

- Forêt de feuillus caducifoliée (60) : arbres feuillus (angiospermes), situés dans des forêts ou autres utilisations du sol (haies, vergers...)
- Forêt mixte (90) : forêt de mélange feuillus-résineux.
- Couverture mixte herbacée et arborée (avec une majorité d'arbres) (100)

## Forêts résineuses :

- Forêt résineuse sempervirente (70) : arbres conifères (gymnospermes) sempervirents situés dans des forêts ou dans d'autres utilisations du sol (haies, jardins...).
- Forêt résineuse caducifoliée (80) : arbres conifères (gymnospermes) caducifoliés situés dans des forêts ou dans d'autres utilisations du sol (haies, jardins...).

## Milieux ouverts :

- Périodiquement herbacée (10).
- Prairies et arbustes diversifiés (135) : couvert herbacé permanent mélangé à d'autres végétaux non lignivores. Cette classe couvre un grand nombre de hauts lieux potentiels de biodiversité tels que les landes ou les prairies extensives.
- Arbustes et herbacées inondées (180) : couverture herbacée inondée mélangée à d'autres végétaux non lignivores. Cette classe couvre un grand nombre de points chauds potentiels de la biodiversité tels que les zones humides et les tourbières.
- Eau (210) : plans d'eau permanents.
- Couverture mixte herbacée et arborée (avec une majorité d'herbacées) (110).
- Zones récemment défrichées avec repousse de la forêt, y compris les trouées et les arbres de Noël (120) : zones ouvertes perturbées. Couverture herbacée et arbustive permanente provenant de plantes adventices de la forêt et de jeunes arbres. Cette classe comprend les coupes à blanc récentes, les petites trouées forestières où le couvert des arbres est absent ainsi que la végétation rudérale des zones récemment perturbées ou des plantations d'arbres de Noël.
- Mélange de végétation et de sols nus (150).

## Milieux anthropiques :

- Prairies productives monospécifiques permanentes (130) : couverture permanente monospécifique de graminées résultant d'utilisations intensives des terres telles que l'agriculture intensive, les jardins, les loisirs...
- Densément artificialisées (>50% de surface artificielle) (190) : surface du sol recouverte de plus de 50% de surfaces imperméables artificielles (p.ex. béton ou bitume) et de bâtiments. Cette classe comprend les routes, les parkings, les ponts, les maisons et autres bâtiments.
- Faiblement artificialisé (>25% de surface artificielle) (195) : surface du sol recouverte de moins de 50% de surfaces imperméables artificielles (p.ex. béton ou bitume) et de bâtiments. Cette classe comprend les routes, les parkings, les ponts, les maisons et autres bâtiments.
- Sol nu (200) : sols nus ou faiblement couverts par la végétation (<15%), principalement des carrières en Wallonie.
- Couverture végétale mixte (avec majorité de cultures) (30) : majorité de terres arables (cultures annuelles et couverture herbacée temporaire).
- Couverture végétale mixte (avec une minorité de cultures) (40) : minorité de terres arables (cultures annuelles et couverture herbacée temporaire).

Annexe 10 : Tableau de résultats des modèles GLMM « généraux » testés avec les données de tous les individus et mois confondus. La variable « individu » a été intégrée dans le modèle en tant que variable aléatoire.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>generalized linear</i>			
	<i>mixed-effects</i>			
	fit.hab	fit.essences	fit.essences2	fit.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.69*** (0.04)	-10.85*** (0.03)	-10.87*** (0.03)	-10.75*** (0.05)
landC_reclassOuvert	-0.69*** (0.13)			-0.53*** (0.13)
landC_reclassAnthropique	0.43* (0.20)			0.33 (0.21)
landC_reclassRésineux	-0.35*** (0.08)			-0.40*** (0.08)
MNH	-0.01 (0.04)			-0.01 (0.04)
dist_hydro				0.25*** (0.03)
proba_chênes		-0.06 (0.03)	-0.12** (0.04)	-0.07 (0.04)
proba_épiceas		-0.15*** (0.03)		
proba_hêtres			0.28*** (0.03)	
proba_peupl_boul		-0.33*** (0.07)	-0.25*** (0.07)	-0.28*** (0.07)
Observations	14533	14533	14533	14533
Log Likelihood	-15570.06	-15570.21	-15541.46	-15503.38
Akaike Inf. Crit.	31152.12	31150.41	31092.92	31024.76
Bayesian Inf. Crit.	31197.63	31188.33	31130.84	31093.01
Note:			* ** *** p p p	p<0.001

Annexe 11 : Tableau de résultats des modèles GLM « mensuels » testés avec les données de tous les individus pour *mars*.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	mars.hab	mars.essences	mars.essences2	mars.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.68*** (0.09)	-10.81*** (0.08)	-10.82*** (0.08)	-10.72*** (0.10)
landC_reclassOuvert	-1.14** (0.35)			-0.92* (0.36)
landC_reclassAnthropique	-13.10 (260.85)			-12.77 (260.87)
landC_reclassRésineux	-0.08 (0.20)			-0.02 (0.22)
MNH	-0.29** (0.10)			-0.28** (0.10)
dist_hydro				0.18* (0.08)
proba_chênes		0.07 (0.10)	-0.001 (0.12)	0.05 (0.12)
proba_épiceas		0.11 (0.08)		
proba_hêtres			0.05 (0.09)	
proba_peupl_boul		0.01 (0.11)	0.01 (0.11)	0.03 (0.11)
Observations	1918	1918	1918	1918
Log Likelihood	-2059.75	-2066.81	-2067.59	-2057.04
Akaike Inf. Crit.	4129.51	4141.63	4143.18	4130.07
Note:	* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001			

Annexe 12 : Tableau de résultats des modèles GLM « mensuels » testés avec les données de tous les individus pour **avril**.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	avril.hab	avril.essences	avril.essences2	avril.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.87*** (0.07)	-10.83*** (0.05)	-10.82*** (0.05)	-10.92*** (0.07)
landC_reclassOuvert	0.02 (0.23)			0.23 (0.24)
landC_reclassAnthropique	-0.30 (0.72)			-0.12 (0.73)
landC_reclassRésineux	0.24 (0.14)			0.34* (0.15)
MNH	-0.08 (0.07)			-0.10 (0.07)
dist_hydro				0.14** (0.05)
proba_chênes		0.05 (0.05)	0.04 (0.05)	0.09 (0.05)
proba_épiceas		0.14** (0.05)		
proba_hêtres			-0.12* (0.06)	
proba_peupl_boul		-0.12 (0.07)	-0.15* (0.08)	-0.14 (0.08)
Observations	3797	3797	3797	3797
Log Likelihood	-4075.17	-4072.50	-4073.52	-4068.10
Akaike Inf. Crit.	8160.34	8153.01	8155.03	8152.20
Note:			* p	** p *** p<0.001

Annexe 13 : Tableau de résultats des modèles GLM « mensuels » testés avec les données de tous les individus pour *mai*.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	mai.hab (1)	mai.essences (2)	mai.essences2 (3)	mai.all (4)
Constant	-10.67*** (0.07)	-11.01*** (0.15)	-11.00*** (0.13)	-10.83*** (0.15)
landC_reclassOuvert	-0.51 (0.26)			-0.39 (0.27)
landC_reclassAnthropique	-0.65 (0.73)			-0.69 (0.73)
landC_reclassRésineux	-0.56*** (0.16)			-0.58** (0.18)
MNH	0.05 (0.08)			0.05 (0.08)
dist_hydro				0.17** (0.05)
proba_chênes		0.01 (0.08)	-0.19 (0.11)	-0.08 (0.10)
proba_épiceas		-0.25*** (0.07)		
proba_hêtres			0.41*** (0.07)	
proba_peupl_boul		-1.32 (1.01)	-0.93 (0.88)	-1.04 (0.92)
Observations	3688	3688	3688	3688
Log Likelihood	-3937.41	-3935.21	-3924.78	-3928.11
Akaike Inf. Crit.	7884.83	7878.42	7857.55	7872.22
Note:			* ** *** p<0.001	

Annexe 14 : Tableau de résultats des modèles GLM « mensuels » testés avec les données de tous les individus pour *juin*.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	juin.hab	juin.essences	juin.essences2	juin.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.73*** (0.06)	-10.85*** (0.05)	-10.85*** (0.05)	-10.95*** (0.07)
landC_reclassOuvert	-1.11*** (0.27)			-0.61* (0.27)
landC_reclassAnthropique	1.39*** (0.24)			1.40*** (0.25)
landC_reclassRésineux	-0.27* (0.13)			-0.17 (0.13)
MNH	-0.02 (0.06)			0.01 (0.07)
dist_hydro				0.51*** (0.04)
proba_chênes		0.01 (0.04)	-0.01 (0.04)	0.05 (0.04)
proba_épiceas		-0.12* (0.05)		
proba_hêtres			0.19*** (0.05)	
proba_peupl_boul		-0.39* (0.17)	-0.33* (0.16)	-0.30* (0.15)
Observations	5125	5125	5125	5125
Log Likelihood	-5474.05	-5496.06	-5491.66	-5393.00
Akaike Inf. Crit.	10958.11	11000.11	10991.31	10802.00
Note:	* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001			

Annexe 15 : Tableau de résultats des modèles GLM « individuels » testés avec les données de tous les mois pour *Baguera*.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	baguera.hab	baguera.essences	baguera.essences2	baguera.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.81*** (0.09)	-10.63*** (0.83)	-9.19*** (0.62)	-9.13*** (0.63)
landC_reclassOuvert	-1.24 (1.02)			-1.34 (1.03)
landC_reclassAnthropique	-12.34 (174.69)			-12.04 (169.55)
landC_reclassRésineux	-0.61 (0.51)			-1.12* (0.51)
MNH	0.04 (0.12)			0.09 (0.12)
dist_hydro				0.34*** (0.08)
proba_chênes		-0.56*** (0.11)	-0.59*** (0.13)	-0.52*** (0.11)
proba_épiceas		-2.40* (1.04)		
proba_hêtres			0.91*** (0.16)	
proba_peupl_boul		7.38 (4.03)	12.81*** (3.87)	9.28* (3.81)
Observations	2577	2577	2577	2577
Log Likelihood	-2760.79	-2734.12	-2719.15	-2725.66
Akaike Inf. Crit.	5531.57	5476.24	5446.30	5467.33
Note:	* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001			

Annexe 16 : Tableau de résultats des modèles GLM « individuels » testés avec les données de tous les mois pour **Achille**.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	achille.hab	achille.essences	achille.essences2	achille.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.57*** (0.06)	-10.93*** (0.08)	-10.97*** (0.08)	-10.90*** (0.09)
landC_reclassOuvert	-2.91*** (0.72)			-2.41*** (0.72)
landC_reclassAnthropique	0.81** (0.25)			0.51* (0.25)
landC_reclassRésineux	-0.87*** (0.15)			-0.75*** (0.15)
MNH	-0.19** (0.07)			-0.16* (0.08)
dist_hydro				0.37*** (0.05)
proba_chênes		0.21*** (0.04)	0.25*** (0.04)	0.24*** (0.04)
proba_épiceas		-0.31*** (0.06)		
proba_hêtres			0.26*** (0.06)	
proba_peupl_boul		-0.51 (0.38)	-0.41 (0.36)	-0.50 (0.39)
Observations	4262	4262	4262	4262
Log Likelihood	-4515.77	-4540.10	-4544.66	-4472.65
Akaike Inf. Crit.	9041.55	9088.19	9097.32	8961.30
Note:	* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001			

Annexe 17 : Tableau de résultats des modèles GLM « individuels » testés avec les données de tous les mois pour **Lucien**.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	lucien.hab	lucien.essences	lucien.essences2	lucien.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.79*** (0.06)	-10.95*** (0.06)	-11.14*** (0.07)	-10.87*** (0.06)
landC_reclassOuvert	-0.21 (0.18)			-0.53** (0.20)
landC_reclassAnthropique	-12.21 (154.64)			-12.50 (154.34)
landC_reclassRésineux	0.13 (0.11)			-0.34* (0.14)
MNH	0.12* (0.06)			0.13* (0.06)
dist_hydro				0.20*** (0.05)
proba_chênes		-0.50*** (0.12)	-1.33*** (0.17)	-1.04*** (0.16)
proba_épiceas		-0.07 (0.05)		
proba_hêtres			0.48*** (0.06)	
proba_peupl_boul		-0.46*** (0.12)	-0.39*** (0.11)	-0.44*** (0.11)
Observations	5570	5570	5570	5570
Log Likelihood	-5968.41	-5950.20	-5918.43	-5915.35
Akaike Inf. Crit.	11946.83	11908.39	11844.87	11846.69
Note:			* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001	

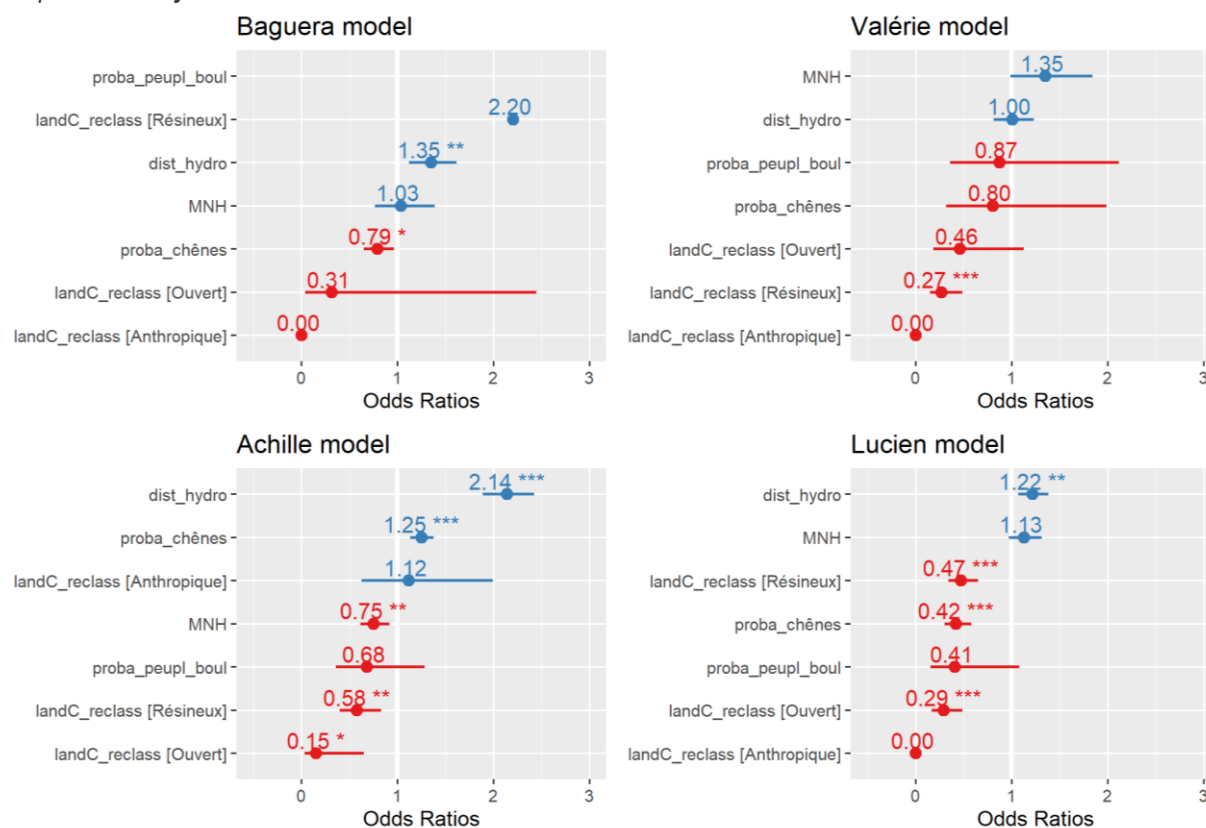
Annexe 18 : Tableau de résultats des modèles GLM « individuels » testés avec les données de tous les mois pour Valérie.

	<i>Dependent variable:</i>			
	case			
	<i>logistic</i>			
	valerie.hab	valerie.essences	valerie.essences2	valerie.all
	(1)	(2)	(3)	(4)
Constant	-10.53*** (0.11)	-10.69*** (0.08)	-10.60*** (0.08)	-10.48*** (0.12)
landC_reclassOuvert	-0.25 (0.28)			-0.20 (0.29)
landC_reclassAnthropique	-0.31 (0.73)			-0.42 (0.74)
landC_reclassRésineux	-0.34* (0.17)			-0.25 (0.17)
MNH	0.27** (0.10)			0.24* (0.10)
dist_hydro				-0.03 (0.07)
proba_chênes		0.40*** (0.06)	0.38*** (0.07)	0.32*** (0.07)
proba_épiceas		-0.02 (0.07)		
proba_hêtres			0.24** (0.07)	
proba_peupl_boul		-0.05 (0.11)	-0.01 (0.10)	-0.03 (0.11)
Observations	2124	2124	2124	2124
Log Likelihood	-2268.27	-2269.02	-2263.88	-2260.99
Akaike Inf. Crit.	4546.54	4546.05	4535.77	4537.99
Note:			* p ** p *** p<0.001	

Annexe 19 : Tableau de résultats des modèles GLM « bimensuels par individu » testés pour chaque individu pour la période **mars-avril**.



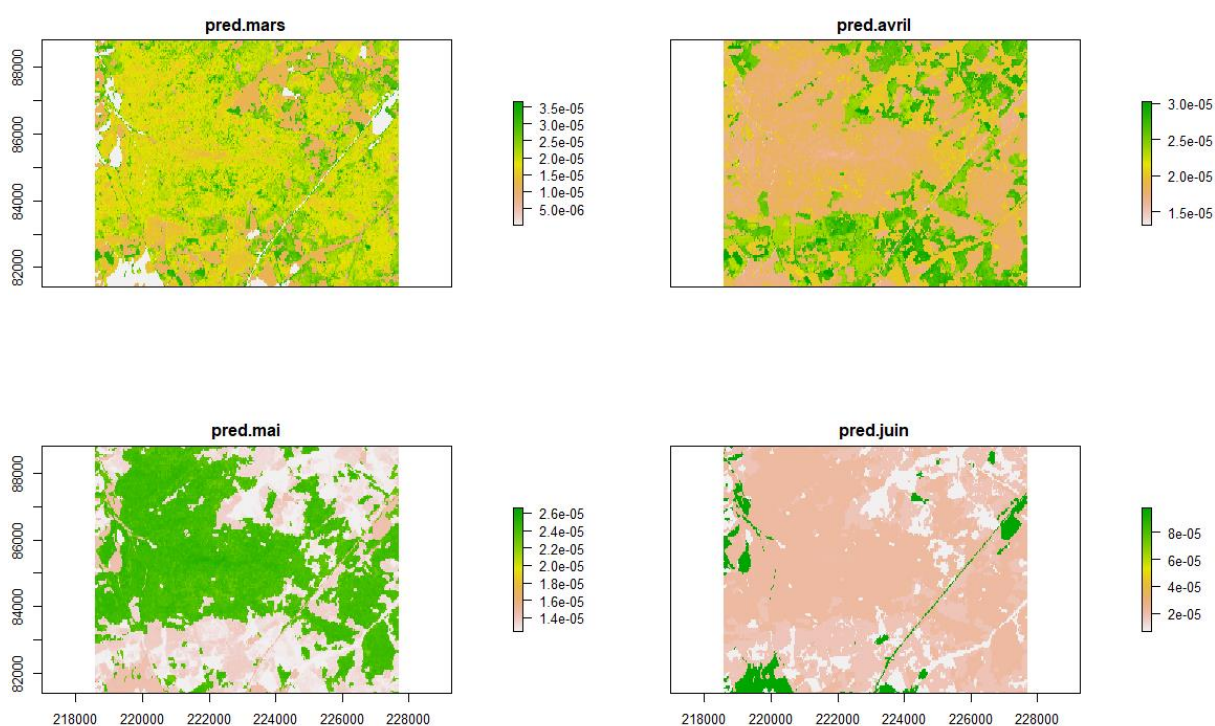
Annexe 20 : Tableau de résultats des modèles GLM « bimensuels par individu » testés pour chaque individu pour la période **mai-juin**.



Annexe 21 : Résultats obtenus avec la méthode « en deux étapes » : moyennes et erreurs standards moyennes des coefficients individuels par deux mois. En vert : sélection ; en rouge : évitement.

term	mars-avril		mai-juin	
	mean	se.mean	mean	se.mean
dist_hydro	0.091034	0.083501	0.313828	0.160463
landC_reclassAnthropique	-5.58667	5.935584	-8.82028	3.008442
landC_reclassOuvert	-6.70731	3.924233	-1.26429	0.22908
landC_reclassRésineux	-0.51282	0.517613	-0.45407	0.444264
MNH	-0.06407	0.092133	0.042114	0.122166
proba_chênes	-0.17859	0.274088	-0.2756	0.224848
proba_peupl_boul	1.457742	2.090755	0.876358	1.356193

Annexe 22 : Cartes de probabilité relative de fréquentation des ratons laveurs au sein du massif de Saint-Hubert.



Annexe 23 : Tableau de résultats obtenus sur le terrain lors de la prospection de sites en juin.

Site	Date parcours	Heure parcours	Lieu-dit	n° collier	Nom raton	Précipitations de la semaine (mm)	Habitat (surface terrière)	Si forêt : ouverte / normale / dense	Temps sur place (min-max)
1	31-05-21	00h50	Fagne Massa	43	Valérie	36	Milieu ouvert humide/coupe feu	/	De passage
2	31-05-21	23h35	Fagne Massa	43	Valérie	36	Pessière/milieu ouvert humide	/	De passage
3	31-05-21	22h45	Fagne à la Saule	25	Baguera	36	Hêtraie (22 m²)	normale	5-15min
4	31-05-21	00h45	Fagne à la Saule	25	Baguera	36	Clairière de chênaie-hêtraie (16m²)	ouverte	5-15min
5	31-05-21	23h55	Rabani / Chemin du cheval du bois	25	Baguera	36	Hêtraie (28 m²)	dense	5-15min
6	31-05-21	19h35	Ri Rabani / Chemin du cheval de bois	25	Baguera	36	Jeune et vieille hêtraie avec plants très denses (16 m² + 145 m² de surface de taillis)	dense	5-15min
7	31-05-21	19h15	Ri Rabani / Chemin du cheval de bois	25	Baguera	36	Jeune et vieille hêtraie avec plants très denses (24 m² + 533 m² de surface de taillis)	dense++	5-15min
8	31-05-21	20h45	Fagne à la Saule	25	Baguera	36	Jeune et vieille hêtraie avec plants très denses (14 m² + 155 m² de surface de taillis)	dense	10-20 min
9	31-05-21	22h15	Fagne à la Saule	25	Baguera	36	Hêtraie (24 m²)	normale	5-15 min
10	31-05-21	18h05	Pointe de Nassogne	61	Lucien	36	Pessière	dense	5-15 min
11	31-05-21	18h20	Pointe de Nassogne	61	Lucien	36	Pessière (33 m²) + 40% mise à blanc récente	pessière dense + mise à blanc ouverte	25-35 min
13	14-06-21	21h15/22h20	Fagne Massa	43	Valérie	26,4	Forêt de feuillus	?	De passage
14	14-06-21	23h05	Fagne Massa	43	Valérie	26,4	Forêt de feuillus (16 m²)	Ouverte	10-20 min
15	14-06-21	00h05	Ri de Mehin	43	Valérie	26,4	Milieu ouvert humide avec épicéas (35 m²)	Ouverte (surface terrière qui ne colle pas avec le milieu ouvert et les photos)	5-15 min
16	14-06-21	01h05	Ri de Mehin	43	Valérie	26,4	Milieu ouvert humide avec taillis de feuillus (19,5 m² + 135 m² de taillis)	Ouvert	20-30 min
17	14-06-21	00h25	Ri de Mehin	43	Valérie	26,4	Milieu humide avec drains humides, épicéas coupés (36,5 m²)	Ouverte (surface terrière bizarre, ne colle pas avec le milieu ouvert et les photos)	5-15 min
18	14-06-21	20h40	Ri du Pied de Bœuf	61	Lucien	26,4	Vieille hêtraie (24 m² + 51 m² de taillis)	Normal	5-15 min
19	14-06-21	23h50	Chemin du fond des Grippes	61	Lucien	26,4	Tailli dense de jeunes plants de hêtres (27 m² + 275 m² de taillis)	dense	5-15 min
20	14-06-21	00h45	Chemin du fond des Grippes	61	Lucien	26,4	Hêtraie avec beaucoup de taillis (41 m² + 454 m²)	dense	5-15 min
21	28-06-21	6h00 puis 19h35	Ri Rabani / Chemin du cheval de bois	25	Baguera	72,2	Jeune et vieille hêtraie avec plants très denses (16 m² + 145 m² de surface de taillis)	dense	1h puis 1h
22	28-06-21	20h30 puis 20h45 puis 21h01	Ri Rabani / Chemin du cheval de bois	25	Baguera	72,2	Clairière dans forêt mixte (17 m²)	Ouverte	3x 5-15 min
23	28-06-21	22h45	Fourneau Saint-Michel	25	Baguera	72,2	Futaie feuillue coupée par un ruisseau (42,5 m²)	Normale	5-15 min
24	28-06-21	23h40 puis 00h20	Fourneau Saint-Michel	25	Baguera	72,2	Futaie feuillue, milieu sec (36,5 m²)	dense	20-30 min puis 20-30 min
25	28-06-21	04h55	Fourneau Saint-Michel	25	Baguera	72,2	Feuillus avec beaucoup de taillis (34,5 m² + 19,5 m² de taillis)	dense	De passage
26	28-06-21	18h46	Fagne Massa	43	Valérie	72,2	Hêtraie (35,5 m²)	dense	5-15 min
27	28-06-21	23h25	Fagne Massa	43	Valérie	72,2	Forêt feuillue, assez ouverte (clairière) et très humide (23 m²)	Ouverte (quelques gros arbres, et dense en bordure)	10-20 min
28	28-06-21	22h30	Fagne Massa	43	Valérie	72,2	Vieille futaie feuillue en bordure de pessière, assez ouvert (clairière) et herbacé (21 m²)	Ouverte (peu d'arbres mais très gros)	5-15 min
29	28-06-21	07h21	Fagne Massa	43	Valérie	72,2	Vieille futaie feuillues, assez ouverte (35 m²)	Normale mais très ouverte en bordure	5-15 min
30	28-06-21	19h15	Fagne Massa	43	Valérie	72,2	Forêt feuillue avec beaucoup de fougères au sol (25 m²)	Normale	10-20 min

Annexe 24 : Tableau de résultats obtenus sur le terrain lors de la prospection de sites en juin (suite).

Site	Mammifères		Oiseaux	Crustacés		Mollusques		Invertébrés		Lézards		Insectes		Araignées		Amphibiens		Végétaux		Gros arbres morts au sol/souches	Arbres morts sur pied dépecée (quille)	Ecorce grattée	Mousse	Gîte potentiel	Pièce récoltée
	Micro-mammifères	Oiseaux	Crustacés aquatiques	Cloportes	Mollusques	Limacés	Escargots	Vers de terre	Orvèts	Lézards	Coléoptères	Fourmillière	Libellules	Araignées	Grenouilles	Têtards	Tritons communs	Myrtiliers ("1" = avec fruits ; "0" = sans fruits)	Présence d'eau						
1												1		1		1			1						
2	1														1	1			1				1		
3																		0							
4														1									1		
5	1		1																1						
6										1								0				1			
7	1																								
8	1																								
9												1				1		0		1					
10																									
11		1										1													1
13													1												1
14	1															1									
15												1													
16																1									
17																									1
18																									
19		1																							
20																									
21	1																								
22																									
23	1																								
24																									
25																									
26	1																								
27																									
28																									
29																									
30																									
TOTAL FEUILLES (/17)	6	1	1	5	0	0	0	1	1	1	4	2	0	9	2	0	0	3	3	13	0	14	8	0	0
Par classes d'aliments			6	6	8	8			2		6					2									
TOTAL RESINEUX (/3)	1	1		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	3	3	0	1	1	2	1
Par classes d'aliments			0	0	0	0						1				2									
TOTAL OUVERT HUMIDES (/5)	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	4	1	1	2	4	2	0	0	5	3	1	3	3	0	1
Par classes d'aliments			1	1	3				1	1	6					6									
TOTAL OUVERT SECS (/4)	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	1	2	2	1	2	0	0	0
Par classes d'aliments			0			1						1				1									
TOTAL (/29)	8	2	1	6	1	10	1	2	1	2	10	3	1	13	7	3	1	4	13	21	2	20	12	2	2
Par classes d'aliments			7		12			2	3			14				11									

Annexe 25 : Ressources alimentaires observées sur le terrain durant le mois de juin. Crédits : Vinciane Schockert, 2021.



Mousse arrachée au niveau de la base d'un arbre



Écorce arrachée sur bois mort au sol



Quatre limaces sur un champignon



Grandes zones à myrtilles



Flaque d'eau remplie de têtards



Fourmilière sous l'écorce arrachée d'un arbre mort au sol