

**PROJET « HABITATS POUR LES CHAUVES-SOURIS » MENÉ PAR
LE SECTEUR ÉOLIEN**

**SÉLECTION DES HABITATS FORESTIERS ET RÉGIME
ALIMENTAIRE DU GRAND MURIN EN WALLONIE**

Rapport final (2024)



Colophon

Étude et rapport réalisés par

CSD Ingénieurs Conseils S.A.

BE 0432.892.291

www.csdingenieurs.be

Adresse postale : Avenue Prince de Liège 72 - 5100 Namur

Administrateur responsable : Jean-Christophe Genis jc.genis@csdingenieurs.be

Personnes de contact pour ce dossier :

Louis Casier 0472 95 23 09 l.casier@csdingenieurs.be

Arnaud Beckers 0498 05 14 86 a.beckers@csdingenieurs.be

Julien Otoul 0492 76 20 65 j.otoul@csdingenieurs.be



en collaboration avec

Ecofirst SC

Société coopérative

BE 0692.806.959

www.ecofirst.eu

Adresse postale : Grand-Rue 12 - 6870 Awenne

Administrateur responsable : Gérard Jadoul gerard.jadoul@ecofirst.eu

Personnes de contact pour ce dossier :

Pierrette Nyssen 0473 265 264 pierrette.nyssen@ecofirst.eu

et Jean-François Godeau 0472 94 48 47 jf.godeau@ecofirst.eu



pour le compte de

Société	Personne de contact
Ventis	Flavie Mostenne
Storm Management SA	Véronique Georges
Aspiravi	Xavier Houdry
Elicio SA	Marie Descamp
Renewable Power Company	Jan Poppe
Renner Energies	Corentin Hautot
Electrabel SA	Michael Lavry
Luminus	Lorenz Leyssens
Eneco	Augustin Rommelaere
Enovos Green Power	Lionel Royen
Total Energies Services	Anne Van Puymbroeck et Etienne de Wergifosse

dans le cadre du

Projet « Habitats pour les chauves-souris » créé par le secteur éolien.

Composition du comité d'accompagnement :

- Secteur éolien : Augustin Rommelaere, Corentin Hautot et Lorenz Leyssens
- ECOFIRST : Jean-François Godeau, Pierrette Nyssen
- CSD Ingénieurs : Arnaud Beckers, Louis Casier

Auteurs : Arnaud Beckers, Louis Casier, Jean-François Godeau, Pierrette Nyssen

Photos : cc Gailhampshire : *Abax parallelepipedus*, cc Tim Worflok : *Anoplotrupes stercorosus*, cc Pierre Bornand : *Serica brunnea*, cc Gilles San Martin : *Barbitistes serricauda*, *Myotis myotis* et photos de récolte de guano, cc Frank

Vassen : *Ocypus olens* et *Pterostichus madidus*, cc erlandreflingnielsen : *Tipula scripta*, toutes les autres photos du rapport sont de Ecofirst (Pierrette Nyssen, Gilles San Martin) ou de CSD (Etienne Lemarechal)

Relecture : Julien Otoul

Date de finalisation du rapport : 20/12/2024

Référence : Casier, L., Godeau, J.-F., Nyssen, P., Beckers, A., Sélection des habitats forestiers et régime alimentaire du grand murin en Wallonie, Rapport final, Décembre 2024, CSD Ingénieurs et Ecofirst.

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont contribué à cette étude, que ce soit pour le travail de terrain, pour un conseil sur le protocole ou pour l'analyse des échantillons et des données (cartographiques, acoustiques, ADN etc) :

Adrien Andre, Arnaud Beckers, Nils Bouillard, Yves Brostaux, Louis Casier, Mathieu Derume, Jean-François Godeau, Etienne Lemarechal, François Magonette, Johan Michaux, Pierrette Nyssen, Julien Otoul, Emile San Martin, Gilles San Martin, Chloé Vescera

Préambule

CSD et Ecofirst confirment par la présente avoir exécuté leur mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD et Ecofirst se fondent sur les prémisses que :

1. le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
2. les résultats de leur travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
3. sans avoir été réexaminés, les résultats de leur travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD et Ecofirst déclinent toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Table des matières

1 Introduction.....	7
2 Connaissances disponibles sur les habitats de chasse du grand murin.....	7
3 Objectifs et zones d'étude.....	8
3.1 Point de départ.....	8
3.2 Objectifs.....	9
3.3 Choix des zones d'étude.....	9
4 Méthode.....	10
4.1 Mesure de la fréquentation des habitats forestiers (approche acoustique).....	11
4.2 Choix et description des variables environnementales utilisées dans les analyses.....	20
4.3 Analyse statistique des relations entre l'activité des grands murins et les caractéristiques des habitats.....	23
4.4 Étude du régime alimentaire - Analyse du guano.....	24
5 Résultats.....	29
5.1 Mesure de la fréquentation des habitats forestiers (approche acoustique).....	29
5.2 Caractérisation des habitats au niveau des peuplements forestiers étudiés.....	36
5.3 Analyse statistique des relations entre l'activité des murins et les caractéristiques des habitats.....	38
5.4 Description des habitats dans un rayon de 15 km autour de chaque colonie étudiée.....	40
5.5 Étude du régime alimentaire - Analyse du guano.....	46
6 Discussion et synthèse.....	59
6.1 Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ?.....	59
6.2 Les grands murins chassent-ils en pessières tout au long de la saison ?.....	60
6.3 Quelle est l'offre en peuplements forestiers autour des colonies de grands murins étudiés ?.....	61
6.4 Pourquoi les grands murins équipés de balises GPS dans les colonies de Lontzen et Ethe adoptent-ils globalement un même azimut vers leurs terrains de chasse respectifs ?.....	61
6.5 Quel est le régime alimentaire des grands murins et comment évolue-t-il en cours de saison ? L'écologie des proies consommées est-elle liée à un type de peuplement forestier particulier ?.....	63
6.6 Autres éléments relevant des résultats.....	65
7 Conclusion et perspectives.....	66
8 Bibliographie.....	66
Annexes.....	69
Annexe A - Méthode de calcul des pourcentages de présence des taxons dans les échantillons.....	69
Annexe B - Résultats complets pour les insectes.....	70
Annexe C : Récapitulatif des contacts enregistrés par nuit.....	71

Résumé

Cette étude vise à approfondir les connaissances sur l'écologie du grand murin (*Myotis myotis*) et à mieux comprendre quelle est sa stratégie de sélection des ressources alimentaires en période de reproduction et les choix en matière de sites de chasse qui en découlent. Quatre axes de travail y sont développés, qui visent à répondre à différentes questions soulevées dans les résultats d'une étude réalisée en 2023 par les mêmes auteurs :

1. Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ? Si oui, quand et pourquoi ?
2. Les grands murins chassent-ils en pessières tout au long de la saison ?
3. Quelle est l'offre en peuplements forestiers autour des colonies de grands murins étudiées ?
4. Pourquoi les grands murins équipés de balises GPS dans les colonies de Lontzen et Ethe adoptent-ils globalement un même azimut vers leurs terrains de chasse respectifs ?
5. Quel est le régime alimentaire des grands murins et comment évolue-t-il en cours de saison ? L'écologie des proies consommées est-elle liée à un type de peuplement forestier particulier ?

Les axes de travail développés sont les suivants :

(I.) Une mesure de la fréquentation des habitats forestiers par une approche acoustique, couplée à (III.) une analyse statistique des relations entre l'activité des grands murins et les caractéristiques des habitats : l'activité des grands murins a été mesurée à l'aide de détecteurs d'ultrasons dans 36 peuplements forestiers, à raison de 18 paires de résineux / feuillus, dans 2 zones géographiques distinctes (Lorraine et Pays de Herve - Ardenne, Wallonie, en Belgique), à proximité de colonies de grands murins (Ethe et Lontzen). Les résultats montrent que l'activité des grands murins est plus importante dans les peuplements résineux que dans les peuplements feuillus. Cet effet est significatif pour l'ensemble des données, ainsi que pour la zone de Ethe, mais pas pour la zone de Lontzen. Par ailleurs, cet effet est plus marqué à certaines saisons. L'activité est en outre corrélée positivement à la hauteur moyenne des arbres et à la densité moyenne de la couverture arborée dans un rayon de 250 m et à la distance aux routes. Enfin, l'activité est significativement plus élevée en Lorraine qu'au Pays de Herve.

(II.) Une caractérisation des habitats disponibles aux alentours des colonies étudiées (approche cartographique) : les différentes variables significatives issues de l'approche acoustique ont été extraites dans un rayon de 15 km des deux colonies étudiées et superposées aux azimuts adoptés par les grands murins porteurs d'une balise GPS en 2023 vers leurs sites de chasse. Cette analyse a mis en évidence que les grands murins se dirigent vers là où se trouvent des forêts matures, une densité forestière élevée, des arbres de grande taille et une proposition de peuplement résineux importante. Toutefois, ces différents facteurs sont liés.

(IV.) Une étude du régime alimentaire, basée sur une analyse ADN du guano : 10 échantillons de guano frais ont été récoltés dans les deux colonies d'Ethe et Lontzen à 6 reprises sur la saison printemps-été, soit un total de 120 échantillons. Les analyses ADN en metabarcoding montrent une nette prédominance de Carabidea dans les taxons qui constituent le régime alimentaire du grand murin. Les espèces de carabes consommés sont majoritairement associés à un habitat forestier ou des habitats de transition (lisières, zones ouvertes intraforestières), mais leur caractère ubiquiste rend périlleuse l'association à un type de peuplement forestier particulier.

La combinaison des résultats des différents axes de travail permet de dégager des éléments de réponse aux questions posées. Les grands murins sélectionnent positivement des forêts d'âge moyen ou matures de résineux, mais cette sélection préférentielle des résineux par rapport aux feuillus apparaît de manière localisée dans l'espace et dans le temps. Il semble que le choix des grands murins pour leurs sites de chasse ne soit pas guidé par la recherche d'espèces particulières de proies. Lorsqu'ils volent plus loin et que la diversité d'habitats est moindre, ils capturent des proies plus grosses et moins diversifiées. Enfin, les grands murins chassent également en forêt feuillue, conformément aux données de la littérature.

Summary

The objective of this study is to increase our knowledge of the ecology of the greater mouse-eared bat, to achieve a better understanding of its prey selection strategy during the breeding season, and the resulting choice of hunting sites. We developed 4 work packages with the aim to answer various questions raised in the results of a study carried out in 2023 by the same authors:

1. Do the greater mouse-eared bats select coniferous forests over other forest stands for hunting? If so, when and why?
2. Do the greater mouse-eared bats hunt in spruce stands throughout the summer season?
3. What is the supply of forest stands around the studied greater mouse-eared bats maternity roosts ?
4. Why do the greater mouse-eared bats equipped with GPS tags all follow the same direction when outflying their maternity roost?
5. What is the diet of the greater mouse-eared bats, and how does it change over the season? Is the ecology of preys linked to a particular type of forest stand?

The work packages of this study are :

(I.) An acoustic approach to measure the use of different forest habitats, coupled with (III.) a statistical analysis of the relationships between the greater mouse-eared bat activity and habitat characteristics : we assessed the greater mouse-eared bat activity with ultrasonic batdetectors in 36 forest stands, with 18 resinous/deciduous pairs, in 2 distinct geographical areas (Lorraine and the Pays de Herve - Ardenne, Wallonia - Belgium), close to greater mouse-eared bat maternity roosts (Ethe and Lontzen). The results show that the activity of greater mouse-eared bat is more important in coniferous stands than in deciduous stands. This effect is significant for all the data, and for the region of Ethe, but not for the region of Lontzen alone. Moreover, this effect is more relevant in certain seasons. Activity is also positively correlated with mean tree height, mean tree cover density within 250 m and distance from roads. Finally, activity is significantly higher in Lorraine than in the Pays de Herve.

(II.) A characterisation of the habitats available in the vicinity of the maternity roosts studied (cartographic approach): we extracted the various significant parameters resulting from the acoustic approach in a 15 km buffer area around the two studied maternity roosts. We combine the resulting maps with the azimuths adopted by the GPS-tagged greater mouse-eared bats (2023) towards their hunting sites. This analysis show that the greater mouse-eared bats head for areas with mature forests, high forest density, large trees and a high proportion of coniferous stand. However, these factors are interrelated.

(IV.) A diet study, based on DNA-analysis of droppings: we collected 10 samples of fresh droppings in the two maternity roosts of Ethe and Lontzen on 6 sampling sessions over the spring-summer season, leading to a total of 120 samples. DNA metabarcoding analyses showed a clear predominance of Carabidea in the taxa that form the greater mouse-eared bat diet. These ground beetle species are mostly associated with forest or edges habitats (forest edges, clearings). The species found in the diet are ubiquitous, an association with a particular type of forest stand is difficult to assess.

The combination of the results of the various work packages lead to some answers to the questions asked. The greater mouse-eared bats positively select middle-aged or mature coniferous forests, but this preference for coniferous over deciduous forests appears to be localized in space and time. It seems that the greater mouse-eared bat's choice of hunting sites is not guided by the search for particular prey species. When the hunting sites are further and there is less habitat diversity, they capture larger, less diverse prey. Finally, according to the literature, the greater mouse-eared bats also hunt in deciduous forests.

1 Introduction

L'impact des éoliennes sur les chauves-souris est aujourd'hui bien documenté, que ce soit la mortalité directe d'individus lorsqu'ils s'approchent des pales en mouvement, par collision directe ou barotraumatisme, ou encore la dégradation des habitats de chasse aux alentours des parcs éoliens (Voigt et al., 2023; Barré et al., 2018, Ellerbrok et al., 2022).

Le phénomène de dégradation de l'habitat n'a été mis en évidence que très récemment. La plupart des études, encore peu nombreuses, s'accordent sur le fait que ce sont principalement le groupe des murins (*Myotis sp.*) et celui des oreillards (*Plecotus sp.*) qui y seraient le plus sensibles (Ellerbrok et al., 2022; Gaultier et al., 2023). Cette découverte soulève de nombreuses questions concernant le développement des parcs éoliens en Wallonie : toutes les espèces de murins et d'oreillards sont-elles sensibles à cet effet des éoliennes ? Quels sont les habitats qu'il faudrait protéger en priorité ? Comment atténuer et compenser cet impact ?

Parmi les espèces de ce groupe, le grand murin (*Myotis myotis*) préoccupe particulièrement l'administration wallonne, parce que son état de conservation est jugé défavorable (Smits et al., 2021), et parce que l'espèce est depuis longtemps considérée comme sensible à l'éolien par les autorités.

Ecofirst et CSD Ingénieurs ont terminé fin 2023 une étude (financée par le SPW) basée sur l'utilisation de balises GPS, qui a montré que certains individus de grands murins utilisent activement comme terrain de chasse, du moins à la période couverte par l'étude, des pessières traditionnellement considérées comme des forêts à faible valeur biologique (Nyssen et al., 2023). La question de l'importance de cet habitat pour la population wallonne du grand murin s'est donc posée. Par ailleurs, un nombre croissant de projets éoliens sont actuellement développés dans les pessières ardennaises. Le secteur éolien a décidé de consacrer un budget 'Recherche et Développement' pour approfondir l'étude sur cette question de l'importance des pessières pour le grand murin en Wallonie.

Cette étude cible d'une part la question de la sélection de l'habitat en forêt, et d'autre part celle du régime alimentaire. Cinq questions précises sont posées et 4 axes de recherche ont été mis en œuvre pour tenter d'y répondre. Ces éléments sont décrits ci-dessous, après un rappel sur l'état des connaissances concernant certains aspects importants de la vie du grand murin au regard de l'étude.

2 Connaissances disponibles sur les habitats de chasse du grand murin

Selon les données issues de la littérature (dont Zahn et al., 2005), le grand murin (*Myotis myotis*) est une espèce glaneuse qui a besoin d'espaces ouverts au sol pour chasser les arthropodes. En Europe centrale, les principaux habitats de chasse connus du grand murin sont les forêts à végétation clairsemée au sol et les prairies rases (par exemple fraîchement fauchées). Les conditions forestières adéquates sont principalement rencontrées dans les peuplements dominés par le hêtre (*Fagus sylvatica*) et l'épicéa (*Picea abies*). Selon Dietz et al. (2009) et Arthur et Lemaire (2021), le grand murin préfère les forêts de feuillus, idéalement vieilles, monospécifiques ou mélangées (mais toujours avec très peu de végétation au sol), telles que des hêtraies à litière sèche, des chênaies anciennes ou mixtes avec des canopées épaisses qui limitent les taillis sous futaie et favorisent au sol un simple tapis de feuilles. Les forêts de résineux sont également exploitées, en général des peuplements d'âge moyen à sol nu. La densité de population du grand murin semble d'ailleurs étroitement liée à la superficie de la forêt caducifoliée ou à la part de feuillus purs ou mélangés dans l'ensemble de la forêt. Zahn et al. (2005) mentionnent par exemple en Bavière une corrélation positive entre la densité de population de grand murin et l'étendue des hêtraies. En particulier dans les régions où les monocultures d'épicéa dominent, la densité de population est faible malgré la présence de vastes zones forestières. Cette observation suggère que les monocultures d'épicéas conviennent moins bien au grand murin en tant que zones de chasse. Un évitement des résineux a aussi été mis en évidence en Suisse (Rauchenstein et al., 2022). Selon Zahn et al. (2005), le grand murin ne choisit pas son habitat de chasse en forêt sur la base de la composition de la forêt (il ne sélectionne pas spécialement les forêts de feuillus), mais plutôt sur base de la structure spatiale de la forêt. Ce résultat est soutenu par les découvertes de Güttinger (1997) en Suisse où les chauves-souris préfèrent également les forêts hautes à strate unique avec peu de sous-bois.

3 Objectifs et zones d'étude

3.1 Point de départ

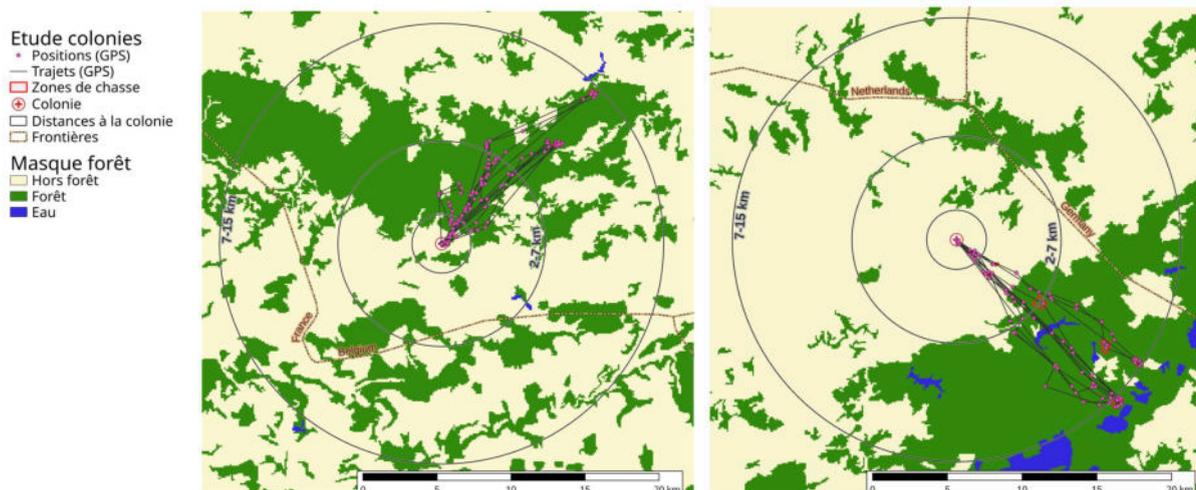
Une première étude, menée en 2023 par Ecofirst et CSD Ingénieurs (Nyssen et al., 2023), avait pour objectif de mieux évaluer le danger que représentent les éoliennes pour le grand murin, via notamment une évaluation de l'altitude de vol du grand murin en phase de transit et en zone de chasse, en zone ouverte et en forêt. Pour ce faire, 2 colonies de reproduction ont été sélectionnées en province de Liège à Lontzen (pays de Herve) et l'autre en Lorraine à Ethe (commune de Virton). Une capture en sortie de gîte a été réalisée en début d'été 2023 et 12 femelles allaitantes de chaque colonie ont été équipées d'une petite balise GPS couplée à un émetteur VHF. Un total de 13 balises ont été récupérées (n=24).

Les données GPS de ces balises ont entre autres permis d'identifier 12 terrains de chasse, tous situés en forêt, à raison de 8 peuplements d'épicéas (5 pour la zone Lontzen et 3 pour la zone Ethe), 1 forêt mixte (zone Ethe) et 3 peuplements majoritairement feuillus (zone Ethe).

Deux constatations nous ont interpellés à l'analyse des enregistrements GPS de 2023.

La première est l'orientation générale des trajectoires des chauves-souris : alors qu'on s'attend à un départ des individus en étoile autour du gîte (en tout cas pour les colonies implantées dans une matrice paysagère relativement homogène), les grands murins des deux colonies étudiées présentent un faisceau d'azimuts au départ de la colonie assez étroit (voir cartes 1 et 2). Obtenir de tels résultats par hasard semble peu probable : pourquoi partent-elles toutes dans la même direction ?

Le deuxième résultat surprenant est l'utilisation par certains individus de peuplements forestiers "de faible intérêt biologique", tels que des pessières équiennes monospécifiques d'âge moyen, comme site de chasse. Pourquoi certains individus volent-ils entre 10 et 15 km depuis leur gîte, en survolant bon nombre de forêts feuillues, diversifiées et mélangées (qui présentent vraisemblablement une biodiversité élevée), pour aller chasser dans une forêt d'épicéas qui nous paraît peu attractive ? S'agit-il d'une question de structure (avec des insectes plus facilement accessibles en pessière sans sous-étage), d'une émergence ponctuelle de certains types de proies recherchées par le grand murin ? L'utilisation de ce type de milieu est-elle constante sur une saison ou très ponctuelle dans le temps ?



Cartes 1 (Ethe, à gauche) et 2 (Lontzen, à droite) : Contextualisation des données de l'étude de Nyssen et al. (2023), les déplacements de 9 femelles de grand murin sont tracés par les points de localisation et les trajets déterminés par les données GPS.

La présente étude de 2024 vise à approfondir ces questions.

3.2 Objectifs

Les questions posées auxquelles cette étude souhaite répondre sont les suivantes :

1. Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ? Si oui, quand et pourquoi ?
2. Les grands murins chassent-ils en pessières tout au long de la saison ?
3. Quelle est l'offre en peuplements forestiers autour des colonies de grands murins étudiées ?
4. Pourquoi les grands murins équipés de balises GPS dans les colonies de Lontzen et Ethe adoptent-ils globalement un même azimut vers leurs terrains de chasse respectifs ?
5. Quel est le régime alimentaire des grands murins et comment évolue-t-il en cours de saison ? L'écologie des proies consommées est-elle liée à un type de peuplement forestier particulier ?

Toutes ces questions relèvent de différentes facettes d'une même question cruciale de la biologie de l'espèce (grand murin) : quelle est la stratégie de détection et de sélection des ressources alimentaires en période de reproduction ? Peut-on identifier des proies particulièrement recherchées au cours de la saison de reproduction ?

Pour tenter de répondre à ces questions, 4 axes de travail sont développés dans cette étude :

- I. Une mesure de la fréquentation des habitats forestiers (peuplements feuillus et résineux) par une approche acoustique (enregistrements au détecteur d'ultrasons)
- II. Une caractérisation des habitats disponibles aux alentours des colonies étudiées (approche cartographique)
- III. Une analyse statistique des relations entre l'activité des grands murins et les caractéristiques des habitats
- IV. Une étude du régime alimentaire, basée sur une analyse ADN du guano

Cette étude ne permettra pas de répondre définitivement à ces questions, mais elle apportera des indications inédites sur le sujet, tout particulièrement en forêts résineuses.

3.3 Choix des zones d'étude

Nous avons choisi de travailler dans deux zones de 15 km de rayon centrées sur les colonies de grands murins du tunnel de Lontzen, dans le pays de Herve, et sur celle de Ethe, en Lorraine (Cartes 1, 2 et 3). Ce choix permet d'une part d'échantillonner deux situations biogéographiques extrêmes pour la Wallonie en termes d'habitats et de conditions climatiques, et d'autre part d'utiliser les résultats obtenus précédemment quant aux zones de chasse utilisées par l'espèce autour de ces mêmes colonies (Nyssen et al., 2023).

La colonie de Lontzen se trouve dans un tunnel de 48 m de long, situé sous le chemin de fer entre Welkenraedt et Kelmis. Une cheminée de 8 m de haut se situe au milieu du tunnel, surplombée par une dalle en béton à fleur de l'assise de la voie de chemin de fer. La colonie de reproduction occupe cette cheminée. Une servitude publique traverse le tunnel et permet un passage piéton sous la ligne 37. La présence de cette colonie est considérée comme très ancienne (> 20 ans). Le suivi biologique est réalisé par le DEMNA en collaboration avec Plecotus/Natagora. L'effectif estival y est d'environ 60-70 adultes et 50-60 juvéniles.

La colonie de Ethe compte environ 120 adultes, qui se répartissent dans deux bâtiments dans le village de Ethe, éloignés de 140 m l'un de l'autre. Le premier bâtiment est l'Institut Médico-Pédagogique, situé Rue de la Gare 25 à Ethe. Propriété de la Province du Luxembourg, il s'agit d'une résidence pour jeunes atteints d'une déficience intellectuelle légère ou modérée ou de troubles caractériels (le bâtiment peut accueillir jusqu'à 35 jeunes). Une colonie de grand murin est renseignée dans le grenier de ce bâtiment depuis 2018. Le second bâtiment occupé par cette colonie est une maison privée, située Rue Nouvelle 45 à Ethe. Selon le témoignage des habitants de la

maison, la colonie de chauves-souris occupe le grenier depuis au moins 35 ans. Le suivi de ces deux sites ne fait l'objet d'un suivi régulier que depuis 2023, il est assuré par Plecotus/Natagora.

Localisation des sites étudiés



Carte 3 : Localisation des deux sites étudiés, à savoir les colonies de reproduction de grand murin de Lontzen et de Ethe.

4 Méthode

Comme déjà mentionné, quatre axes de travail sont développés pour cette étude, qui visent à répondre aux différentes questions posées de manière complémentaire.

- I. Une mesure de la fréquentation des habitats forestiers (peuplements feuillus et résineux) par une approche acoustique (enregistrements au détecteur d'ultrasons)
- II. Une caractérisation des habitats disponibles aux alentours des colonies étudiées (approche cartographique)
- III. Une analyse statistique des relations entre l'activité des grands murins et les caractéristiques des habitats
- IV. Une étude du régime alimentaire, basée sur une analyse ADN du guano

Les méthodes employées au sein de ces 4 axes sont décrites ci-dessous.

4.1 Mesure de la fréquentation des habitats forestiers (approche acoustique)

4.1.1 Objectifs

L'objectif principal de cet axe est de comparer les niveaux d'activité du grand murin entre des peuplements feuillus et des peuplements résineux, de manière à répondre à la question n°1 : *“Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ?”*.

L'objectif secondaire est de répondre à la question n°2 : *“Les grands murins chassent-ils en pessières tout au long de la saison ?”*

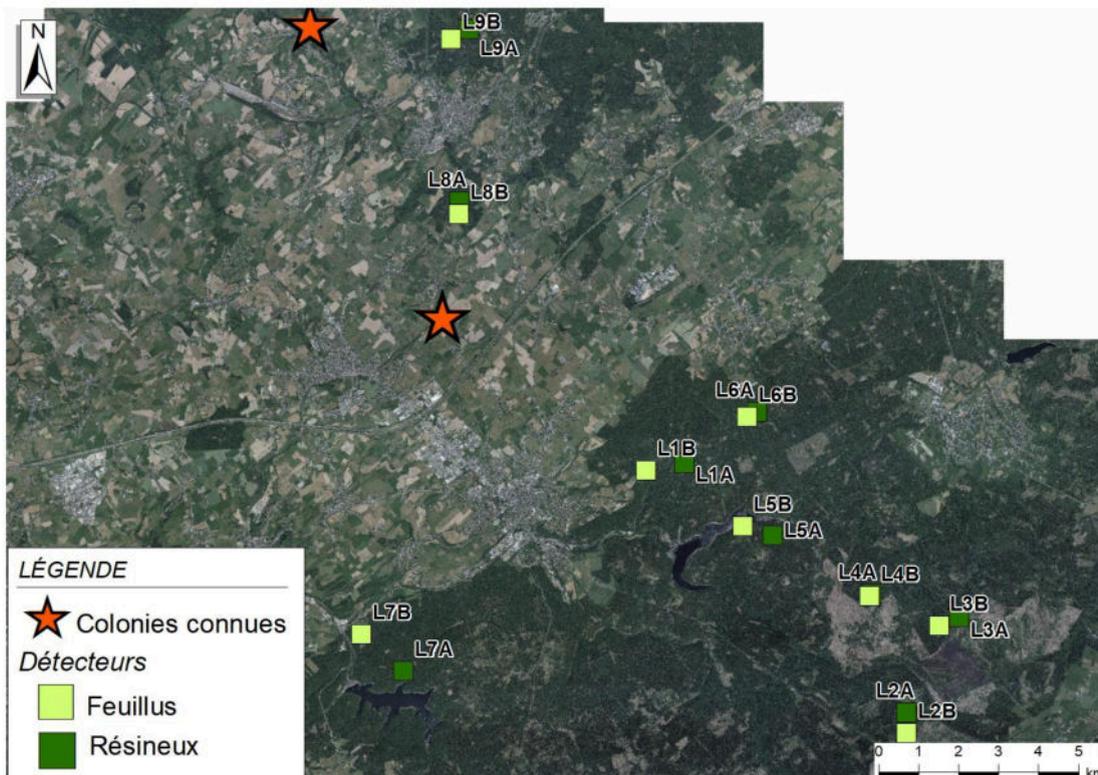
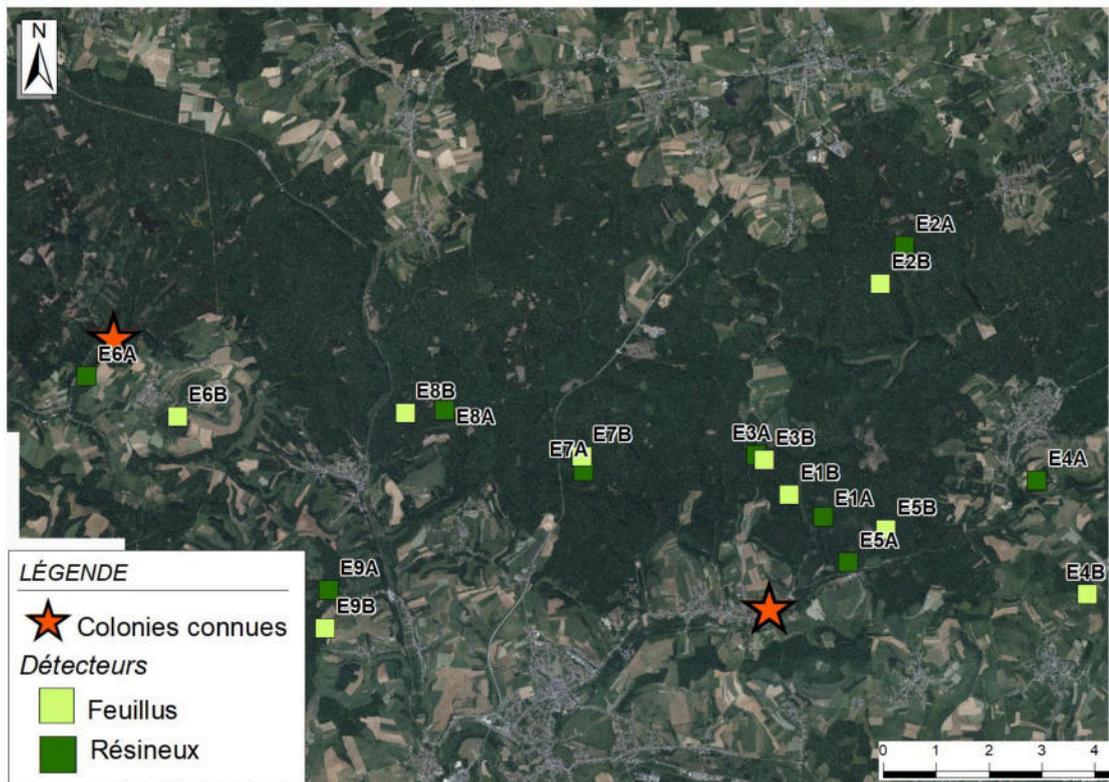
4.1.2 Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage consiste à mesurer l'activité acoustique du grand murin sur des paires de peuplements forestiers proches les uns des autres, dont les caractéristiques en termes de milieu biologique sont très similaires à l'exception de la nature du peuplement : d'un côté feuillu, de l'autre résineux. L'hypothèse est que si l'activité acoustique est significativement différente entre les deux sites d'une même paire, cette différence est probablement liée à la nature du peuplement, et non à un autre facteur explicatif comme la distance à la colonie la plus proche, l'altitude, etc. Une approche similaire a été appliquée par Rauchenstein et al. (2022) pour étudier la sélection des habitats forestiers par le grand murin en Suisse.

Afin d'obtenir des résultats robustes et extrapolables à l'ensemble des forêts wallonnes occupées par le grand murin, nous avons décidé d'échantillonner le plus grand nombre possible de paires de peuplements résineux/feuillus. Pour ce faire, nous avons déplacé des détecteurs toutes les deux semaines, entre le 07/05/2024 et le 28/08/2024. De cette manière, 8 détecteurs ont été déployés et ont permis d'inventorier 32 sites différents (16 paires de peuplement feuillu/résineux). La durée de 2 semaines est jugée suffisante selon notre expérience pour enregistrer au moins un contact de l'espèce si l'espèce est présente, autrement dit pour que les données d'absence (du grand murin) soient de véritables absences.

Par ailleurs, pour évaluer l'évolution au cours de la saison de la fréquentation des peuplements feuillus et résineux sans avoir de biais lié au déplacement des détecteurs toutes les 2 semaines, 4 détecteurs ont été placés de manière “fixe” sur deux paires de peuplements feuillus/résineux, l'une à Ethe (paire nommée E2) et l'autre à Lontzen (paire nommée L1). Un total de 36 peuplements ont donc été étudiés, 18 feuillus et 18 résineux.

Les sites ont été répartis de manière homogène entre la zone d'étude de Ethe (9 paires dont une fixe) et celle de Lontzen (9 paires dont une fixe) (voir cartes 4 et 5). Trois des 4 détecteurs fixes ont été installés dans des peuplements considérés comme faisant partie de zones de chasse utilisées en 2023 selon Nyssen et al. (2023). Concernant les 32 sites inventoriés périodiquement (paires mobiles), seulement une partie d'entre eux avaient été identifiés comme zones de chasse par Nyssen et al. (2023), il s'agit des sites E1A, L2A, L3A et L4A. Pour les autres, nous avons recherché des paires de peuplements feuillus/résineux relativement proches les uns des autres, mais aussi situés dans des directions par rapport aux colonies différentes de celles des zones de chasse connues.



Cartes 4 et 5 : localisation des sites d'enregistrement des grands murins autour de la colonie de Lontzen (en bas) et de Ethe (en haut).

De plus, la localisation des détecteurs formant chaque paire répond aux contraintes suivantes :

- dans des peuplements correspondant aux exigences connues du grand murin pour le choix des zones de chasse, c'est-à-dire sans strate arbustive dense et avec peu de végétation au sol ;
- écartement (au sein d'une paire) allant de 150 m à quelques centaines de mètres l'un de l'autre, pour que les paramètres environnementaux autres que le type de peuplement soient comparables, et pour être certain qu'un individu ne soit pas enregistré en même temps par deux micros, en considérant que les cris des grands murins portent sur environ 15-20 m (Barataud, 2020) ;
- à moins de 15 km des colonies de Ethe ou de Lontzen, dont les individus font l'objet de l'étude du régime alimentaire ;
- au centre des peuplements, pour s'assurer que les contacts enregistrés correspondent bien à une activité dans ce peuplement et éviter, par exemple, d'enregistrer depuis un peuplement feuillu un grand murin chassant dans un peuplement résineux voisin.

L'autorisation des gestionnaires des parcelles sélectionnées a été systématiquement demandée (DNF).

Le tableau 1 illustre les périodes d'enregistrement réalisées sur chaque site. Trente-deux sites (16 paires) ont donc été échantillonnés durant 2 semaines entre le 05/05/2024 et le 02/07/2024 puis une seconde fois durant 2 semaines entre le 02/07/2024 et le 27/08/2024. Quatre sites (les paires fixes "E2" et "L1") ont fait l'objet d'enregistrements continus sur toute la période, du 05/05/2024 au 27/08/2024.

Zone d'étude	ID	Site	Peuplement	1	2	3	4	5	6	7	8
				7/05-21/05	21/05-4/6	4/6-18/6	18/6-2/7	2/7-16/7	16/7-30/7	30/7-13/08	13/8-27/8
Ethe	1	E1A	Résineux	X				X			
	2	E1B	Feuillus	X				X			
	3	E2A	Résineux	X	X	X	X	X	X	X	X
	4	E2B	Feuillus	X	X	X	X	X	X	X	X
	5	E3A	Résineux				X				X
	6	E3B	Feuillus				X				X
	7	E4A	Résineux		X				X		
	8	E4B	Feuillus		X				X		
	9	E5A	Résineux			X					X
	10	E5B	Feuillus			X					X
	11	E6A	Résineux				X				X
	12	E6B	Feuillus				X				X
	13	E7A	Résineux			X				X	
	14	E7B	Feuillus			X				X	
	15	E8A	Résineux	X					X		
	16	E8B	Feuillus	X					X		
	17	E9A	Résineux		X					X	
	18	E9B	Feuillus		X					X	
Lontzen	19	L1A	Résineux	X	X	X	X	X	X	X	X
	20	L1B	Feuillus	X	X	X	X	X	X	X	X
	21	L2A	Résineux	X				X			
	22	L2B	Feuillus	X				X			
	23	L3A	Résineux		X				X		
	24	L3B	Feuillus		X				X		
	25	L4A	Résineux			X				X	
	26	L4B	Feuillus			X				X	
	27	L5A	Résineux				X				X
	28	L5B	Feuillus				X				X
	29	L6A	Résineux				X				X
	30	L6B	Feuillus				X				X
	31	L7A	Résineux			X				X	
	32	L7B	Feuillus			X				X	
	33	L8A	Résineux	X					X		
	34	L8B	Feuillus	X					X		
	35	L9A	Résineux		X					X	
	36	L9B	Feuillus		X					X	
Nombre de détecteurs en fonctionnement chaque quinzaine :				12	12	12	12	12	12	12	12

Tableau 1 : périodes d'enregistrement sur chacun des 36 peuplements étudiés.

Le tableau suivant précise, pour chaque détecteur, la distance aux colonies de Ethe/Lontzen et la distance à la colonie connue la plus proche, qui n'est pas toujours la colonie de Ethe ou de Lontzen.

Zone d'étude	ID	Site	Peuplement	Distance à la colonie dont le régime alimentaire est étudié (km)	Distance à la colonie connue la plus proche (km)	Zone d'étude	ID	Site	Peuplement	Distance à la colonie dont le régime alimentaire est étudié (km)	Distance à la colonie connue la plus proche (km)
Ethe	1	E1A	Résineux	2,0	2,0	Lontzen	19	L1A	Résineux	7,1	7,1
	2	E1B	Feuillus	2,2	2,2		20	L1B	Feuillus	6,4	6,4
	3	E2A	Résineux	7,3	7,3		21	L2A	Résineux	15,3	15,3
	4	E2B	Feuillus	6,5	6,5		22	L2B	Feuillus	15,7	15,7
	5	E3A	Résineux	2,9	2,9		23	L3A	Résineux	15,0	15,0
	6	E3B	Feuillus	2,8	2,8		24	L3B	Feuillus	14,7	14,7
	7	E4A	Résineux	5,6	5,6		25	L4A	Résineux	12,8	12,8
	8	E4B	Feuillus	6,0	6,0		26	L4B	Feuillus	12,8	12,8
	9	E5A	Résineux	1,7	1,7		27	L5A	Résineux	9,9	9,9
	10	E5B	Feuillus	2,7	2,7		28	L5B	Feuillus	9,2	9,2
	11	E6A	Résineux	13,6	0,9		29	L6A	Résineux	8,2	8,2
	12	E6B	Feuillus	11,7	1,9		30	L6B	Feuillus	8,0	8,0
	13	E7A	Résineux	4,3	4,3		31	L7A	Résineux	9,0	9,0
	14	E7B	Feuillus	4,5	4,5		32	L7B	Feuillus	8,2	8,2
	15	E8A	Résineux	7,2	2,5		33	L8A	Résineux	2,9	2,9
	16	E8B	Feuillus	7,8	1,8		34	L8B	Feuillus	2,6	2,6
	17	E9A	Résineux	8,3	2,7		35	L9A	Résineux	7,2	4,2
	18	E9B	Feuillus	8,4	3,4		36	L9B	Feuillus	7,0	3,6
Moyenne				5,9	3,4	Moyenne				9,6	9,2

Tableau 2 : distance entre les sites d'enregistrement et la colonie de référence (Ethe ou Lontzen), et distance à la colonie la plus proche.

4.1.3 Échantillonnage acoustique

Les 12 détecteurs d'ultrasons utilisés sont des Song Meter Mini Bat 2 (Wildlife Acoustics, USA). Ils ont été fixés directement sur le tronc des arbres, à environ 1,5 m du sol. Les données ont été récoltées toutes les deux semaines. Dans le cas des détecteurs fixes, les batteries ont également été changées aux mêmes dates.

Les peuplements sélectionnés sont illustrés aux figures suivantes.



Figure 1 : Zone Ethe, sites E1A et E1B.



Figure 2 : Zone Ethe, sites E2A et E2B.



Figure 3 : Zone Ethe, sites E3A et E3B.



Figure 4 : Zone Ethe, sites E4A-E4B.



Figure 5 : Zone Ethe, sites E5A-E5B.



Figure 6 : Zone Ethe, sites E6A-E6B.



Figure 7 : Zone Ethe, sites E7A-E7B.



Figure 8 : Zone Ethe, sites E8A-E8B.



Figure 9 : Zone Ethe, sites E9A-E9B.



Figure 10 : Zone Lontzen, sites L1A-L1B.



Figure 11 : Zone Lontzen, sites L2A-L2B.



Figure 12 : Zone Lontzen, sites L3A-L3B.



Figure 13 : Zone Lontzen, sites L4A-L4B.



Figure 14 : Zone Lontzen, sites L5A-L5B.



Figure 15 : Zone Lontzen, sites L6A-L6B.



Figure 16 : Zone Lontzen, sites L7A-L7B.



Figure 17 : Zone Lontzen, sites L8A-L8B.



Figure 18 : Zone Lontzen, sites L9A-L9B.

4.1.4 Identification des contacts attribuables au grand murin

La méthodologie utilisée pour sélectionner et valider les contacts appartenant avec une certaine probabilité au grand murin est décrite dans les résultats (voir section 5.1.1). En effet, les choix méthodologiques liés à cette partie ne peuvent être décrits sans présenter certains résultats de validation.

4.2 Choix et description des variables environnementales utilisées dans les analyses

4.2.1. Objectifs

La description des habitats et de la structure du paysage des sites étudiés est nécessaire pour obtenir des données chiffrées et plus objectives que le simple ressenti du terrain ou une documentation photographique.

Ces variables vont être utilisées premièrement dans l'axe de travail "Analyse statistique des relations entre l'activité de grands murins et les caractéristiques des habitats" et deuxièmement dans l'axe visant à la caractérisation des habitats à large échelle autour des colonies.

Elles contribuent donc à répondre aux questions n°3 et n°4 : "Quelle est l'offre en peuplements forestiers autour des colonies de grands murins étudiées ?" et "Pourquoi les grands murins équipés de balises GPS dans les colonies de Lontzen et Ethe adoptent-ils globalement un même azimut vers leurs terrains de chasse respectifs ?". Ces

variables environnementales apportent également des éléments d'explication (Pourquoi ?) à la question n°1 : "Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ? Si oui, quand et pourquoi ?".

4.2.2. Méthodologie

Des analyses cartographiques en SIG ont été réalisées pour extraire et résumer :

1. les caractéristiques à large échelle des environs des deux colonies étudiées, jusqu'à 15 km de celles-ci, correspondant à la distance maximale mesurée entre la colonie et les sites de chasse (données GPS de l'étude de Nyssen et al., 2023).
2. les caractéristiques à petite échelle des points d'écoute (localisation des détecteurs d'ultrasons), dans un rayon de 250 m, valeur correspondant à la taille des petits sites de chasse déterminés précédemment (Nyssen et al., 2023) mais aussi à un ordre de grandeur d'analyse cartographique pertinent (valeur de la fenêtre mobile utilisée pour la modélisation de plusieurs paramètres de la couche Ecotopes, projet Lifewatch (Radoux et al., 2024)).

Pour l'analyse macro (1), nous avons utilisé uniquement des ressources cartographiques transnationales, car dans les deux cas un tampon de 15 km autour des colonies sort du territoire belge. Pour l'analyse locale (2), la source de données Ecotopes, limitée à la Région wallonne, a été aussi utilisée.

Nos observations de 2023 étaient marquantes par la directionnalité préférentielle nette de tous les individus pistés. À Lontzen les sites de chasse se trouvaient au sud-est du gîte, alors qu'à Ethe c'était au nord-est. Certains individus ont d'ailleurs visité les mêmes sites de chasse plusieurs nuits d'affilée. Cette information n'est certes valable que pour quelques individus durant une période courte mais la question du choix des sites de chasse et la distance pour s'y rendre est au cœur des questions soulevées dans cette étude.

Pour l'analyse macro (1), on a tracé des tampons concentriques autour des colonies, lesquels ont été ensuite subdivisés selon des azimuts réguliers. Chacune des cellules de cette maille circulaire a ensuite fait l'objet de croisements géographiques avec les couches décrites ci-dessous, pour y prélever des valeurs moyennes des facteurs écologiques. Ces valeurs sont ensuite représentées sur carte et sous forme de graphiques.

Pour l'analyse autour des points d'écoute (2), on a effectué le même type de géotraitement mais cette fois dans un tampon de 250 m autour de la localisation du détecteur.

La constitution des tampons, le découpage en secteurs et les croisements ont été réalisés avec QGIS 3.40 et R 4.4.2 (packages sf et terra).

4.2.3 Description des paramètres extraits des couches cartographiques

MPoLum (Ecotope v4.17) : Intensité lumineuse nocturne mesurée par le Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Maille du raster 100x100m.

Ce paramètre représente la luminosité observée pendant la nuit à l'aide de satellites météorologiques de défense.

MPbDistriMmyo (Godeau et Nyssen, 2023) : Probabilité de détection de *Myotis myotis* modélisée pour la Wallonie. Maille du raster 100x100m.

Ce paramètre représente la probabilité de détection de cette espèce, basée sur un modèle spécifique à la région wallonne.

MTreeHeigth (Ecotope v4.17) : Hauteur moyenne des arbres. Couche vectorielle.

Ce paramètre indique la hauteur moyenne des arbres dans une zone donnée, exprimée en mètres.

Shannon (Walous) : Indice de diversité de Shannon basé sur les proportions des types d'occupation du sol (OCS). Maille du raster 1x1m.

L'indice de Shannon mesure la diversité des types d'occupation du sol en se basant sur la répartition proportionnelle des catégories. Plus l'indice est élevé, plus la diversité est grande.

tpi_250m (Ecotope v4.17) : Indice de position topographique (Topographic Position Index). Couche vectorielle.

Moyenne de la position relative (altitude relative) de l'écotope dans un rayon de 250 m. Une valeur négative indique une position en vallée, une valeur positive une position sur une crête.

BroadLV250 (Ecotope v4.17) : Pourcentage multiplié par 10 (= promille) des arbres feuillus de plus de 3 m de hauteur. Couche vectorielle.

Indique la proportion d'arbres feuillus dans un rayon de 250 m autour du point d'étude.

NeedlLV250 (Ecotope v4.17) : Pourcentage multiplié par 10 (= promille) des arbres résineux de plus de 3 m de hauteur. Couche vectorielle.

Indique la proportion d'arbres résineux dans un rayon de 250 m autour du point d'étude.

Dst_River (Ecotope v4.17) : Moyenne géométrique pondérée de la distance euclidienne aux rivières. Couche vectorielle.

Distance moyenne pondérée entre un point donné et les rivières environnantes, en tenant compte de leur catégorie (basée sur une base de données intégrée des rivières de Wallonie). Les plans d'eau ne sont pas inclus.

Dst_Road (Ecotope v4.17) : Moyenne géométrique pondérée de la distance euclidienne aux routes. Couche vectorielle.

Distance moyenne pondérée entre un point donné et les routes environnantes, basée sur les catégories des routes (données d'OSM).

prop.Broad (EEA, Langanke, 2016) : Proportion du buffer de 250 m occupée par la forêt feuillue. Maille du raster 10x10m.

Proportion de la zone tampon (250 m de rayon) composée de forêt dominée par des feuillus.

prop.Conif (EEA, Langanke, 2016) : Proportion du buffer de 250 m occupée par la forêt résineuse. Maille du raster 10x10m.

Indique la proportion de la zone tampon (250 m de rayon) couverte de forêt dominée par des résineux.

MTCD (EEA, Langanke, 2016) : Densité moyenne de couverture arborée (Mean Tree Cover Density).

Ce paramètre mesure la densité moyenne de la couverture arborée dans une zone donnée. Maille du raster 20x20m.

FOS_cat (EUROSTAT, Vogt et Caudullo, 2022) : Catégories de connectivité forestière. Maille du raster 100x100m.

Cette classification est le fruit d'une interprétation de la densité forestière (Tree Cover Density) où chaque pixel du raster est analysé sur base d'une fenêtre mobile afin d'en déterminer le niveau d'isolement vs. de rôle de zone noyau.

CODE : Type d'occupation du sol (Corine Land Cover). Couche vectorielle.

Code numérique représentant les catégories d'occupation du sol selon la nomenclature Corine Land Cover.

4.3 Analyse statistique des relations entre l'activité des grands murins et les caractéristiques des habitats

4.3.1 Objectifs

Au travers de cette analyse, nous tenterons de répondre aux questions n°1 et n°3 à savoir : “*Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ?*” et “*Les grands murins chassent-ils en pessières tout au long de la saison ?*”.

4.3.2 Construction des modèles

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R 4.4.2.

Afin de modéliser l'activité du grand murin selon le type de peuplement forestier (résineux ou feuillus), nous avons utilisé les modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM - package *glmmTMB*). L'usage de modèles linéaires dit “généralisés” se justifie par la distribution généralement non normale de la variable réponse (ici le nombre de contacts de grand murin sur un site et une période donnée). L'usage de modèles dit “mixtes” permet, lui, d'intégrer le fait que nos observations appartiennent à des groupes et donc, qu'il ne s'agit pas de données indépendantes. Par exemple, les sites d'échantillonnage ont été groupés sous forme de paires et il est possible qu'un même grand murin ait été enregistré via les deux détecteurs d'une paire durant la même nuit. Dans ce cas-là, l'activité enregistrée dans un peuplement influence l'activité enregistrée dans l'autre peuplement de la même paire.

Au vu de la nature de la variable réponse étudiée, à savoir le nombre de contacts de grand murin, une distribution de type négative binomiale ($nbinom2$) a été sélectionnée. Cette distribution est recommandée en écologie lorsque la variable réponse est le résultat d'un comptage, comme c'est le cas ici et dans d'autres études récentes (Hilbe, 2011; Leroux et al., 2021; Warton, 2022).

Deux modèles ont été réalisés afin de répondre aux questions posées. Un modèle se basant sur l'activité du grand murin nuit par nuit ainsi qu'un modèle se basant sur l'activité enregistrée durant 14 nuits, soit la période de rotation des paires de détecteurs mobiles. Ces deux modèles complémentaires ont pour but de répondre aux questions 1 et 3, à savoir de décrire la préférence en termes de peuplements forestiers du grand murin et évaluer si elle varie au cours de la saison.

Pour cela, le premier modèle se base sur le nombre de contacts de grand murin enregistrés nuit par nuit et intègre comme effet fixe le type de peuplement forestier (variable d'intérêt). Le nombre de contacts de chauves-souris (toutes espèces confondues) par nuit a également été intégré étant donné la grande corrélation de ce paramètre avec les conditions météorologiques, ainsi qu'une série de covariables paysagères (voir 4.2.3). Un effet aléatoire, correspondant à la paire de détecteurs imbriquée dans la date de la nuit a également été introduit.

Activité du grand murin par nuit ~

Peuplement + Activité chiroptérologique + Covariables paysagères + (1|Date de la nuit/paire de détecteur)

Concernant le second modèle, basé sur l'activité de 14 nuits, un effet fixe résultant de l'interaction du type de peuplement, de la région étudiée et de l'intervalle de deux semaines (variable d'intérêt) a été intégré. Il permet de vérifier s'il existe une ou plusieurs périodes pendant lesquelles les peuplements résineux ou feuillus sont plus fréquentés. Il a également été complété par une série de covariables paysagères. Un effet aléatoire correspondant à la paire de détecteurs a également été ajouté.

Activité du grand murin par 14 nuits ~

Peuplement*Semaine de l'année*Colonie + Covariables paysagères + (1|Paire de détecteur)

Une série de modèles contenant différentes combinaisons de ces variables existe. Afin de sélectionner le modèle le plus pertinent, à savoir celui qui explique le plus de variance et qui contient le moins de variables indépendantes, nous sommes basés sur le critère d'information d'Akaike (AIC). Les combinaisons contenant l'AIC le plus bas et la/les variable(s) d'intérêt(s) ont été conservées afin d'obtenir les modèles finaux. La multicolinéarité au sein de ces modèles a également été vérifiée à l'aide du facteur d'inflation de variance (VIF; fonction

check_collinearity, package *performance*). Les variables pour lesquelles le score de VIF était supérieur à "faible" ont été exclues.

Les modèles retenus sont les suivants :

1. Activité du grand murin nuit par nuit :

N contacts de grand murin ~

Peuplement forestier + Colonie + Connectivité des forêts + Hauteur moyenne des arbres + Indice de position topographique + Densité moyenne de couverture arborée + Activité chiroptérologique + (1|Date de la nuit/paire de détecteur)

2. Activité du grand murin durant 14 nuits :

N contacts de grand murin ~

Peuplement forestier*Colonie*Intervalle de deux semaines + Hauteur moyenne des arbres + Indice de position topographique + Distance aux routes + (1|paire de détecteur)

4.4 Étude du régime alimentaire - Analyse du guano

4.4.1 Objectif

L'objectif principal est de déterminer le régime alimentaire des grands murins des deux colonies étudiées sur base d'analyses ADN de guano. Cet axe de travail vise donc principalement à répondre à la question n°5 "*Quel est le régime alimentaire des grands murins et comment évolue-t-il en cours de saison ? L'écologie des proies consommées est-elle liée à un type de peuplement forestier particulier ?*".

4.4.2 Méthodologie

Du guano frais a été récolté dans les deux colonies d'Ethe et Lontzen à 6 reprises sur la saison printemps-été (voir figure 19). Le fait d'étaler les campagnes de récolte sur une bonne partie de la saison permet d'évaluer l'évolution du cortège d'insectes consommés en fonction de l'état reproductif des chauves-souris (gestation, lactation, élevage des jeunes, ...) mais aussi de détecter le cas échéant des changements de régime alimentaire au cours de l'année qui pourraient être expliqués par un changement de zones de chasse ou une accessibilité des proies liées à leur écologie (date d'émergence par exemple).

Une demande de dérogation à la loi de la conservation de la nature a été introduite en début de saison au niveau des services compétents du SPW pour couvrir le dérangement des colonies. L'autorisation a été accordée par le SPW en date du 16-04-2024.

Pour la collecte de guano, 3 grands bacs en plastique ont été posés sous la(les) grappe(s) de grands murins dans les gîtes estivaux. Les bacs, ainsi que leur couvercle, ont systématiquement été lavés à l'eau puis nettoyés à l'eau de javel pour détruire les éventuelles traces d'ADN résiduelles. Un grand papier buvard propre a été posé dans le fond des bacs pour absorber les liquides (urine notamment) et limiter les contaminations.

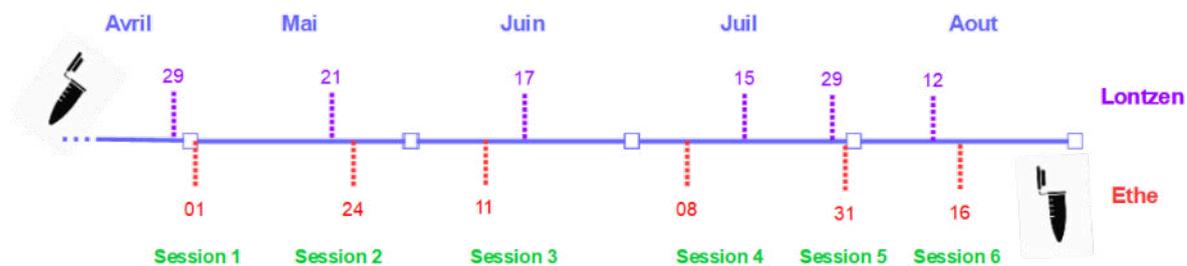


Figure 19 : Ligne du temps qui illustre les dates de récolte de guano dans les deux colonies de grand murin étudiées

La récolte du guano a été réalisée entre 5 et 48 heures après la pose des bacs. Un couvercle a été posé sur chaque bac, avant d'être sorti du gîte. La récolte des crottes s'est faite immédiatement, à l'extérieur du gîte pour limiter le dérangement des chauves-souris. Les crottes ont été placées, à raison d'environ 3 crottes par échantillon, dans des Eppendorf contenant 2.5 ml d'éthanol pur (non dénaturé). Le transfert des crottes depuis le bac a été réalisé avec des pinces en plastique nettoyées à l'eau de javel également, à raison d'une pince par échantillon. Les trois crottes d'un même échantillon ont été prélevées à des endroits différents du bac (ou dans des bacs différents) dans l'espoir de maximiser les chances qu'elles aient été émises par des individus différents.

Les échantillons ont été conservés à température ambiante à très court terme (quelques heures), puis au réfrigérateur à court terme (quelques jours maximum), puis au congélateur à -18°C jusqu'à envoi au laboratoire d'analyse (deux mois maximum).



Figures 20 : Aperçu des grappes de chauves dans les gîtes (à Ethe : ↖ IMP et ↙ Maison Rue Nouvelle), Bacs de récolte du guano, au moment de la pose dans les gîtes (↗ à Ethe, IMP et ← à Lontzen dans le tunnel¹), bacs contenant le guano frais au moment de la reprise (↘ à Ethe, IMP).

¹ Étant donné que le tunnel de Lontzen est ouvert au public (chemin de promenade piéton), des petits panneaux d'information étaient placés en même temps que les bacs pour informer sur l'étude en cours et demander aux passants de ne pas toucher au dispositif de récolte.



Figures 21 : Récolte de guano à l'extérieur des gîtes juste après la récupération des bacs.
 ↘ préparation du matériel de récolte avant d'ouvrir les boîtes et de s'équiper de gants
 ← et ↓ vue des bacs de récolte du guano frais au moment de la récolte d'échantillons dans les gîtes
 ↗, ↙ et ↘ récolte du guano avec une pince propre et placement du matériel en Eppendorf d'éthanol

Un total de 120 échantillons (contenant chacun environ 3 crottes) a été collecté (voir tableau 3), à raison de 10 échantillons pour chaque colonie (n=2) et pour chaque session de récolte (n=6) entre fin avril et mi-août. 5 échantillons supplémentaires tiennent lieu de témoin, nous y avons placé un petit morceau de papier buvard vierge ou l'avons laissé ouvert à l'air libre le temps d'une manipulation normale.

	Ethe			Lontzen		
campagne de récolte	date (2024)	échantillon guano	témoin	date (2024)	échantillon guano	témoin
1	01/05	10		29/04	10	1
2	24/05	10		21/05	10	1
3	11/06	10	1	17/06	10	
4	08/07	10		15/07	10	
5	31/07	10	1	29/07	10	
6	16/08	10	1	12/08	10	
Total général		60	3		60	2

Tableau 3 : nombre d'échantillons de guano collectés dans les deux colonies en 2024,

Les échantillons de guano ont fait l'objet d'une analyse ADN en metabarcoding par le laboratoire de génétique de la conservation de l'Université de Liège.

La méthodologie utilisée par le laboratoire pour l'analyse des échantillons, ainsi que le travail de sélection des séquences gardées (ou non) est expliquée dans la partie résultats (section 5.5). En effet, l'interprétation des données et l'explication des choix posés en matière de méthodologie ne peut que difficilement être dissociée de la présentation des différents résultats successifs.

5 Résultats

5.1 Mesure de la fréquentation des habitats forestiers (approche acoustique)

5.1.1 Identification des contacts attribuables au grand murin

Au vu de la quantité de contacts de chauves-souris enregistrés (> 380.000), nous avons utilisé les logiciels Kaléidoscope (Wildlife Acoustics, USA) et SonoChiro (Biotope, FR) pour diviser les enregistrements en séquence d'une durée maximum de 5 secondes (Kaleidoscope) et appliquer un algorithme de pré-tri afin d'identifier chaque contact (séquence de 5 secondes contenant au moins un cri de chauve-souris) au niveau taxonomique le plus détaillé possible (SonoChiro). Cet algorithme propose pour chaque contact une identification à plusieurs niveaux, et suggère une espèce (attribut "*Espèce*") couplée à un indice de certitude (*Isp*) allant de 0 à 10, ainsi qu'une identification prudente (*Id*), qui est le résultat de plusieurs facteurs, incluant entre autres *Espèce* et *Isp*, mais également un indice de qualité de la séquence et le nombre de cris de chauves-souris dont est composée celle-ci (*NbCris*). Une faible proportion du jeu de données a été attribuée par SonoChiro directement au grand murin (*Id* = *Myomyo*). Une validation manuelle a donc été réalisée par la suite afin d'identifier d'autres contacts appartenant au grand murin, mais qui n'avaient pas été identifiés avec suffisamment de certitude par l'algorithme (voir figure 22).

Pour cela, les contacts ayant été attribués au grand murin par SonoChiro (*Id* = *Myomyo*) ont été sélectionnés, ainsi que ceux désignés comme murins indéterminés (*Id* = *Myosp*) et chauves-souris indéterminées (*Id* = *Chirosp*) dont l'espèce indiquée comme la plus probable est le grand murin (*Espèce* = *Myomyo*) (*n* = 18.858). Ces contacts ont par la suite été regroupés en 22 catégories, sur base de leur identification taxonomique (*Id*), leur indice de confiance "espèce" (*Isp*) et le nombre de cris au sein de la séquence (*NbCris*). Un échantillonnage aléatoire au sein de chaque catégorie a été réalisé à l'aide de la fonction *stratified()* du package *splitstackshape*. Pour chaque séquence sélectionnée (*n*=265), une validation manuelle par un opérateur compétent a permis de déterminer l'espèce de chauves-souris à l'origine de la séquence.

Sur base des résultats de cette validation, un coefficient de validation a été établi pour chacune des 22 catégories, correspondant à la proportion de contacts de grand murin au sein de chaque échantillon. Par la suite, le nombre de contacts au sein de chaque catégorie a été multiplié par le coefficient de validation correspondant afin d'obtenir une estimation la plus fiable possible du nombre de contacts de grand murin. Le nombre de contacts a ensuite été additionné par nuit et arrondi au nombre entier le plus proche.

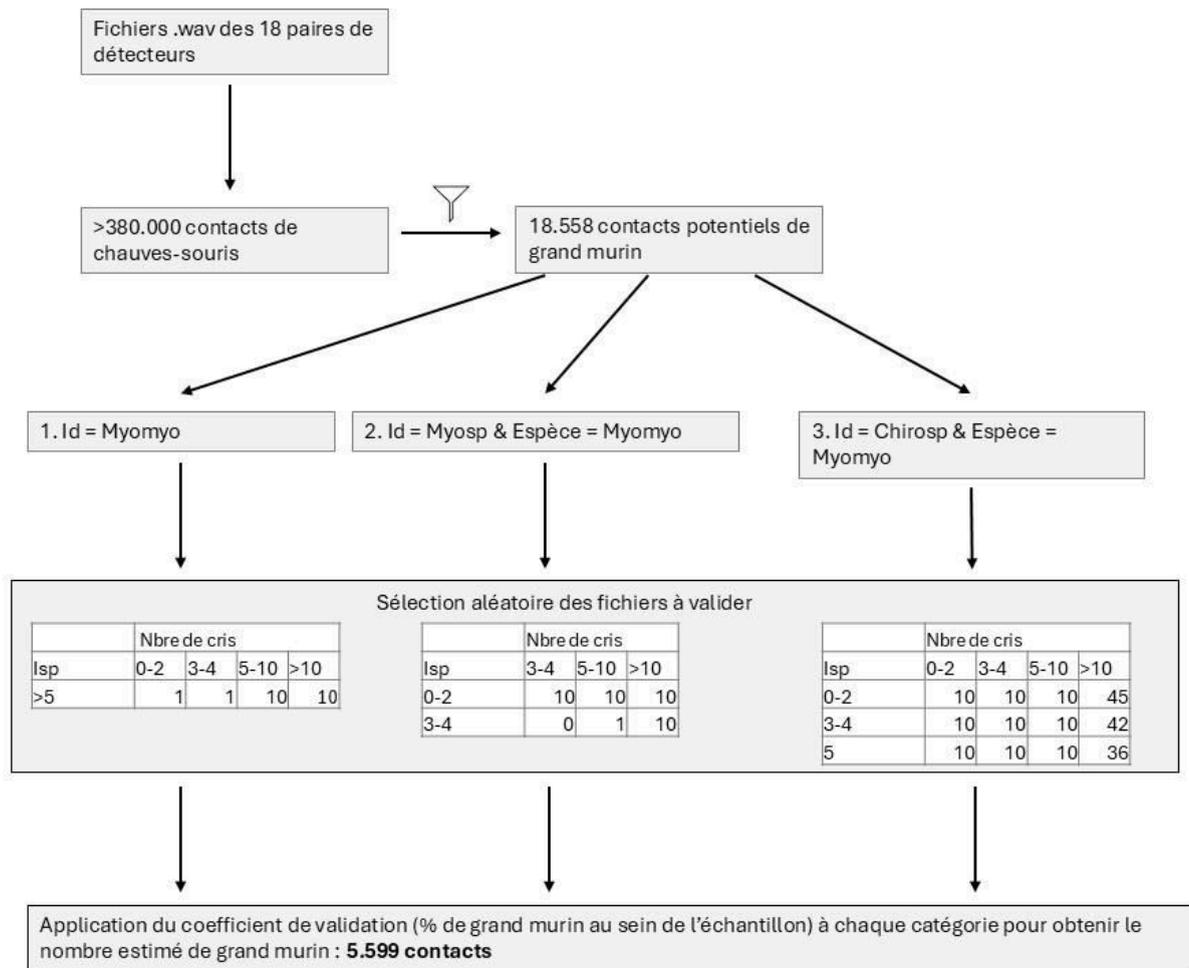


Figure 22 : Schéma récapitulatif du procédé de sélection et de validation des contacts attribués au grand murin. Légende : Id = identification automatique de la séquence par SonoChiro (Myomyo = grand murin; Myosp = murin indéterminé; Chirosp = chauves-souris indéterminée); lsp = indice de certitude sur l'identification de l'espèce, variant entre 0 et 10; Nbr de cris = nombre de cris dans la séquence acoustique.

5.1.2 Nombre de séquences et sorties de l'algorithme de tri automatique

Les détecteurs ont fonctionné sans problème technique durant toute la saison d'enregistrement et ont enregistré 383.594 contacts de chauves-souris. Parmi ceux-ci, l'algorithme SonoChiro a identifié un total de 18.858 contacts potentiels de grands murins. La validation manuelle sur base de l'échantillonnage stratifié, réalisée sur 265 contacts au total, a permis de confirmer 68 contacts de grands murins (soit 26 % des séquences vérifiées). Peu de cris typiques de grands murins ont été observés au sein de ces contacts. La majorité de ces séquences correspondaient à des cris atypiques de grand murin mais également à des séquences de murin de Natterer (*Myotis nattereri*) mal identifiées par SonoChiro.

Id	Espèce	Nombre de contacts	Coefficient de validation
Myomyo	Myomyo	370	0,4 à 0,7
Myosp	Myomyo	168	0,0 à 0,3
Chirosp	Myomyo	18.320	0,0 à 0,4

Tableau 4 : Nombre de contacts de grand murin potentiels identifiés par SonoChiro sur l'ensemble des enregistrements réalisés, ainsi que le "coefficient de validation", qui correspond au taux de grand murin confirmé par l'opérateur compétent au sein de l'échantillon.

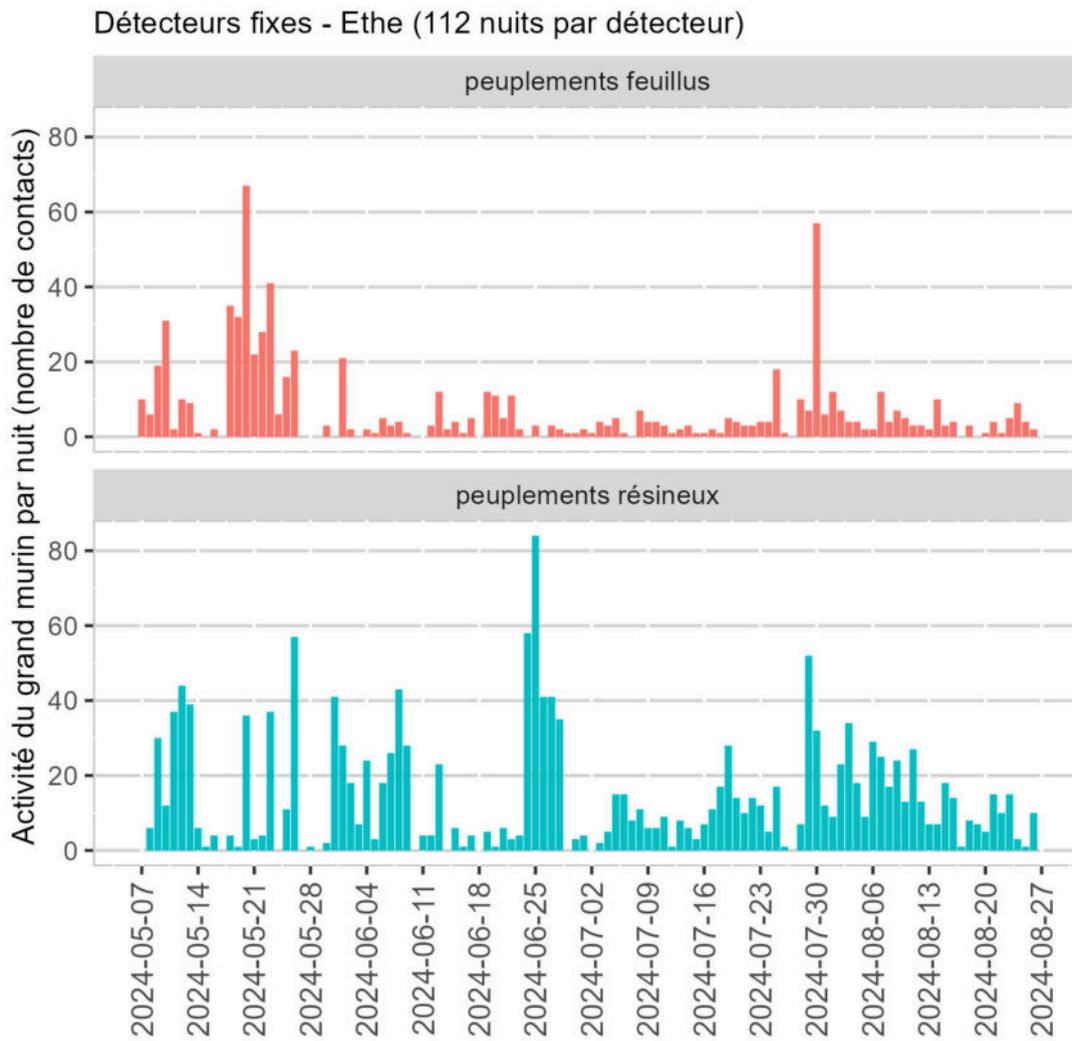
Le nombre de contacts de grand murin enregistré nuit par nuit au niveau de chaque site est présenté en annexe C.

5.1.3 Activité du grand murin sur les paires fixes

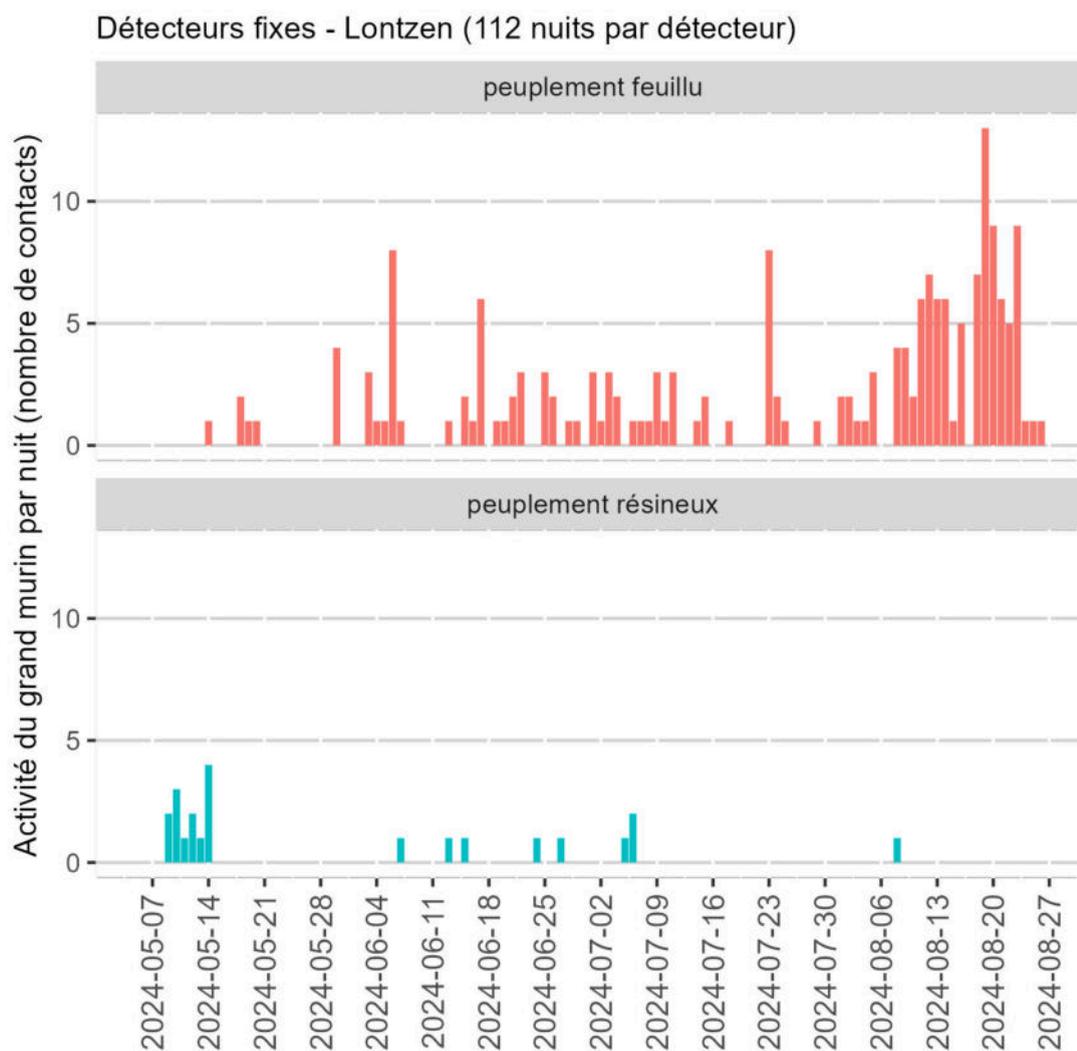
L'activité du grand murin enregistrée au niveau des 4 peuplements où des détecteurs fixes ont été installés sur toute la période d'étude (L1 et E2) est représentée sur les deux graphes suivants (graphes 1 et 2).

L'activité du grand murin à Ethe est largement supérieure à celle observée à Lontzen, aussi bien en peuplement résineux qu'en feuillus. De plus, à Ethe, le peuplement résineux semble plus fréquenté que le peuplement feuillu. Des contacts de grand murin dans les résineux sont enregistrés régulièrement tout au long de saison, avec plusieurs pics d'activité dont un pic un peu plus marqué aux alentours du 26/06.

À Lontzen, les données suggèrent l'inverse avec une fréquentation plus importante des peuplements feuillus. La détection dans les peuplements résineux n'est pas régulière et le niveau d'activité est faible (moins de 5 contacts par nuit). On note aussi, dans les feuillus, une augmentation de l'activité en août.



Graph 1 : Activité acoustique du grand murin, par nuit, sur les sites fixes à Ethe (E2A et E2B).



Graph 2 : Activité acoustique du grand murin, par nuit, sur les sites fixes à Lontzen (L1A et L1B).

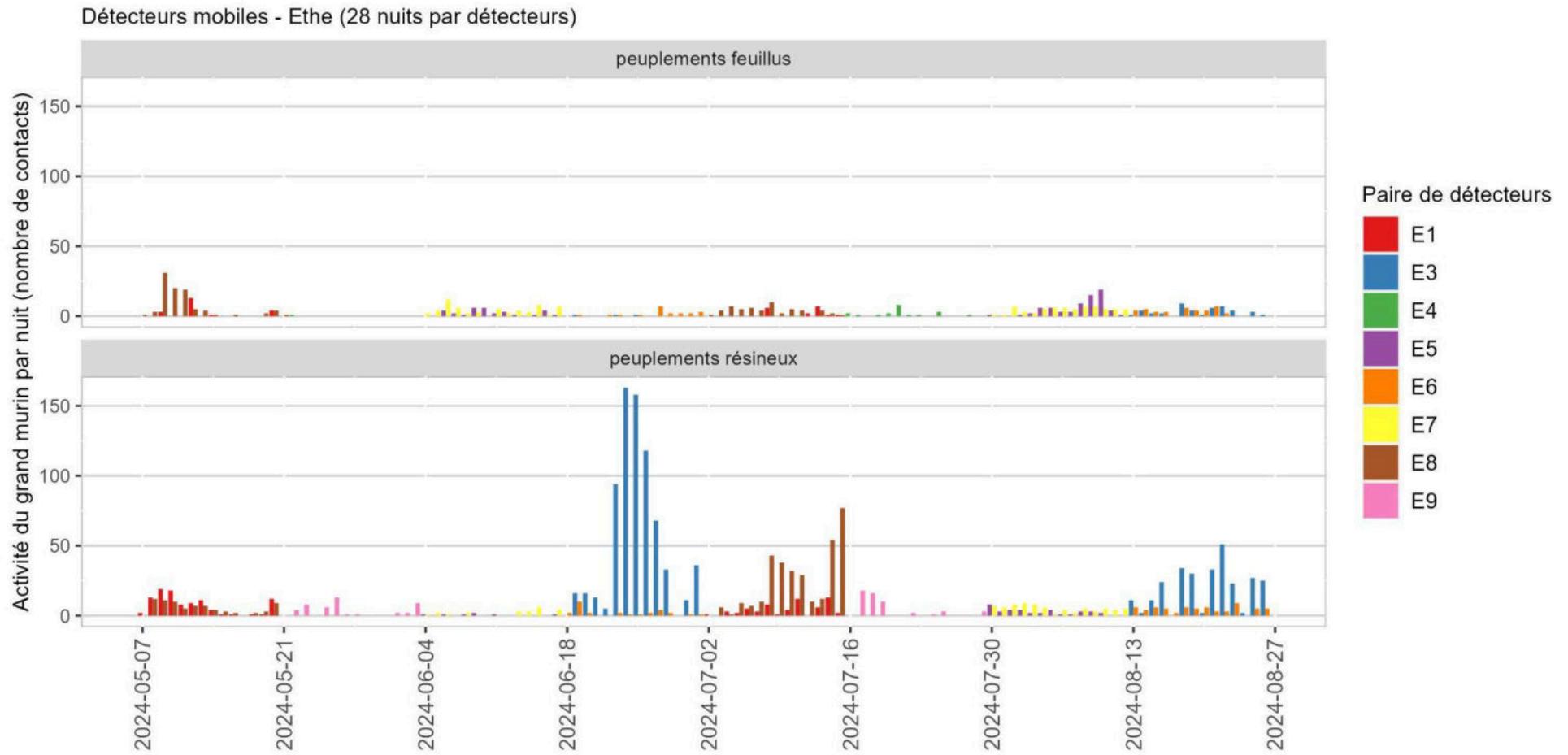
5.1.4 Activité du grand murin sur les paires mobiles

Les résultats sont résumés, pour chaque site, dans les graphes suivants.

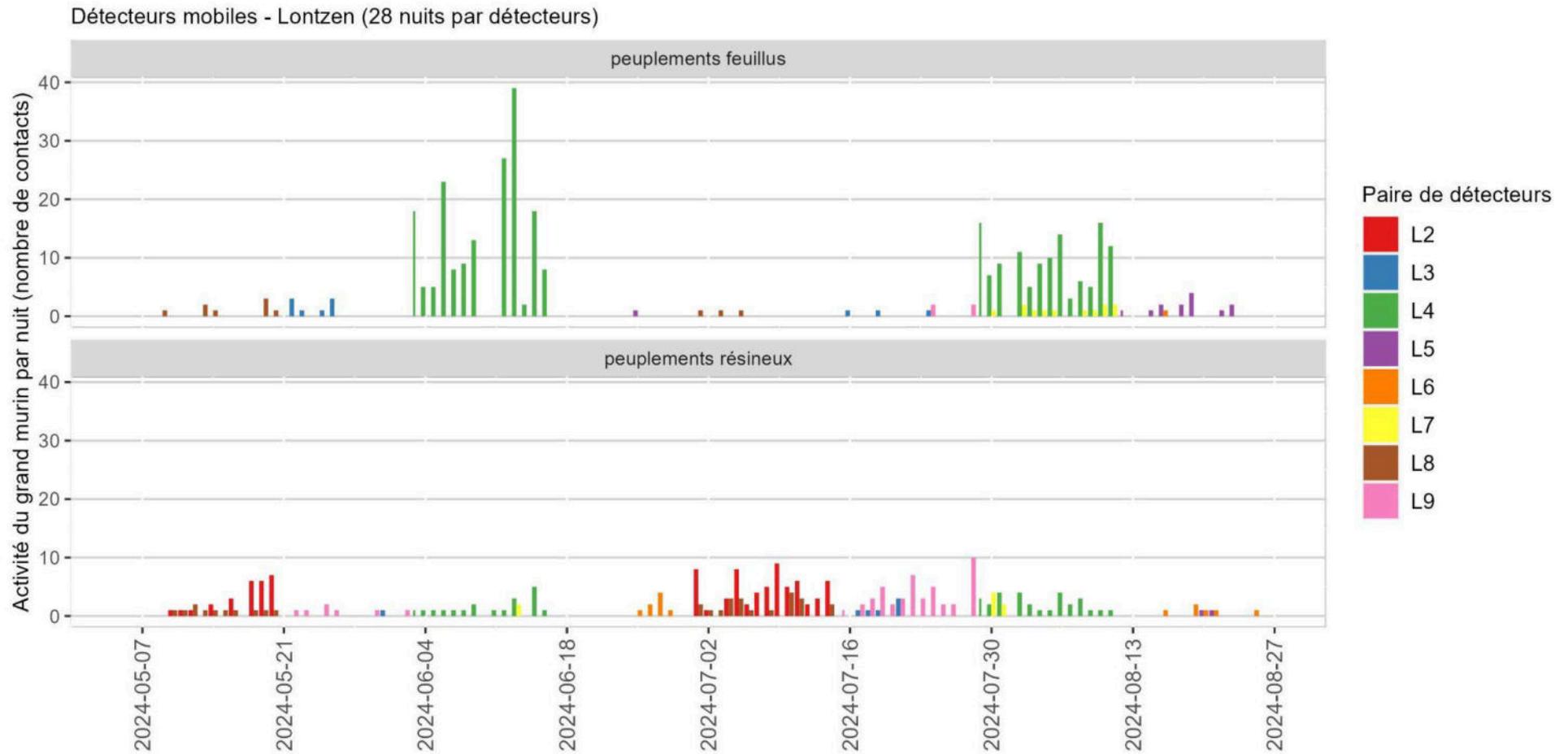
À l’instar des détecteurs fixes, une nette différence d’activité a été enregistrée au niveau des détecteurs mobiles entre Ethe et Lontzen : entre 0 et environ 150 contacts de grand murin par nuit à Ethe et entre 0 et environ 40 contacts par nuit à Lontzen.

Ensuite, on remarque une grande variabilité d’activité entre les sites, aussi bien à Ethe qu’à Lontzen. Ainsi, à Ethe, le site E3A et, dans une moindre mesure, E8A, tous les deux au sein de peuplement résineux, se démarquent par une activité nettement supérieure aux autres sites. À Lontzen, c’est le site L3B, en peuplement feuillu, qui montre une activité nettement plus élevée que les autres.

Enfin, il semble qu’à Ethe l’activité dans les peuplements résineux soit en moyenne plus élevée que celle mesurée dans les peuplements feuillus, alors que c’est l’inverse à Lontzen, conformément aux observations réalisées sur les paires fixes. Les analyses statistiques permettront de démontrer le caractère significatif ou non de ces différences, ainsi que d’analyser leur évolution au cours du temps (voir section 5.3).



Graph 3 : Activité acoustique du grand murin enregistrée à Ethe, sur base des enregistrements des détecteurs mobiles.



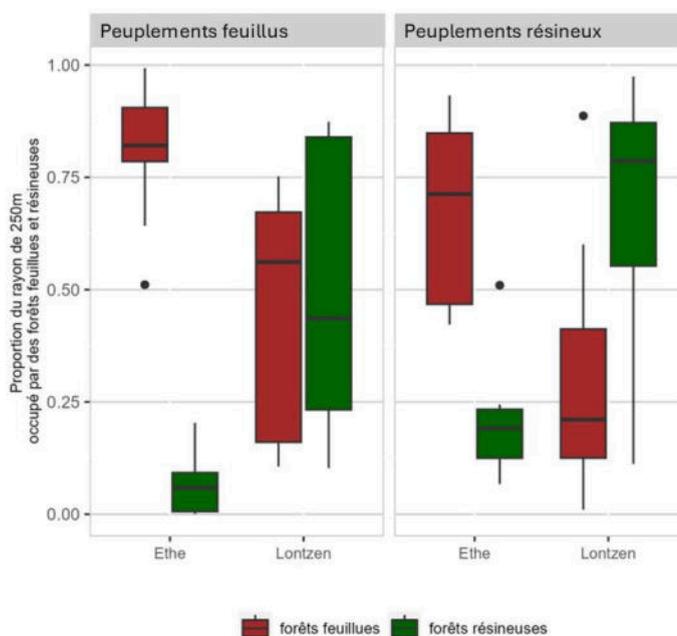
Grphe 4 : Activité acoustique du grand murin à Lontzen, sur base des enregistrements des détecteurs mobiles.

5.2 Caractérisation des habitats au niveau des peuplements forestiers étudiés

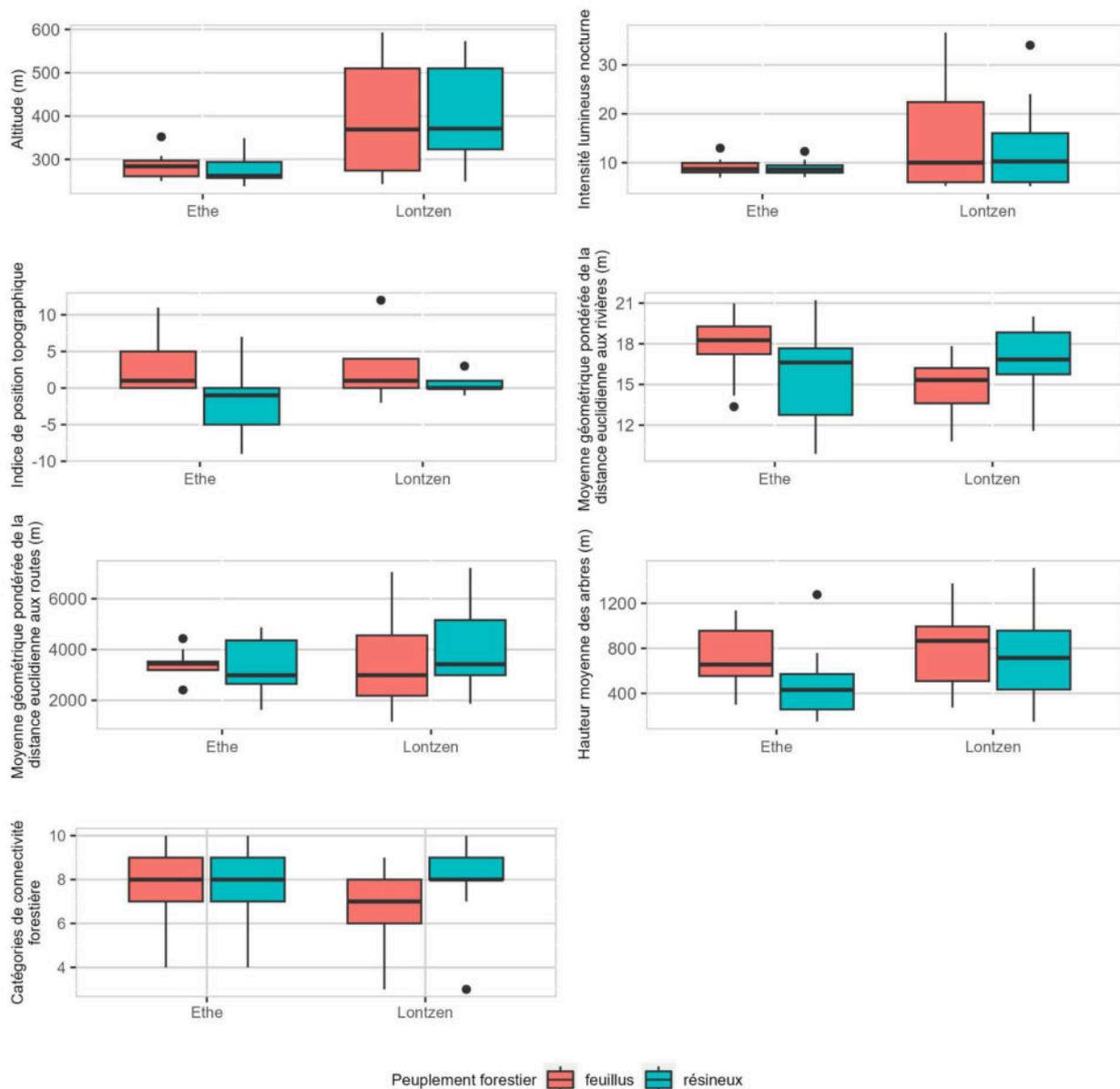
L'ensemble des variables environnementales décrites plus haut (voir section 4.2.3) ont été extraites par traitement cartographique pour les 36 sites d'échantillonnage acoustique dans les peuplements feuillus et résineux. Les principaux indicateurs de position de chaque covariable sont illustrés sous forme de boîtes à moustaches aux graphes 5 et 6.

Les principaux contrastes entre les zones d'étude de Ethe et Lontzen, au regard de ces covariables, sont les suivants :

- plus grande dispersion des valeurs d'intensité lumineuse nocturne à Lontzen (contraste entre le nord, avec des villages et l'autoroute, et le sud, plus couvert de fagnes et de forêts), alors qu'elle est partout très faible à Ethe (très faible densité de population et de réseaux de transports) ;
- altitude plus élevée et plus variable à Lontzen (~250-600 m) qu'à Ethe (~250-350 m) ;
- plus grande proportion de forêts résineuses dans un rayon de 250 m à Lontzen qu'à Ethe ; cela témoigne du fait que la région de Ethe est dominée par de grands massifs de forêts anciennes majoritairement feuillues, alors que les peuplements résineux sont plus dominants dans la région de Lontzen.



Grappe 5 : Proportion du type de forêts que l'on trouve dans un rayon de 250 m autour des sites d'enregistrement des détecteurs placés au sein de peuplements feuillus (à gauche) et résineux (à droite).



Graphes 6 : Distributions des variables paysagères au droit des 36 sites d'enregistrement des chauves-souris selon le type de peuplement forestier considéré. On constate une dispersion plus importante des valeurs d'intensité lumineuse nocturne et d'altitude à Lontzen qu'à Ethe.

Entre les peuplements résineux et feuillus au sein d'une même zone d'étude, les distributions des covariables (moyenne, écart type) sont souvent assez proches, conformément à la stratégie d'échantillonnage qui consistait à sélectionner des peuplements les plus similaires possibles en termes de milieu biologique, à l'exception de la nature feuillue ou résineuse de la strate arborée. On notera tout de même deux différences marquées sur ces covariables : la position topographique et distance aux rivières. Bien que nous ayons essayé de rapprocher le plus possible les sites d'une même paire, les peuplements résineux sont dans des positions topographiques plus basses et plus proches des cours d'eau que les peuplements feuillus.

Par ailleurs, à côté de la caractérisation des habitats par des données extraites par SIG, nos observations de terrain ont montré les éléments suivants :

- les peuplements résineux échantillonnés à Ethe et Lontzen semblaient assez similaires en termes de structure, avec au sol soit une absence complète de végétation, soit une strate muscinale plus ou moins dense ;

- la physionomie des peuplements feuillus était, elle, légèrement plus variable. À Lontzen, la majorité des sites sélectionnés s'apparentent à des hêtraies ou chênaies avec une strate arbustive et une strate herbacée inexistantes ou très peu présentes. À Ethe, ces strates sont bien présentes sur certains sites (par exemple E1, E3 et E4).

5.3 Analyse statistique des relations entre l'activité des murins et les caractéristiques des habitats

Les analyses suivantes ont été réalisées sur l'ensemble du jeu de données récoltées, à savoir les enregistrements provenant des détecteurs mobiles et fixes. Nous sommes bien conscients que ce design présente la faiblesse de ne pas être homogène et que dans l'analyse, les détecteurs fixes représentent un poids plus important car ils ont enregistré durant plus de nuits que les détecteurs mobiles.

Pour pallier cette faiblesse, nous avons effectué des analyses sur un jeu de données réduit, où des semaines ont été aléatoirement sélectionnées parmi les détecteurs fixes afin de les traiter virtuellement comme des détecteurs mobiles. Les résultats étant sensiblement identiques à ceux présentés ci-dessous, nous avons décidé de garder le jeu de données initial pour effectuer les analyses statistiques.

5.3.1 Activité du grand murin nuit par nuit

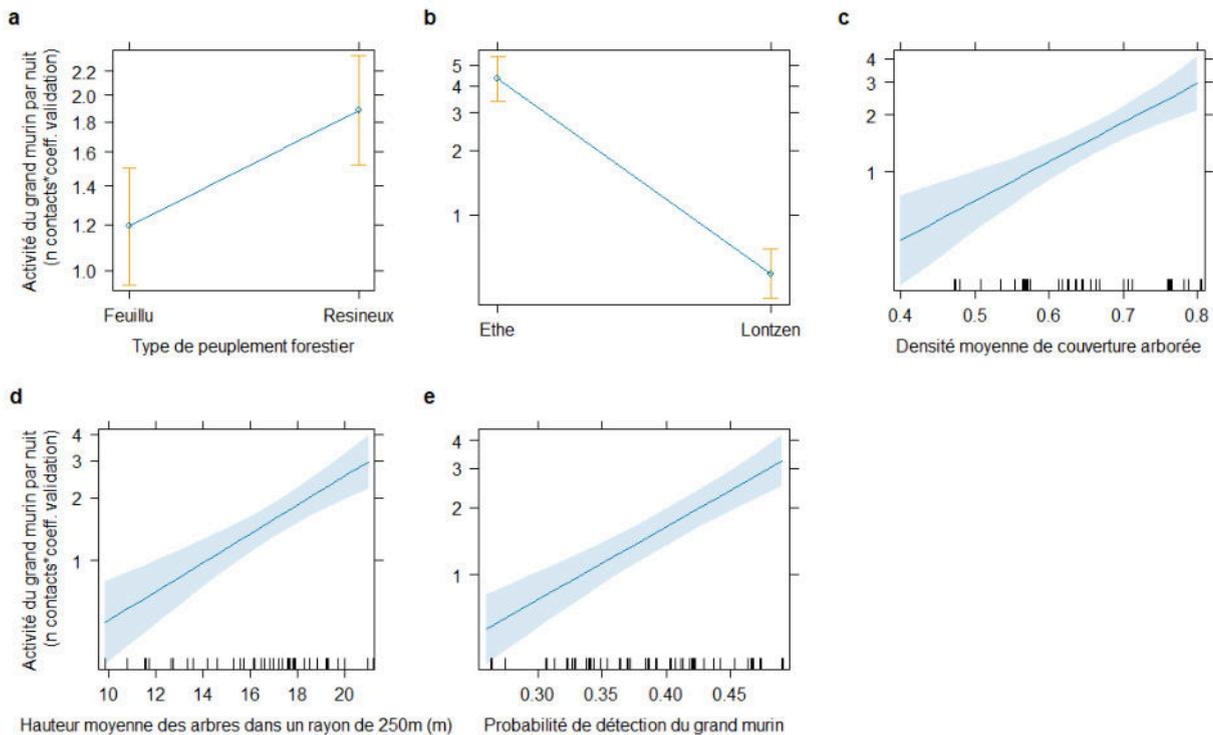
Les résultats ont montré que l'activité nuit par nuit du grand murin est significativement différente au sein des deux types de peuplements forestiers. Il apparaît ainsi que l'activité est significativement plus faible au sein des peuplements feuillus que dans les peuplements résineux. Un effet significatif apparaît également concernant la colonie étudiée, à savoir que l'activité est significativement plus importante à Ethe qu'à Lontzen.

Concernant les autres variables explicatives potentielles étudiées, un effet significatif positif de la hauteur moyenne des arbres, du nombre de contacts de chauves-souris toutes espèces confondues durant la même nuit et de la densité moyenne de couverture arborée dans un rayon de 250 m ont été mis en évidence. Enfin, un effet positif significatif de la probabilité de détection du grand murin selon la modélisation spatiale de Godeau et Nyssen (2023) est également présent.

Aucun effet n'a été mis en évidence pour l'indice de Shannon, la connectivité forestière et l'indice de position topographique.

Effets fixes	Coefficient	p-valeur
Peuplement forestier : Résineux	0.45	< 0.001*
Colonie : Lontzen	-2.09	< 0.001*
Hauteur moyenne des arbres dans un rayon de 250 m	0.15	< 0.001*
Nombre de contacts chauves-souris	< 0.001	< 0.001*
Probabilité de détection du grand murin	7.57	< 0.001*
Densité moyenne de couverture arborée	4.79	< 0.001*
Connectivité forestière	-0.03	0.37
Indice de Shannon	0.39	0.14
Indice topographique	0.01	0.66

Tableau 5 : Récapitulatif des effets des variables dans le modèle de l'activité du grand murin nuit par nuit. Les effets significatifs sont identifiés par *.



Graph 7 : Récapitulatif des effets significatifs sur l'activité du grand murin enregistrée nuit par nuit :

a. l'activité est significativement plus importante au sein des peuplements résineux ; b. l'activité est significativement plus importante dans la région d'Ethe que de Lontzen; c., d. et e. l'activité du grand murin est corrélée de manière significative et positive à la densité moyenne de la couverture arborée, à la hauteur moyenne des arbres et à la probabilité de détection du grand murin calculée par Godeau et Nyssen (2023).

5.3.2 Activité du grand murin sur 14 nuits

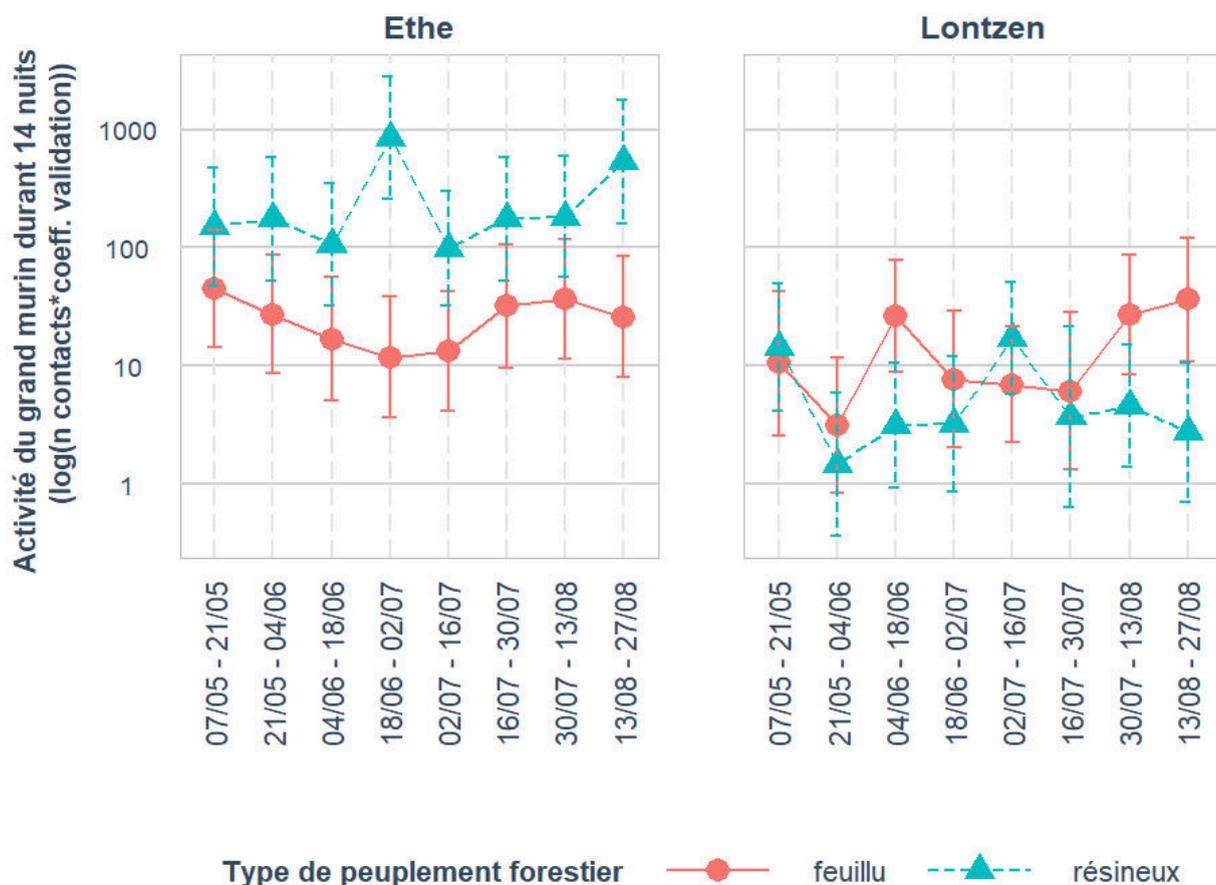
Les résultats ont montré que la sélection du type de peuplement forestier par le grand murin varie durant la période étudiée. En effet, deux pics d'activités apparaissent dans les peuplements résineux étudiés, de manière significative, aux alentours du 18/06/2024 et du 13/08/2024 et des 14 nuits suivantes. Toutefois, ces deux pics d'activité sont exclusivement liés à l'activité du grand murin enregistrée à Ethe. À Lontzen, il n'y a en effet pas de différence significative entre l'activité provenant des peuplements feuillus et résineux.

Il faut toutefois être prudent lors de l'interprétation de ces résultats. En effet, il a été montré qu'il existe une variabilité significative de l'activité enregistrée selon le site d'enregistrement (voir section 5.1.3). Cela a été confirmé à l'aide d'un test ANOVA (p-val. < 0.001*). Il est donc probable que l'apparition de pics d'activité significative soit le résultat de l'activité enregistrée sur certains sites uniquement. C'est notamment ce que nous suspectons pour le détecteur E3A, situé au sein d'un peuplement résineux et qui a enregistré une activité importante durant les 28 nuits où il était actif, à savoir les quinzaines 16/06/2024 - 02/07/2024 et 13/08/2024 - 27/08/2024. Toutefois, nous avons également constaté la présence d'un pic d'activité autour du 26/06/2024 sur le détecteur fixe E2A, également en résineux. Ces observations suggèrent que les grands murins sélectionnent certains peuplements résineux au détriment de peuplement feuillu durant ces deux périodes, sans que cela soit généralisable à l'ensemble des peuplements étudiés.

Ce modèle a également confirmé l'effet positif significatif de la hauteur moyenne des arbres dans un rayon de 250 m ainsi qu'un effet positif de la distance aux routes.

Effets fixes	Coefficient	p-valeur
Colonie:Lontzen*peuplement forestier:Résineux*18/06-02/07	-4.23	0.01*
Colonie:Lontzen*peuplement forestier:Résineux*13/08-27/08	-4.70	0.005*
Hauteur moyenne des arbres dans un rayon de 250 m	0.03	< 0.001*
Distance aux routes	<0.001	< 0.001*
Connectivité forestière	0.01	0.89
Indice de position topographique	0.01	0.66

Tableau 6 : Récapitulatif des effets des variables dans le modèle de l'activité du grand murin nuit par nuit. Les effets significatifs sont identifiés par *.



Graph 8 : Illustration de l'activité modélisée par période de 14 jours, par zone (Ethe ou Lontzen) et par type de peuplement (résineux ou feuillus). L'activité des grands murins dans les résineux est significativement supérieure à celle dans les feuillus uniquement à Ethe, et pour les intervalles de 14 nuits 18/06-02/07 et 13/08-27/08. Aucune différence statistiquement significative entre les peuplements résineux et feuillus n'apparaît à Lontzen.

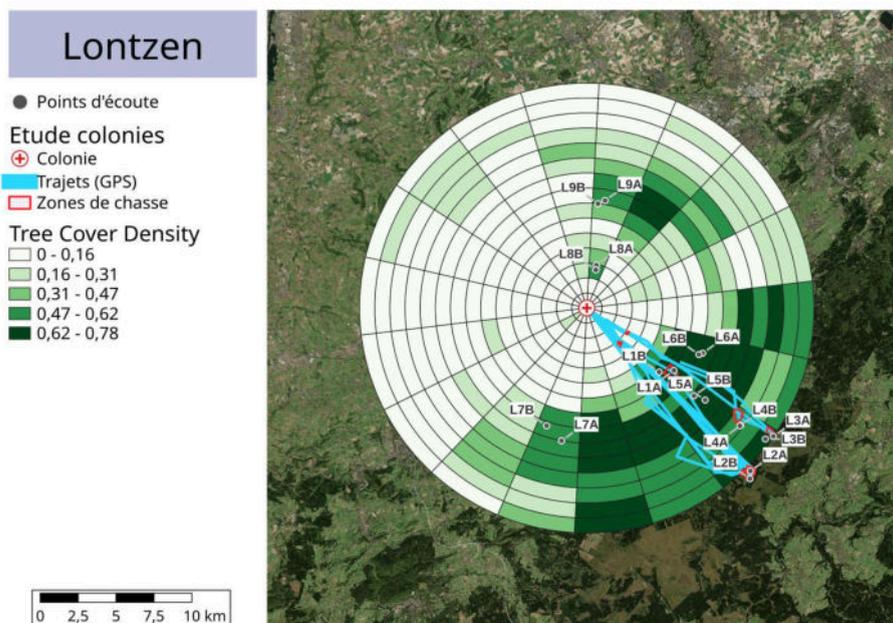
5.4 Description des habitats dans un rayon de 15 km autour de chaque colonie étudiée

Les 8 cartes suivantes illustrent, par secteurs cardinaux et par cercles concentriques, les valeurs des paramètres environnementaux qui influencent significativement les modèles explicatifs du taux d'activité acoustique aux points d'écoute (voir section 5.3). Des gradients de couleurs permettent d'appréhender comment ces paramètres sont distribués dans l'espace dans les 15 km autour des colonies. On a systématiquement surimposé les tracés GPS

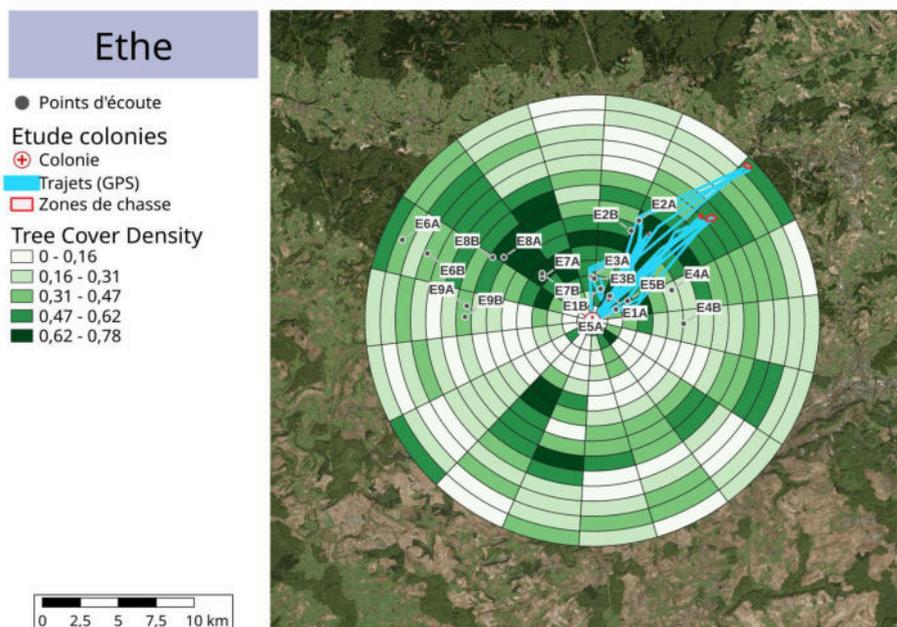
des individus suivis en 2023 ainsi que les terrains de chasse présumés. On n'a pas illustré la variable "distance au réseau routier" car probablement peu adaptée aux mailles concentriques utilisées.

5.4.1 Densité de la couverture arborée (forestière)

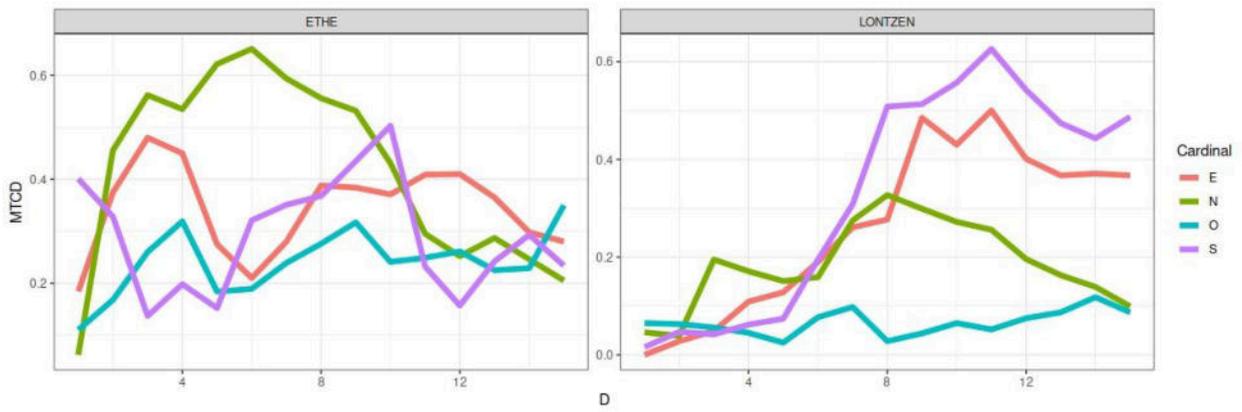
À Lontzen, le massif forestier de l'Hertogenwald se trouve au sud-est de la colonie (large secteur allant du sud à l'est). On remarque aussi une zone boisée plus restreinte mais localement dense au nord-est.



Carte 6 : Répartition de la variable "Tree Cover Density" (densité de la couverture forestière) autour de la colonie de Lontzen.



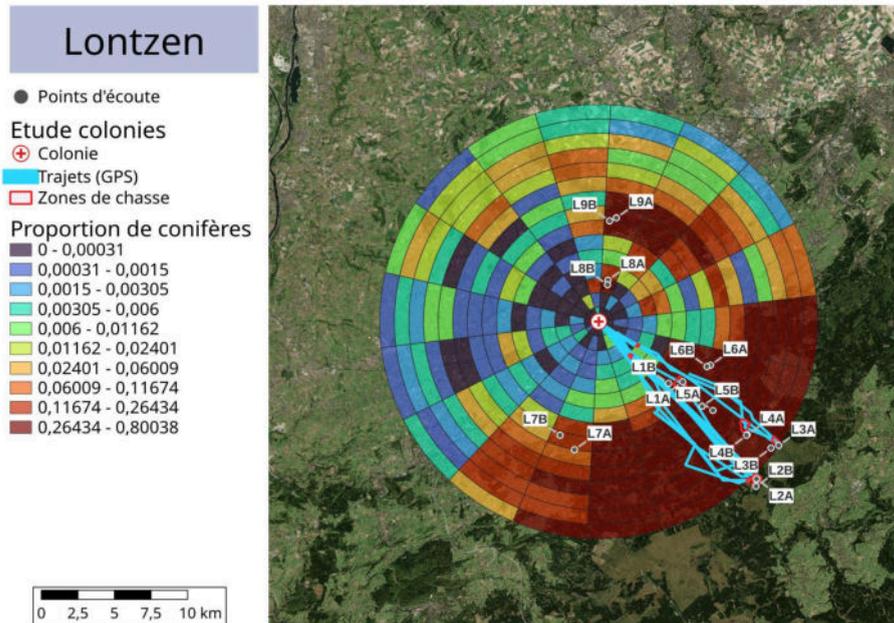
Carte 7 : Répartition de la variable "Tree Cover Density" (densité de la couverture forestière) autour de la colonie de Ethe.



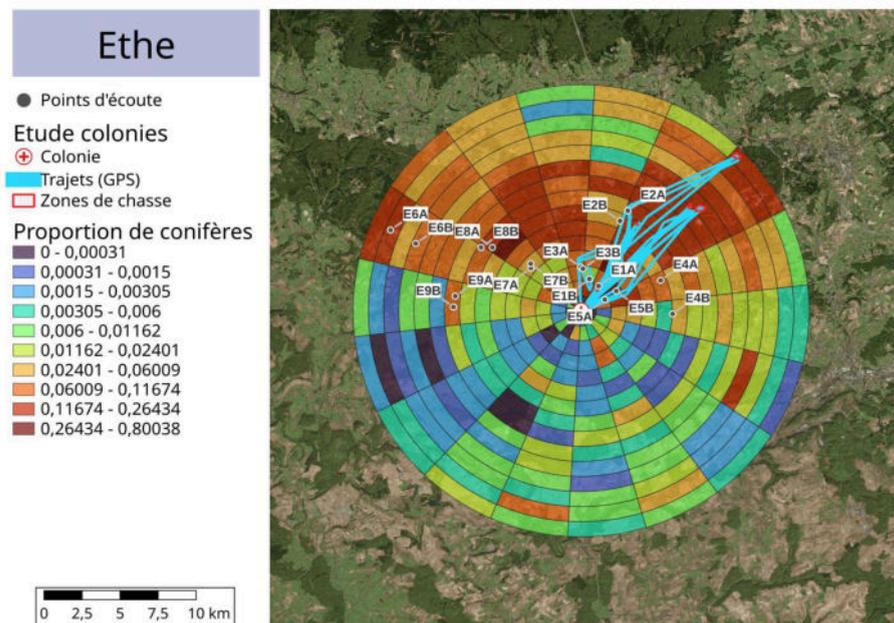
Grphe 9 : Évolution de la variable “Tree Cover Density” (densité de la couverture forestière) en fonction de la distance (en km) par rapport aux colonies.

5.4.2 Proportion de peuplements résineux

Les deux cartes suivantes mettent en évidence le taux important d'énrésinement des massifs forestiers à Lontzen, alors que toutes les forêts près de Ethe, à l'exception d'une seule cellule de la maille, ont des valeurs faibles (< 26 %) de proportion de résineux.



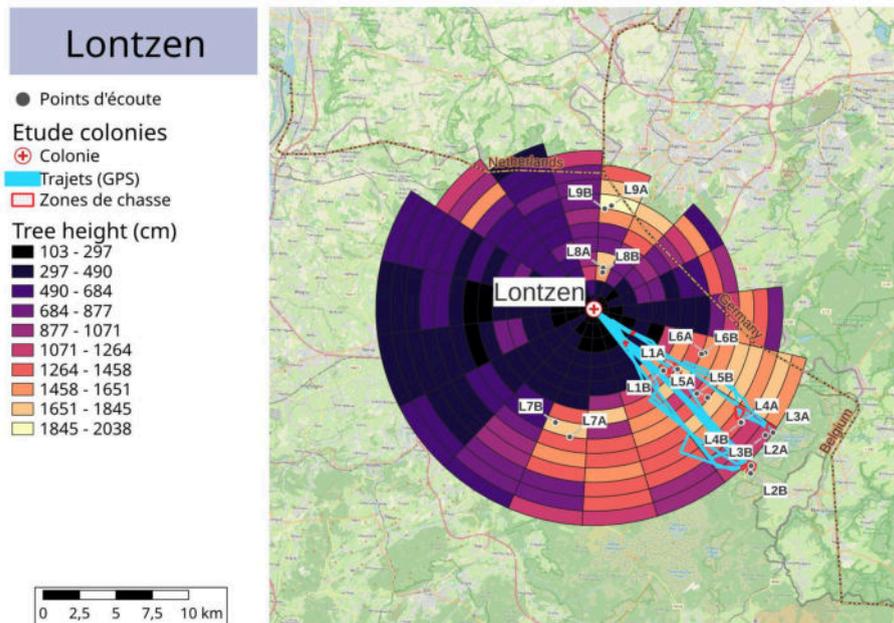
Carte 8 : Répartition de la variable "proportion de peuplements résineux" autour de la colonie de Lontzen.



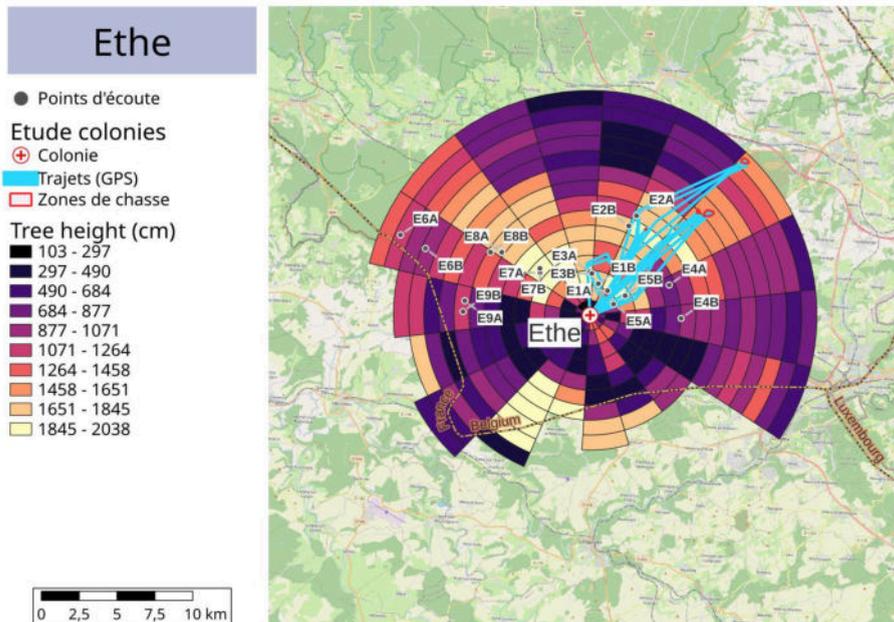
Carte 9 : Répartition de la variable "proportion de peuplements résineux" autour de la colonie de Ethe.

5.4.3 Hauteur moyenne de la végétation arborée

Ce paramètre a, logiquement, une valeur plus élevée là où se trouvent les massifs forestiers. Toutefois, on peut remarquer que, pour Lontzen, les valeurs les plus élevées se trouvent à l'est-sud-est de la colonie. À Ethe, les hauteurs sont plus distribuées en mosaïque, principalement dans le secteur nord (correspondant aux massifs forestiers) et à moins de 10 km de la colonie.



Carte 10 : Répartition de la variable “Mean Tree Height” (hauteur moyenne des peuplements forestiers), exprimée en cm, autour de la colonie de Lontzen.

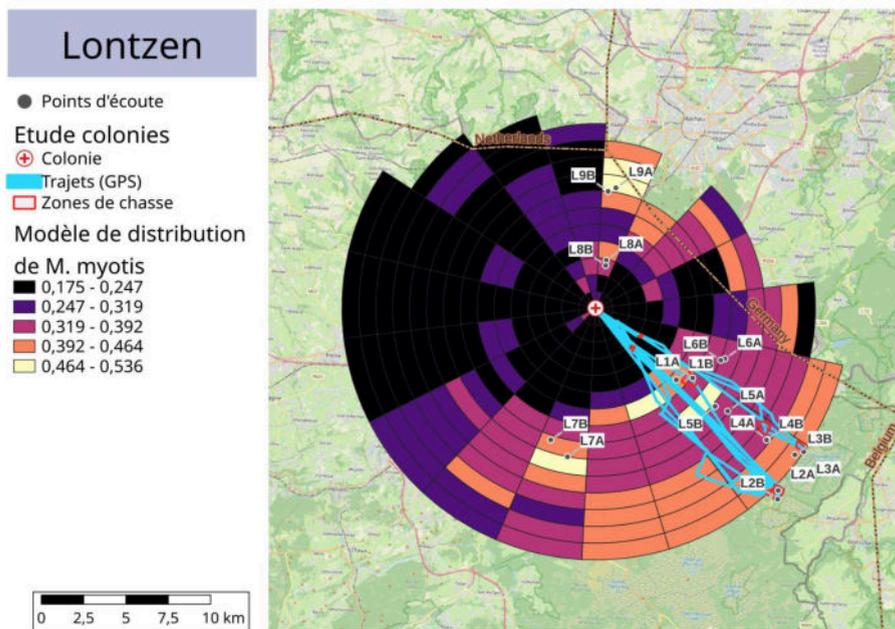


Carte 11 : Répartition de la variable “Mean Tree Height” (hauteur moyenne des peuplements forestiers), exprimée en cm, autour de la colonie de Ethe.

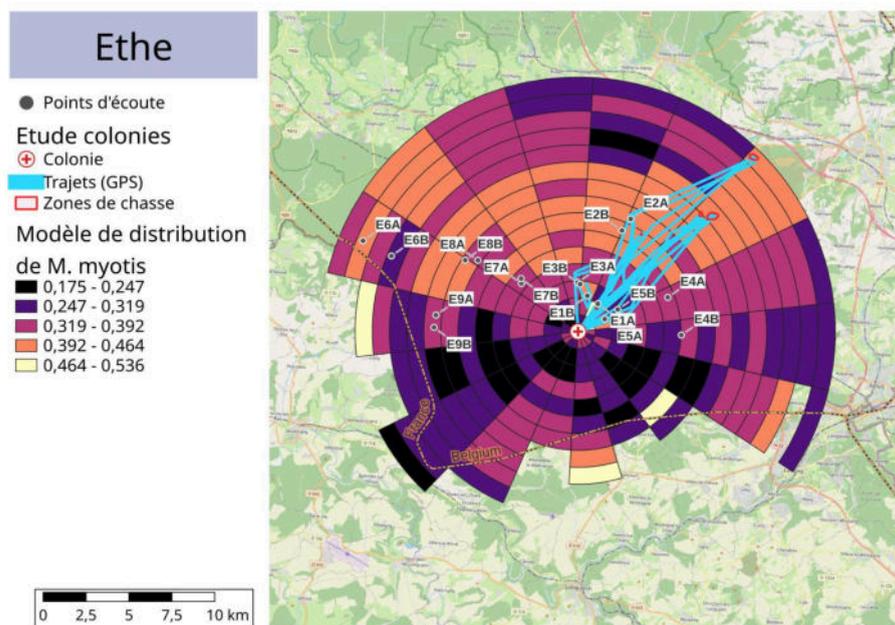
5.4.4 Modèle de distribution (probabilité de détection) du grand murin en Région Wallonne

Le raster de la probabilité de détection a été créé selon une maille fine (100x100 m), il est donc assez complexe de traduire ces probabilités par une moyenne dans chaque cellule de la maille concentrique. On voit malgré tout apparaître qu'à Lontzen, la probabilité de détection du grand murin est très faible dans le secteur ouest alors qu'il est nettement plus élevé vers le sud-est.

À Ethe, c'est tout le secteur nord (de l'ouest à l'est) qui obtient les plus fortes valeurs de probabilité, mais seulement à courte-moyenne distance.



Carte 12 : Répartition de la variable "modélisation de la probabilité de détection du grand murin" autour de la colonie de Lontzen.



Carte 13 : Répartition de la variable "modélisation de la probabilité de détection du grand murin" autour de la colonie de Ethe.

5.5 Étude du régime alimentaire - Analyse du guano

5.5.1 Description des résultats

Les résultats bruts obtenus de l'ULg ont été fournis sous la forme de tableaux Excel, une feuille reprenant les non-chordés (invertébrés) et une autre les chordés (vertébrés). Au total, l'ensemble des résultats représente 3853 lignes dont la structure est la suivante après importation dans RStudio :

Non-Chordés

```
tibble [2,823 × 12] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
 $ Sample-name      : chr [1:2823] "PN-E101" "PN-E101" "PN-E101" "PN-E101" ...
 $ sequence-number  : num [1:2823] 3 3 3 4 5 6 7 7 9 14 ...
 $ read-count       : num [1:2823] 380 380 380 230 158 134 89 89 60 41 ...
 $ %age-of-filtered-read-count : num [1:2823] 0.311 0.311 0.311 0.188 0.129 ...
 $ identification   : chr [1:2823] "-Abax_parallelepipedus" "-Abax_parallelepipedus" ...
 $ matchdist%      : num [1:2823] 100 100 100 100 100 100 100 100 99 100 ...
 $ match%          : num [1:2823] 97.7 97.7 97.7 100 100 100 100 100 95.5 100 ...
 $ sequence        : chr [1:2823] "AACATTATACTTTATTTTGGTGCATGATCAGGAATAGT"|__truncated__ ...
 $ total-sample-raw-read-count : num [1:2823] 143770 143770 143770 143770 143770 ...
 $ total-sample-filtered-read-count : num [1:2823] 122118 122118 122118 122118 122118 ...
 $ %age-of-raw-read-count : num [1:2823] 0.264 0.264 0.264 0.16 0.11 ...
 $ SAMPLE         : chr [1:2823] "E101" "E101" "E101" "E101" ...
```

Chordés

```
tibble [1,030 × 12] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
 $ Sample-name      : chr [1:1030] "PN-E101" "PN-E101" "PN-E101" "PN-E101" ...
 $ sequence-number  : num [1:1030] 1 1 10 10 12 12 22 22 1 1...
 $ read-count       : num [1:1030] 117662 117662 56 56 43 ...
 $ %age-of-filtered-read-count : num [1:1030] 96.3511 96.3511 0.0459 0.0459 0.0352 ...
 $ identification   : chr [1:1030] "-Myotis_myotis" "-Myotis_blythii" "-Myotis_myotis" ...
 $ matchdist%      : num [1:1030] 100 100 100 100 97 97 92 92 100 100 ...
 $ match%          : num [1:1030] 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 ...
 $ sequence        : chr [1:1030] "CACCTTATATCTACTATTGGTGCCTGAGCAGGTATAGCT"|__truncated__ ...
 $ total-sample-raw-read-count : num [1:1030] 143770 143770 143770 143770 143770 ...
 $ total-sample-filtered-read-count : num [1:1030] 122118 122118 122118 122118 122118 ...
 $ %age-of-raw-read-count : num [1:1030] 81.8404 81.8404 0.039 0.039 0.0299 ...
 $ SAMPLE         : chr [1:1030] "E101" "E101" "E101" "E101" ...
```

Les colonnes du tableau contiennent les informations suivantes :

- *Sample-name* : nom de l'échantillon
- *sequence-number* : numéro de la séquence pour l'échantillon
- *read-count* : nombre de reads attribués à la séquence
- *%age-of-filtered-read-count* : pourcentage de reads par rapport au nombre total de reads filtrés de l'échantillon
- *identification* : identification taxonomique de la séquence
- *matchdist%* : taille de la séquence ADN (longueur du brin d'ADN) comparée à la séquence de la base de données (en pourcent) (= distance de match)
- *match%* : pourcentage de bases (nucléotides) en commun entre la séquence analysée et la séquence de la base de données
- *sequence* : la séquence de nucléotides complète
- *total-sample-raw-read-count* : nombre total de reads bruts de l'échantillon
- *total-sample-filtered-read-count* : nombre total de reads filtrés de l'échantillon
- *%age-of-raw-read-count* : pourcentage de reads par rapport au nombre total de reads bruts de l'échantillon
- *SAMPLE* : nom de l'échantillon unifié (tel qu'indiqué sur les flacons)

Interprétation de l'analyse par metabarcoding

L'ADN présent dans les échantillons en ethanol a été amplifié avec le marqueur CO-1 (Cytochrome Oxydase 1), un gène mitochondrial qui permet de sortir des fragments d'ADN de 133 paires de bases pour le règne animal. L'amplification est réalisée par la technique de PCR, qui crée de très nombreuses copies de ces fragments. Ensuite, chaque fragment est séquençé, et on regroupe les séquences identiques en comptant le nombre de fois que chacune d'elle a été lue (= nombre de reads). Puis les séquences sont comparées avec les séquences référence de deux bases de données publiques différentes (NCBI et BOLD) et le niveau de correspondance entre les deux est mesuré. Cette étape de "matching" nous donne trois informations capitales pour l'interprétation des résultats

bruts : la *distance de match* (= la longueur des brins d'ADN), le *pourcentage de match* (= le niveau de correspondance avec les séquences de référence) et le *nombre de reads* (= le nombre de fois qu'un fragment d'ADN a été multiplié par la PCR). Plus ces trois paramètres sont élevés, plus on peut être confiant sur la fiabilité de l'identification du taxon proposé.

Il faut toutefois garder en mémoire que les bases de données de séquences ADN peuvent être entachées d'erreurs (mauvaise identification de l'espèce dont la séquence est issue), être incomplètes (des espèces non représentées car rares ou méconnues), ne pas être discriminantes (le CO-1 ne permet pas nécessairement de différencier absolument toutes les espèces), ... De même, l'ADN peut être disponible en quantité et qualité variables dans l'échantillon en fonction de l'espèce et enfin la PCR peut ne pas amplifier de la même manière tous les fragments d'ADN présents dans l'échantillon. Une phase d'interprétation prudente des résultats de metabarcoding est donc nécessaire et les résultats devront toujours être envisagés avec un regard critique et une connaissance des taxons. Par exemple, un matching maximal sur base d'un grand nombre de reads peut identifier une espèce américaine. Dans ce cas, on doit soit considérer l'identification à un rang taxonomique supérieur (genre, tribu, famille) soit exclure cette donnée.

Nous avons donc procédé dans un premier temps à cette phase de nettoyage des résultats bruts, dont la conséquence est la diminution du nombre de données jugées pertinentes.

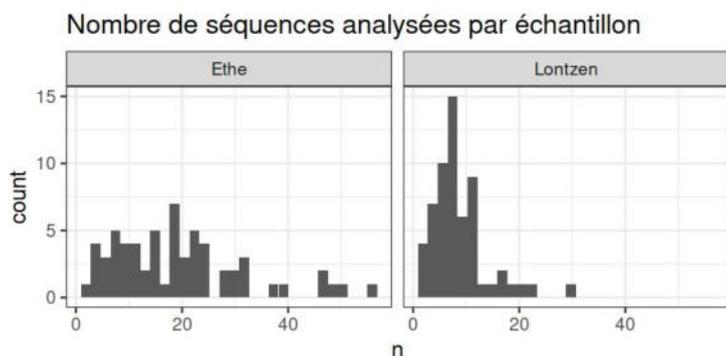
5.5.2 Choix méthodologiques

Sauf contre-indication, toutes les analyses qui suivent ne concernent que le jeu de données 'non-chordés' étant donné que le grand murin est une espèce qui se nourrit exclusivement d'arthropodes et ne s'adonne en aucun cas au cannibalisme. Ceci dit, plus d'un millier de résultats sont des vertébrés, quasi exclusivement attribués à *Myotis myotis* et *M. blythii* (à savoir les deux espèces du complexe taxonomique du grand murin, en sachant que seul *M. myotis* est présent sous nos latitudes) plus quelques rongeurs, des bovidés et *Homo sapiens*. Il s'agit d'un résultat attendu pour les chauves-souris, lié à la présence de cellules épithéliales de l'intestin dans le guano. Pour les autres espèces, il s'agit de toute évidence de traces de poils et de fragments de peau ingérés par les chauves-souris lors du nettoyage ou de pollution du matériel récolté.

Les 5 échantillons témoin n'ont soit pas donné de résultat, soit, assez logiquement, *Homo sapiens*, provenant de la contamination naturelle des flacons laissés ouverts à l'air libre le temps des manipulations (cf. supra).

Plusieurs séquences par échantillon et plusieurs identifications par séquence

En fonction de l'état de conservation du matériel génétique et de la procédure PCR qui consiste à découper aléatoirement les brins d'ADN, de très nombreuses copies de séquences sont produites pour chaque échantillon (des centaines de milliers !). Une grande partie est exclue des résultats bruts fournis par l'ULg, lorsque la distance de match est inférieure à 80% et que le pourcentage de match est inférieur à 90%. En moyenne, on obtient jusqu'à une 50aine de séquences distinctes par échantillon (Graphe 10). Le plus souvent 10 à 20 séquences sont conservées.



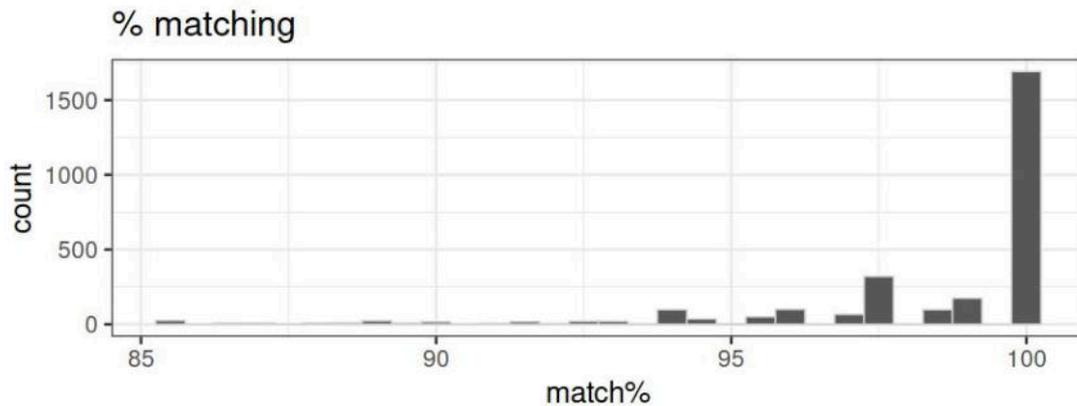
Graphe 10 : Distribution du nombre de séquences différentes obtenues par échantillon après un premier tri en sortie d'analyse metabarcoding.

Pour les raisons évoquées plus haut, il arrive qu'une même séquence ADN puisse être attribuée à différents taxons. Dans ce cas, l'identification doit être arbitrée pour ne garder que le taxon le plus pertinent : soit sélectionner la seule espèce possible soit garder un taxon d'un rang supérieur si on ne peut pas trancher.

Dans un second temps, on a déterminé des valeurs seuil de nombre de reads et de pourcentage de match afin d'éliminer un maximum de taxons non pertinents (biogéographiquement ou écologiquement) ou d'un rang taxonomique pas suffisamment informatif (phylum, classe voire famille).

Selon la littérature et les conseils du laboratoire de l'ULg, nous avons exclu les taxons dont le pourcentage de match est inférieur à 95%. On considère habituellement qu'une identification à l'espèce est fiable pour des match de plus de 99% alors qu'un rang taxonomique au genre ou à la famille est pertinent entre 97% et 99%.

Notre jeu de données est très largement représenté par des valeurs de match supérieures à 95% (2500 données, soit 81%). Seules 323 données (11.4%) ont des valeurs de match inférieures à 95% (graphe 11), ces dernières ont donc été exclues. De même, les identifications basées sur moins de 10 reads sont à exclure de manière stricte (car elles correspondent vraisemblablement à des contaminations).

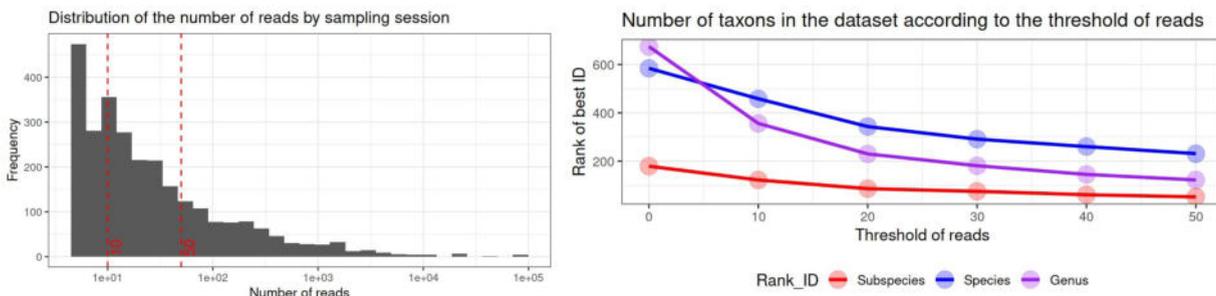


Grappe 11 : Distribution des pourcentages de match des données brutes.

Au terme de ces deux premières étapes de nettoyage (1 taxon par séquence ; match > 95% & Nb reads > 10) et exclusion des échantillons témoin, la base de données non-chordés comptait 977 données.

Pour le nombre de reads, il est habituellement conseillé d'utiliser avec prudence les identifications comptant moins de 50 reads, sans toutefois les considérer comme nécessairement erronées. Afin d'évaluer à quel seuil notre jeu de données pourrait être limité, nous avons déterminé qu'au seuil de 50 reads, il restait 435 données, ou bien 585 au seuil de 30 reads ou encore 1031 au seuil de 10 reads (graphe 12).

Sur base d'une analyse visuelle et partielle des taxons identifiés sous le seuil de 50 reads et sur base du graphe 12 (droite), nous avons jugé qu'un bon compromis pour conserver suffisamment de données, jugées majoritairement pertinentes (espèce ou genres très souvent identiques ou compatibles avec les identifications pour les séquences à plus de 50 reads), consistait à conserver les données avec plus de 10 reads. On observe une inversion nette du nombre d'espèces par rapport au nombre de genres dès que l'on passe sous la barre des 10 reads. Par contre, les proportions genres/espèces/sous-espèces sont plutôt stables entre 10 et 50 reads.



Grappe 12 : À gauche - distribution du nombre de reads dans la base de données nettoyée en première étape (n=977). À droite - nombre de genres (ou de familles, comptées avec les genres), espèces et sous-espèces conservées à différents seuils de reads (0, 10, 20, 30, 40 ou 50) sur la base des données complètes.

Les résultats après nettoyage des données consistent donc au final à une liste des différents taxons présents dans chaque échantillon (Eppendorf contenant 3 crottes). L'analyse semi-quantitative qui suit est donc bien basée uniquement de la présence / absence de chacun des taxons au sein de chaque échantillon (n=120), ce qui permet de calculer les pourcentages d'occurrence des proies dans les résultats² (voir explications du calcul des pourcentages en annexe A).

La base de données (non-chordés) utilisée pour les analyses est donc de 977 données (taxon*échantillon).

5.5.3 Analyse des taxons identifiés à différents niveaux de classification taxonomique

Analyse au niveau des classes

Lorsque l'on s'intéresse aux classes rencontrées (graphe 13), l'écrasante majorité des taxons sont les insectes, suivis de plusieurs classes plutôt inattendues : Gastropoda (escargots et limaces), Clitellata (vers de terre), Collembola (collemboles), les Malacostraca (auxquels appartiennent les cloportes), les Arachnida (araignées et acariens), Chilopoda (milles-pattes) et Branchiopoda (invertébrés aquatiques).

La quasi-totalité des taxons qui n'appartiennent pas aux insectes sont très largement des proies potentielles de Carabidae, qui constituent l'écrasante majorité des insectes identifiés (voir infra), essentiellement des mollusques et des vers de terre. Les autres groupes peuvent être des proies de certaines espèces de carabes mais appartiennent aussi plus généralement à la pédofaune (collemboles, arachnides). La présence des Branchiopodes est par contre plus questionnante.

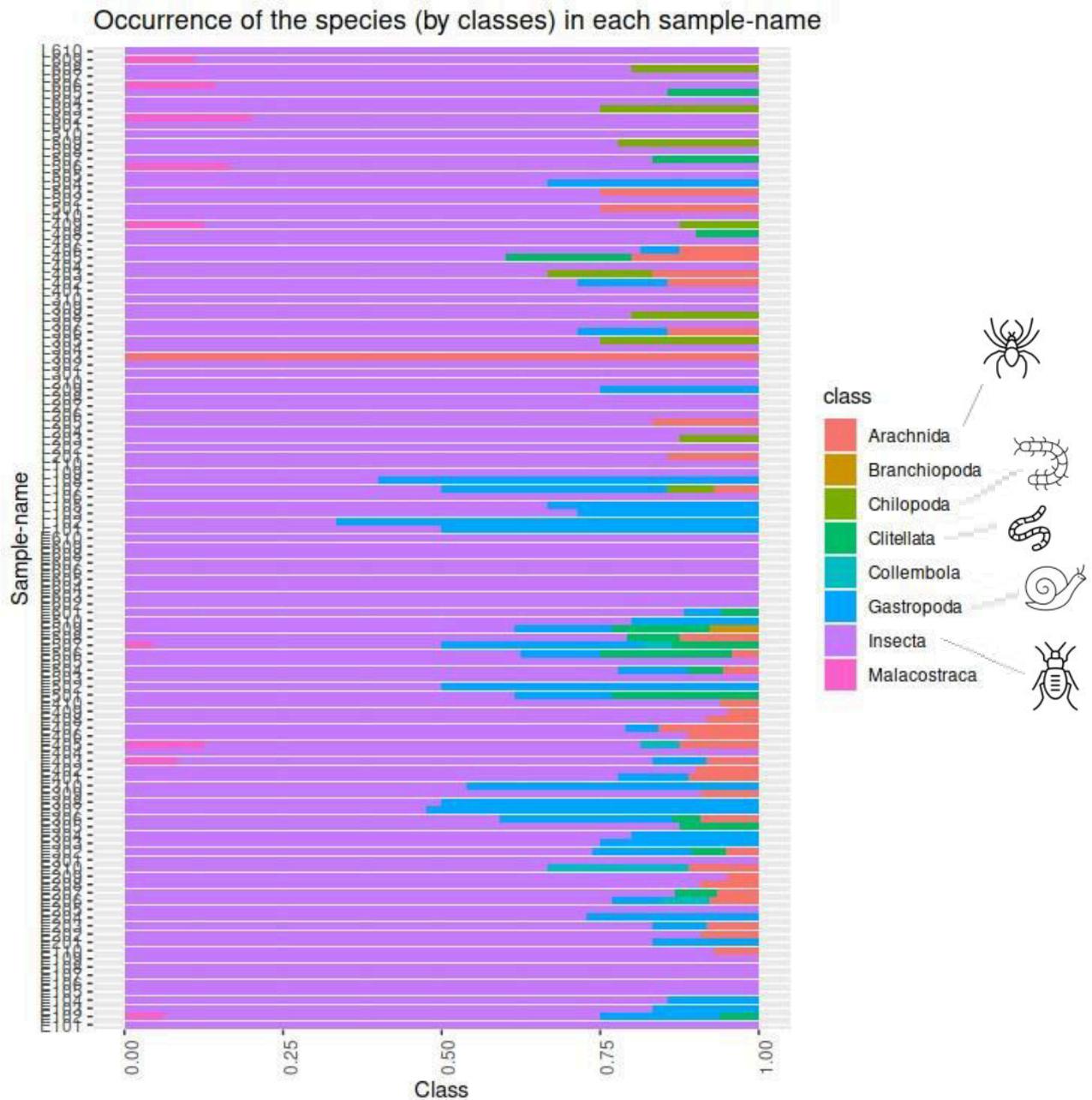
Proportion d'échantillons dans lesquelles les différentes classes sont représentées



Graph 13 : Proportion des classes des différents taxons identifiés par le metabarcoding pour les deux colonies étudiées (voir annexe A pour la méthode de calcul des pourcentages).

La répartition de ces classes au sein de chaque échantillon (graphe 14) suit le même pattern que l'analyse globalisée : une écrasante dominance d'insectes, suivi par les gastéropodes.

² Ces pourcentages doivent bien être interprétés comme représentatifs de la fréquence de cette espèce au menu (le grand murin mange-t-il souvent -ou non- cette espèce ?), mais ne peuvent pas être lus comme une proportion du bol alimentaire des individus (le grand murin mange-t-il beaucoup -ou peu- d'individus de cette espèce ?).



Graph 14 : Classes des différents taxons identifiés par le metabarcoding pour chaque échantillon (n=120). Les échantillons de Lontzen sont la moitié supérieure, ceux de Ethe la moitié inférieure. Les échantillons sont par ailleurs classés pour chaque colonie chronologiquement (avec les 10 échantillons de la session 1 tout en bas et ceux de la session 6 tout en haut).

En première approche, on peut déduire de ces analyses que les proies des grands murins appartiendraient exclusivement aux arthropodes (càd dans notre cas essentiellement les classes Insecta, Arachnida et Chilopoda), conformément aux connaissances de cette espèce. La majorité des autres classes seraient des traces issues du bol alimentaire des proies des chauves-souris (mollusques, vers-de-terre, ...), leurs parasites, phorétiques et commensaux (acariens) ou encore des traces provenant de la pédofaune issue de la litière ou humus ingéré en même temps que les proies. Il est probablement impossible de déterminer si cette hypothèse est valide mais un principe de parcimonie logique nous invite à exclure l'idée que le grand murin puisse consommer des proies minuscules (collemboles, acariens) ou discrètes (gastéropodes). Dans le cas des acariens, les entomologistes savent bien que ceux-ci sont très régulièrement observés, parfois en grand nombre, sur le corps des insectes (voir photo de bousier, figure 23), soit parce qu'ils sont parasites (ils se nourrissent de l'hémolymphe), soit phorétiques

(leur hôte constitue un micro-habitat et un moyen de déplacement). Il n’y a donc rien d’étonnant de retrouver des acariens dans le régime alimentaire des grands murins.

La littérature confirme que les proies du grand murin sont essentiellement des insectes terrestres de taille supérieure à 1 cm (Arthur et Lemaire, 2021; Dietz et al., 2009). Le comportement de chasse du grand murin est bien décrit dans la littérature, cette espèce est connue pour chasser au moins en partie à l’ouïe des insectes rampants de la pédofaune, notamment (essentiellement !) des carabes (genres *Abax* et *Pterostichus*) et en été des bousiers (*Aphodius*) et des Acrididés (criquets), qu’elle capture au sol (Arthur et Lemaire, 2021; Dietz et al., 2009). Les arachnides, hormis les acariens, sont des proies connues du grand murin (araignées glanées sur leur toile, opilions) d’après Arthur & Lemaire (2021), il n’est donc pas surprenant de les retrouver dans les analyses. La présence de Chilopodes pourrait provenir de proies de carabes mais aussi d’une prédation directe qui a déjà été documentée dans la littérature (Dietz et al., 2009) La méthode utilisée ici (analyses ADN de guano) ne permet hélas pas de trancher cette question avec certitude, mais nous pouvons élaborer des hypothèses sur base des éléments connus de l’écologie du grand murin.

Diversité du régime au sein des Arthropodes

En termes de diversité, on trouve de 1 à 16 (médianes de 6 à 10) taxons différents par échantillon récolté à Ethe contre 1 à 12 (médianes de 3 à 5) à Lontzen (tableau 7 et graphe 15).

Number of Arthropoda taxa per sample

	SITE	SAMPLID	1	2	3	4	5	6
1	Ethe	1	6	5	3	8	7	11
2	Ethe	2	10	10	13	9	1	8
3	Ethe	3	9	9	3	11	7	5
4	Ethe	4	5	7	4	8	14	7
5	Ethe	5	7	1	7	14	9	3
6	Ethe	6	6	12	11	9	13	5
7	Ethe	7	3	9	9	16	9	8
8	Ethe	8	2	10	2	10	13	4
9	Ethe	9	5	14	10	11	8	4
10	Ethe	10	12	8	7	10	4	8
11	Lontzen	1	1	7	3	1	4	3
12	Lontzen	2	1	1	2	6	6	5
13	Lontzen	3	5	7	1	5	4	4
14	Lontzen	4	0	2	4	5	2	3
15	Lontzen	5	4	6	4	4	5	6
16	Lontzen	6	2	2	5	12	6	5
17	Lontzen	7	9	5	6	3	5	1
18	Lontzen	8	2	4	4	8	2	4
19	Lontzen	9	2	2	3	8	8	5
20	Lontzen	10	1	3	1	1	4	2

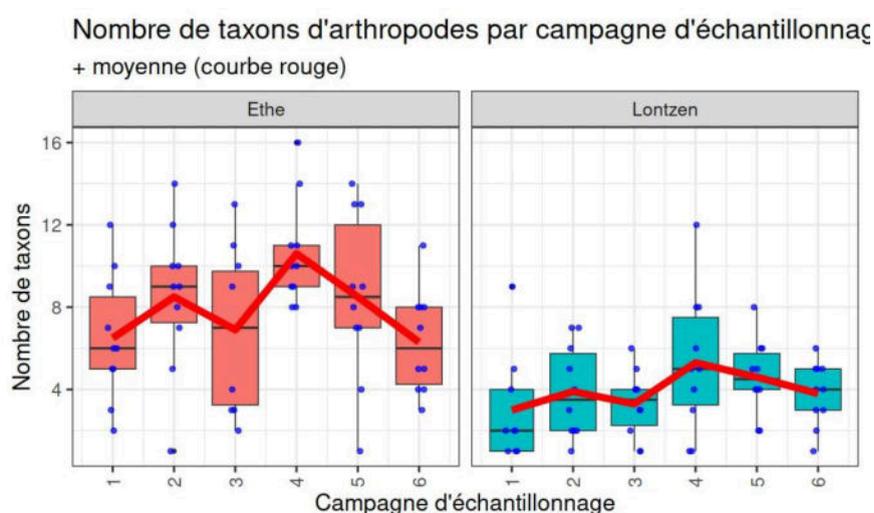


Tableau 7 : Nombre de taxons différents d’Arthropode par échantillon.

Graphe 15 : Distribution du nombre de taxons d’arthropodes dans les échantillons (n=10), par campagne d’échantillonnage (n=6).

L’analyse statistique ci-dessous (GLM, distribution Poisson. voir tableau 8) révèle une différence très hautement significative du nombre de taxons identifiés par échantillon entre les deux colonies, mais pas au cours de deux temps (campagnes d’échantillonnage successives).

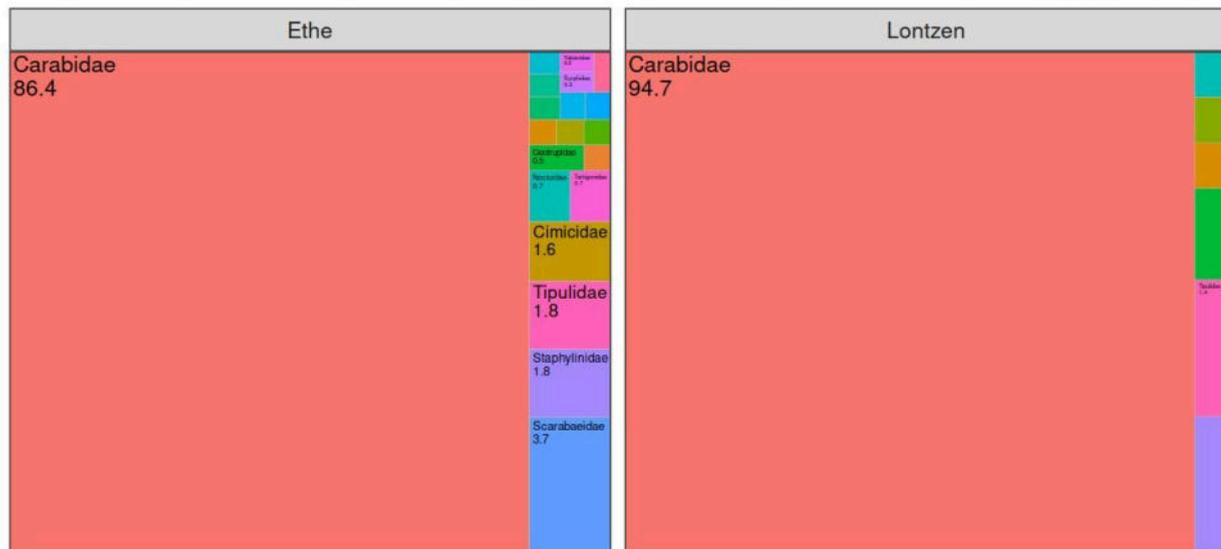
Effets fixes	Coefficient	p-valeur
SiteLontzen	-0.85	7.41e-06 ***
Campagne	0.01	0.716 N.S.
SiteLontzen:Campagne	0.05	0.321 N.S.

Tableau 8 : résumé des résultats de l’analyse de modèle linéaire généralisé (GLM): valeurs des coefficients des variables et statistique d’association à la réponse (nombre de taxons d’arthropodes par échantillon).

Analyse au niveau des familles

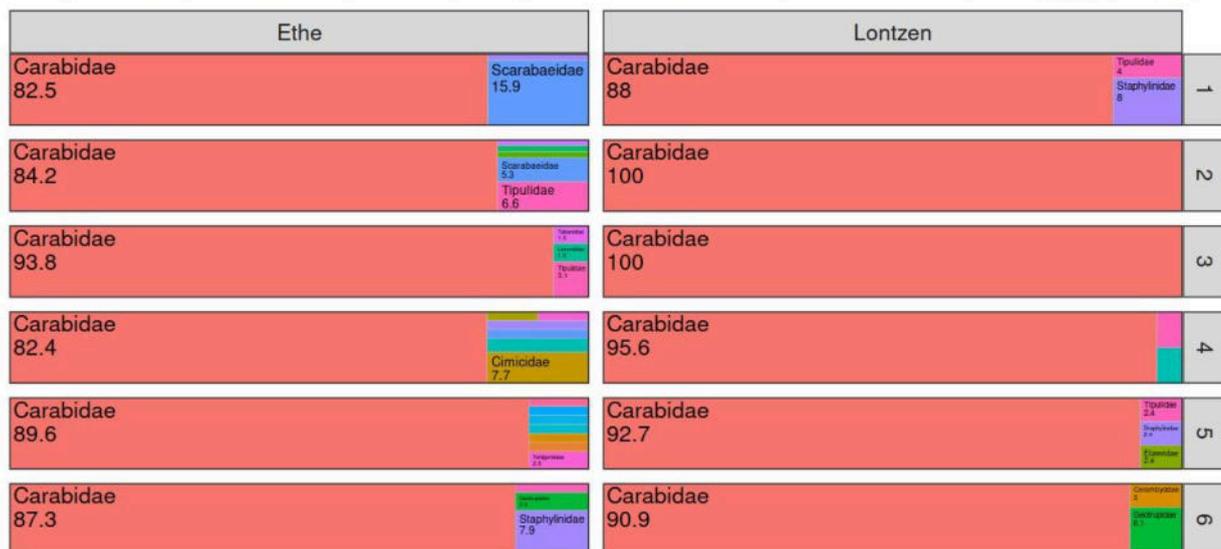
L'inspection des familles d'insectes et de leurs proportions relatives, par colonie et/ou par campagne de récolte, confirme encore plus les données de la littérature avec une dominance de carabes (graphes 16). On trouve ensuite des orthoptères et des géotrupes, tous deux cités par Arthur et Lemaire (2021) ou Dietz et al. (2009) comme constitutifs du cortège de proies de cette espèce. Les staphylins, divers lépidoptères (familles des *Noctuidae*, *Notodontidae*, *Tortricidae*, *Hepialidae*) et diptères (familles des *Tipulidae*, *Phoridae*, *Syrphidae*, *Limoniidae*, *Polleniidae*, *Tabanidae*) de notre liste sont aussi cités par ces auteurs comme proies connues.

Proportion d'échantillons dans lesquelles les familles d'insectes sont représentées



Graphes 16 : Proportions, par site (↑) et par campagne d'échantillonnage (↓), des familles d'insectes identifiées (voir annexe A pour la méthode de calcul des pourcentages).

Proportion d'échantillons dans lesquelles les familles d'insectes sont représentées



Le nombre de taxons d'insectes identifiés dans chaque échantillon est contrasté entre les deux colonies, comme déjà observé au rang supérieur des arthropodes. On trouve en moyenne 6.3 à 9.1 taxons par échantillon à Ethe contre 2.8 à 4.5 à Lontzen (non illustré graphiquement). Comme pour les arthropodes, ces valeurs sont plutôt stables entre les campagnes de récolte (pas de différence significative), avec toutefois un léger pic début juillet pour les deux sites, mais une différence très significative entre les sites (GLM, distribution Poisson : non détaillé ici car presque identique à l'analyse au rang du phylum des Arthropodes).



Figure 23 : Espèces d'insectes fréquemment mangées par les grands murins :

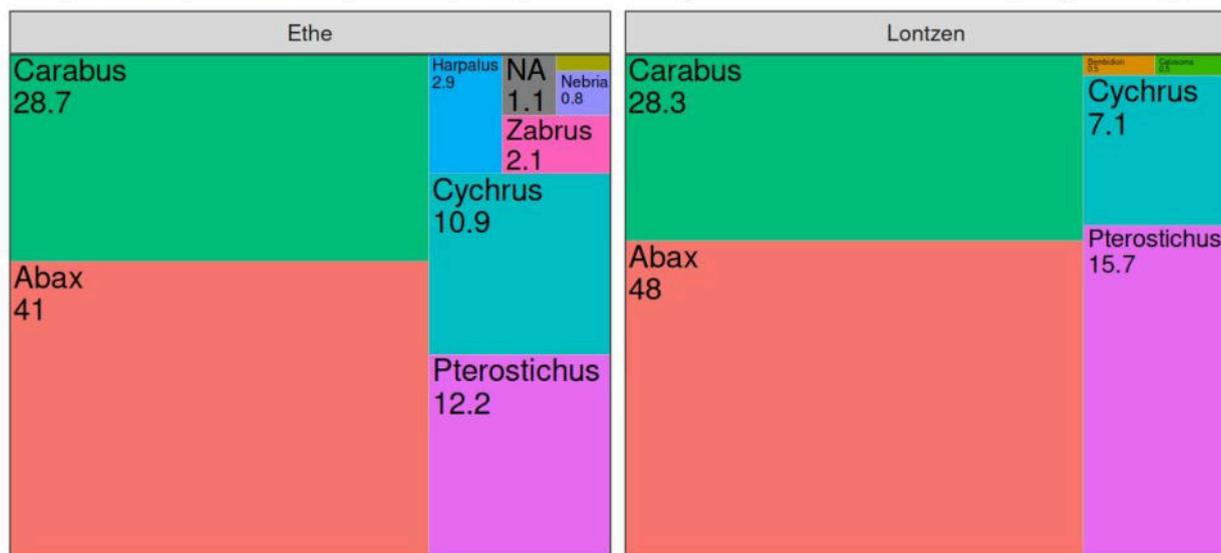
- carabes (images 1. *Abax parallelepipedus* et 4. *Pterostichus madidus*),
- autres coléoptères : géotrupe ou bousier (image 2. *Anoplotrupes stercorosus*), on voit que cet individu transporte des acariens, ce qui est une des explications à la présence d'acariens dans les résultats des analyses ADN, staphylin (image 5. *Ocyopus olens*), hanneton (image 7. *Serica brunnea*)
- sauterelle (image 3. *Barbitistes serricauda*), espèce qui vit dans les frondaisons des arbres feuillus
- tipule (image 6. *Tipula scripta*)

Analyse au sein de la famille des Carabidae

Pour resserrer encore l'angle d'analyse, on s'est ensuite focalisé sur les proies les plus communes : la famille des carabes.

Les deux genres les plus souvent identifiés sont *Abax*, genre comprenant 4 espèces en Belgique et principalement représenté par l'espèce *A. parallelepipedus* (synonyme *A. ater*), et *Carabus* qui compte une 15aine d'espèces en Belgique (25 en Suisse) dont plusieurs très communes. Les deux genres sont de taille moyenne à grande (15-30 mm), strictement forestières (*Abax*) ou d'habitats variés, prairies, forêts ou lisières (*Carabus*). Les autres genres les plus communs sont de taille moyenne à assez grande et très diversifiés en nombre d'espèces et préférences écologiques (*Pterostichus*, *Harpalus*). Le genre *Cychrus* est surtout représenté par *C. caraboides* (14-20 mm), qui est une espèce typiquement forestière et, dans une moindre mesure, par *C. attenuatus*, plus abondante en forêt de résineux. Le genre *Calosoma*, quoique peu représenté dans nos résultats, contient deux espèces de grande taille (15-28 mm et 21-35 mm) toutes deux strictement associées aux forêts de feuillus (graphe 16).

Proportion d'échantillons dans lesquelles les genres de carabes sont représentés



Grphe 16 : Proportions, par site (↑) et par campagne d'échantillonnage (↓), des genres de carabes identifiés (voir annexe A pour la méthode de calcul des pourcentages).

Proportion d'échantillons dans lesquelles les genres de carabes sont représentés



Ici encore, la correspondance entre les proportions globalisées par site et celles subdivisées par campagne de récolte est forte. Les genres *Abax* et *Carabus* sont les plus représentés avec deux exceptions, l'apparition de *Cychrus* en première ou seconde place, respectivement, à Lontzen (campagne 4, càd le 15/07) et à Ethe (campagne 6, càd le 16/08). Du côté acoustique, on voit également une fréquentation plus importante des peuplements résineux à ces dates pour certains couples de détecteurs (L2A-L2B, L8A-L8B en juillet, E2A-E2B, E3A-E3B en août).

Nombre de taxons de Carabidae

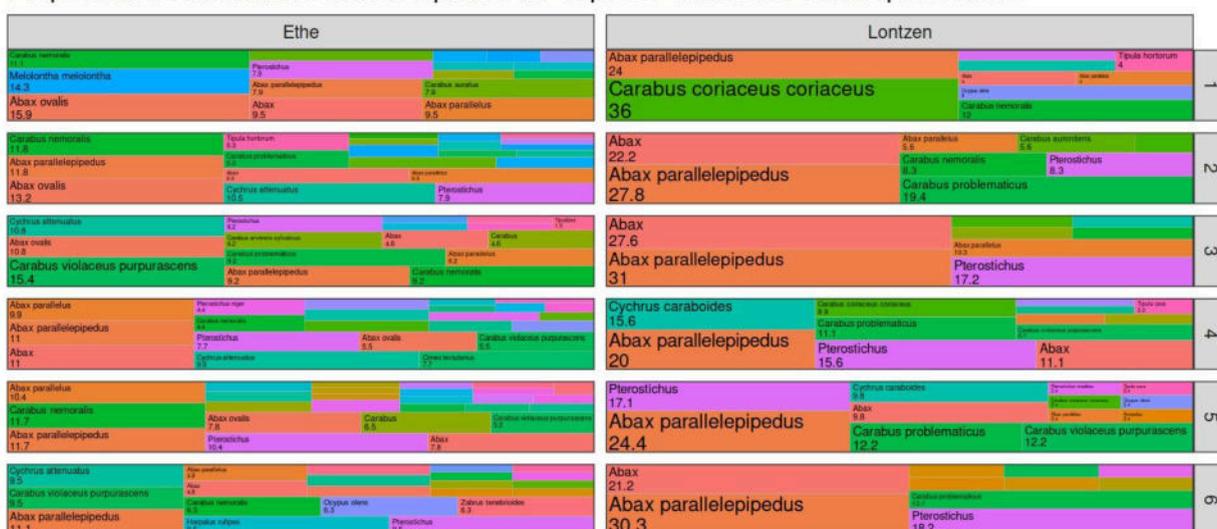
Au maximum de la précision d'identification, on obtient une espèce et parfois une sous-espèce, mais aussi dans certains cas seulement un genre. C'est le niveau taxonomique le plus fin qui nous permet de tenter une analyse des préférences écologiques des proies et d'en déduire potentiellement l'habitat de chasse des chauves-souris. Le nombre de taxons par campagne de récolte et par échantillon varie de 1 à 12 (tableau 9), avec un maximum de 12 à Ethe et 9 à Lontzen.

Number of Carabidae taxa per sample

SITE	SAMPLID	1	2	3	4	5	6	
1	Ethe	1	5	4	3	6	7	10
2	Ethe	2	8	8	12	5	1	7
3	Ethe	3	8	7	3	6	7	5
4	Ethe	4	5	5	3	7	9	6
5	Ethe	5	6	1	7	9	9	3
6	Ethe	6	5	7	9	7	11	5
7	Ethe	7	1	7	7	11	7	7
8	Ethe	8	1	7	2	9	7	2
9	Ethe	9	4	12	9	8	7	4
10	Ethe	10	9	6	6	7	4	6
11	Lontzen	1	1	6	3	1	3	3
12	Lontzen	2	1	1	2	5	6	2
13	Lontzen	3	4	6	0	3	3	3
14	Lontzen	4	0	2	4	5	2	2
15	Lontzen	5	3	5	3	3	4	6
16	Lontzen	6	2	2	4	9	5	4
17	Lontzen	7	6	5	6	3	4	1
18	Lontzen	8	2	4	3	8	2	3
19	Lontzen	9	2	2	3	5	5	4
20	Lontzen	10	1	3	1	1	4	2

Tableau 9 : Nombre de taxons spécifiques (ou autre meilleur niveau taxonomique) identifiés par échantillon (lignes) et par campagne de récolte (colonnes).

Proportion d'échantillons dans lesquelles les espèces d'insectes sont représentées



Graph 17 : Proportions, par site et par échantillon, des espèces (ou autre meilleur taxon) d'insectes identifiés (voir annexe A pour la méthode de calcul des pourcentages).

Les espèces identifiées et leurs proportions par campagne et par site sont visiblement assez variables entre les sites et cours du temps (Graphe 17). Les différences sont toutefois assez faibles et il faut garder à l'esprit que l'aspect quantitatif des analyses metabarcoding est limité. L'interprétation écologique des proies consommées fait l'objet de la section suivante.

5.5.4 Analyse des paramètres écologiques associés aux espèces du régime alimentaire

Nous avons attribué aux espèces de carabes des traits écologiques issus de la littérature (Klaiber et al., 2017) afin d'exprimer chacun des échantillons sur base de ces traits écologiques. Les variables disponibles sont, d'une part, les habitats préférentiels définis selon deux niveaux de précision :

- (a) un premier niveau comprenant 8 types (Rives et zones humides; Sites particuliers; Prairies; Zones de transition; Forêts; Végétation pionnière; Cultures; Bâti et immobilier
- (b) 3 ou 4 sous-types pour chacun des types de (a).

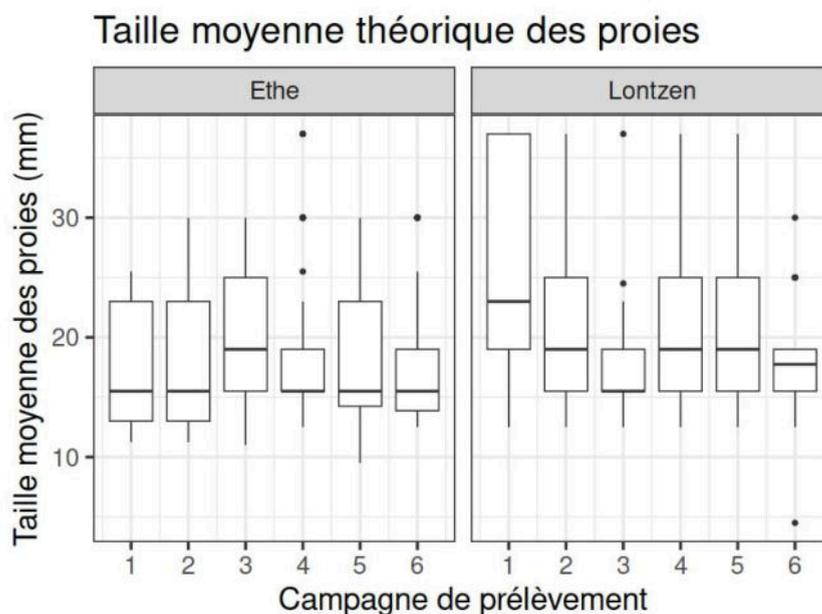
Les autres variables sont la taille minimale et maximale (dont on a calculé la valeur moyenne par facilité de représentation ci-dessous).

Taille moyenne des carabes consommés

On a identifié, conformément aux connaissances de la littérature, que la famille des Carabidae était la ressource alimentaire majeure des grands murins. Pour aller plus loin dans la caractérisation de cette ressource nutritive comparativement entre les colonies et entre les périodes d'échantillonnage, on a calculé une valeur moyenne de la taille de ces proies en fonction de la représentation des différentes espèces par échantillon (tableau 10).

SITE	1	2	3	4	5	6
Ethe	17.5	17.8	19.9	18.1	18.0	17.9
Lontzen	26.2	19.8	17.4	20.4	19.8	17.5

Tableau 10 : Longueur (en mm) moyenne des Carabidae, pondérée par l'abondance relative de chaque taxon par campagne d'échantillonnage.



Graphe 18 : Taille moyenne des proies calculée sur base de la taille moyenne pondérée par la représentation de l'espèce de carabes (Nombre d'échantillons avec présence de l'espèce / 10 échantillons) et de la longueur du corps renseigné dans la littérature.

En moyenne, les proies de Ethe sont plus petites que celles de Lontzen (GLM, distribution Poisson. tableau 11), et ce de manière très significative. S'il n'y a pas d'effet global de la période d'échantillonnage, un effet différent s'observe entre les sites (interaction Site:Campagne significative).

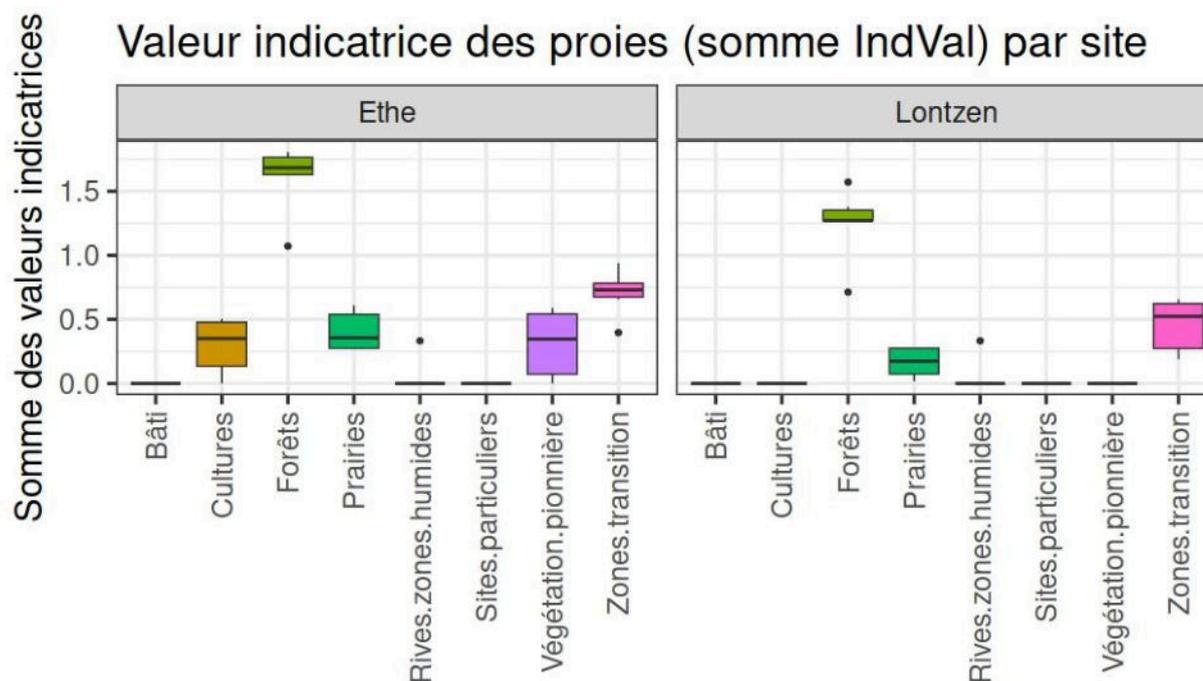
Effets fixes	Coefficient	p-valeur
SiteLontzen	0.26	3.00e-08 ***
Campagne	0.01	0.885
SiteLontzen:Campagne	-0.05	7.46e-05 ***

Tableau 11 : Résumé des résultats de l'analyse de modèle linéaire généralisé (GLM) : valeurs des coefficients des variables et statistique d'association à la réponse (taille moyenne des proies).

Préférences écologiques des carabes consommés

On a ensuite attribué l'indice d'association des espèces avec des catégories d'habitats renseignés dans la littérature (Klaiber et al., 2017). La valeur utilisée est l'indice IndVal (Dufrêne et Legendre, 1997) qui exprime un niveau d'association entre une espèce et les habitats où on la rencontre. On a donc additionné les indices IndVal, propres aux espèces de carabes pour obtenir une valeur pondérée par les proportions de présence par échantillon (graphe 19).

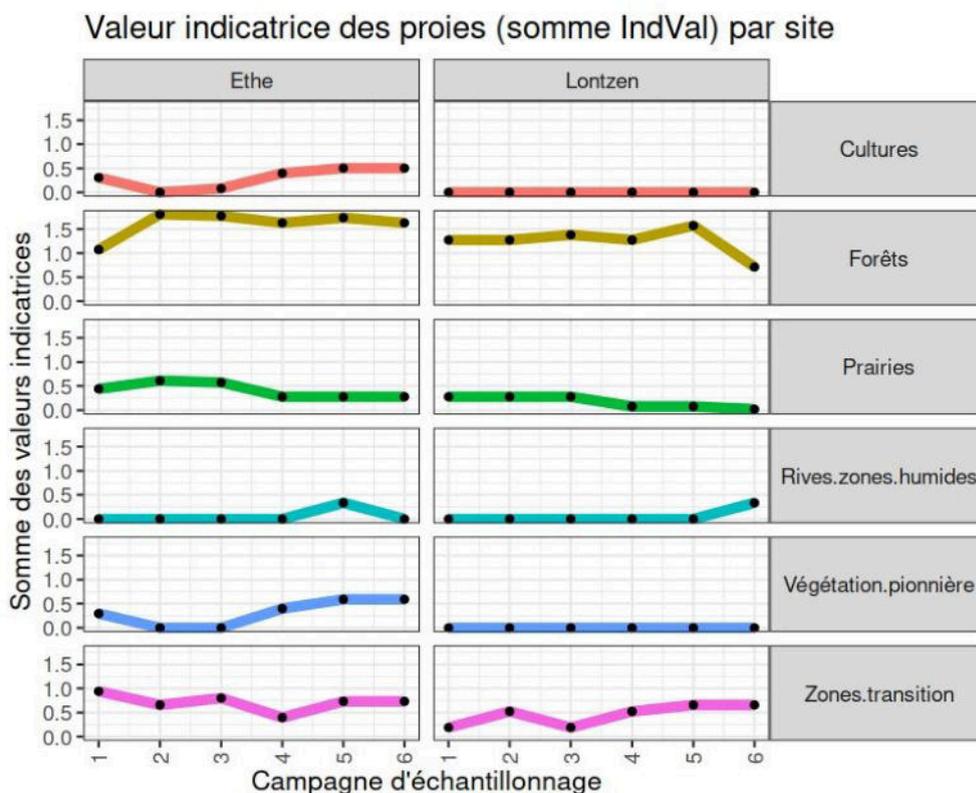
Pour les deux colonies de grand murin, les habitats des proies les plus représentés sont les forêts et les habitats de transition (e.a. lisières) avec toutefois une proportion plus élevée des habitats ouverts (cultures, prairies et végétation pionnière) à Ethe, suggérant une activité de chasse, soit en milieu ouvert, soit en clairière et layons forestiers.



Grphe 19 : Interprétation des habitats dans lesquels les grands murins ont prélevé leurs proies (Carabidae uniquement).

L'évolution de la fréquentation déduite des différents habitats suggère que l'usage des zones forestières comme site de chasse est plutôt constant, alors que des évolutions sensibles s'observent tant pour les milieux ouverts que les habitats de transition (fourrés et lisières). Pour les deux sites, les habitats prairiaux seraient plus utilisés durant la première moitié de la période étudiée que la seconde, alors qu'à Ethe, la part de proies associées aux cultures et à la végétation pionnière augmente nettement en seconde moitié de cette période (graphe 20). Nous n'avons pas tenté d'appliquer de tests statistiques à ces valeurs car elles reposent sur de l'interprétation de l'écologie d'un

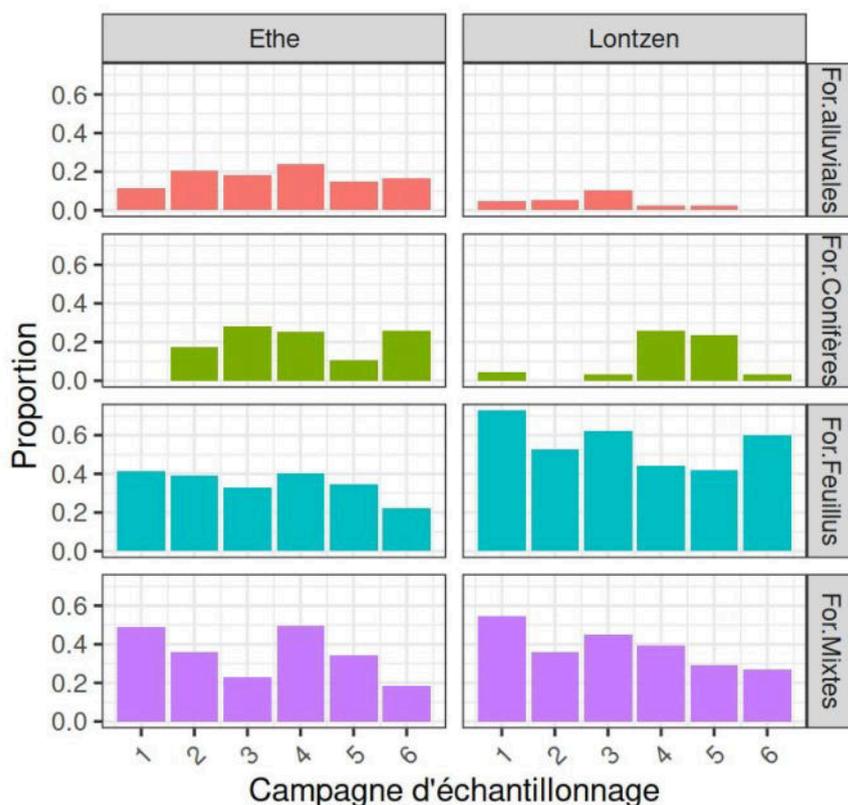
nombre d'espèces assez réduit (les taxons identifiés au niveau du genre n'étant pas exploitables). De plus, les catégories d'habitats regroupent parfois plusieurs sous-types rendant l'interprétation difficile.



Graph 20 : idem graphe précédent. Les valeurs sont différenciées par campagne d'échantillonnage.

Lorsque l'on s'intéresse aux préférences d'habitat des carabes, uniquement pour les habitats forestiers, on retrouve cette tendance à une plus grande proportion de proies associées aux résineux pour le site de Ethe par rapport à Lontzen, surtout lors des campagnes d'échantillonnage 2, 3 et 6 (graphe 21). Il faut toutefois noter la part importante de proies réputées associées aux forêts mixtes, qui pourraient donc très bien avoir été chassées tant en peuplements feuillus qu'en résineux ! La part de proies associée aux feuillus semble aussi témoigner d'une diminution progressive au cours du temps, et ce pour les deux sites. Plusieurs espèces, notamment parmi les plus communes, sont peu associées à un habitat particulier (espèces dites "eurytopiques"), c'est notamment le cas de *Abax parallelepipedus* et *Cychrus attenuatus* qui relèvent des forêts alluviales ainsi que, respectivement des forêts de feuillus et des forêts de résineux.

Toutes ces interprétations doivent cependant être envisagées avec précaution. En effet, la majorité des espèces de carabes les plus communs dans nos échantillons ont des écologies eurytopiques très plastiques. Selon la référence bibliographique utilisée, une même espèce sera tantôt considérée comme associée aux forêts de feuillus, tantôt indifférente au type de peuplement. Les données présentées dans nos analyses proviennent de Klaiber et al. (2017), donc une référence suisse mais récente. Lorsque l'on compare les préférences écologiques dans l'ouvrage de Lindroth (1985) valable pour la scandinavie et le Danemark, des divergences apparaissent, que ce soit à propos des types de peuplements forestiers mais aussi parfois des grandes catégories d'habitat (milieu ouvert, milieu forestier, urbanisé, etc.). Il est donc préférable de garder en mémoire que les proies des grands murins sont essentiellement des espèces forestières, voire ubiquistes, et qu'il est hasardeux de les associer strictement à un type de peuplement.



Graph 21 : Proportions des types d'habitats forestiers déduites des préférences écologiques des proies, selon Klaiber et al. (2017). Chaque valeur est la moyenne des présence (=1) ou absence (=0) des espèces de carabes.

6 Discussion et synthèse

Les résultats obtenus et détaillés plus haut sont maintenant discutés au regard des 5 questions de recherche à la base de cette étude.

6.1 Les grands murins sélectionnent-ils positivement les pessières au détriment des autres peuplements forestiers pour chasser ?

L'analyse statistique des données acoustiques a permis de montrer que l'activité du grand murin est significativement plus élevée dans les peuplements résineux que dans les peuplements feuillus. Il s'agit d'un effet global qui considère aussi bien la région de Lontzen que d'Ethe. Cependant, cette dernière influence probablement les résultats de manière plus importante. En effet, les grands murins y ont été enregistrés de manière plus abondante, préférentiellement au sein de peuplements résineux. Précisons que ce résultat concerne des peuplements d'un certain âge, sans strate arbustive importante. Ni les jeunes stades forestiers, ni les peuplements gérés en futaie irrégulière avec sous-étage dense n'ont été considérés dans cette étude, car ils sont a priori peu attractifs pour l'espèce selon la littérature.

La sélection préférentielle des résineux dans les régions de Ethe et Lontzen avait déjà été suggérée par Nyssen et al. (2023) via la pose de balises GPS sur le dos de femelles. Les données GPS avaient montré que certaines femelles sélectionnent et chassent longuement dans de petites plantations résineuses. À Ethe, ces plantations

résineuses étaient entourées de forêts feuillues, alors que l'offre en peuplements feuillus dans la région est largement plus importante que l'offre en plantations de résineux.

La sélection préférentielle des résineux par rapport aux feuillus apparaît de manière localisée, aussi bien spatialement que temporellement. Concernant l'aspect spatial, la corrélation semble surtout résulter d'un nombre réduit de peuplements résineux caractérisés par une activité nettement plus forte que leur binôme feuillu, singulièrement E2 (paire fixe), E3 et E8 (paires mobiles). Concernant l'aspect temporel, l'analyse statistique par périodes de 14 nuits met en évidence une sélection plus importante des résineux uniquement à Ethe, de la mi-juin à début juillet et de la mi-août à la fin de ce mois. C'est justement début juillet, en 2023, que l'étude GPS avait été menée (Nyssen et al., 2023). Les données suggèrent donc qu'en beaucoup d'endroits, ce n'est pas le caractère feuillu ou résineux du peuplement qui oriente principalement la sélection des habitats de chasse du grand murin. Nous y reviendrons à la fin de cette section.

Une explication possible de la différence apparente d'attractivité des résineux entre la région de Ethe et celle de Lontzen est la grande différence de disponibilité de cet habitat dans les deux régions. À Ethe, les peuplements résineux sont relativement rares. Par conséquent, on peut s'attendre à retrouver une plus grande concentration des grands murins dans ces petits "patches" résineux durant les périodes où cet habitat est attractif pour eux. À l'inverse, les peuplements résineux couvrent des milliers d'hectares dans l'Hertogenwald, si bien que les grands murins de cette région pourraient y être "dilués", et cette dilution, qui se traduit par un niveau d'activité mesuré plus faible, masquerait une éventuelle sélection préférentielle de cet habitat.

Les autres facteurs environnementaux qui expliquent les différences de niveaux d'activité des grands murins sur l'ensemble des sites étudiés sont la hauteur moyenne des arbres (significatif dans les deux modèles), la densité du couvert arboré (significatif dans un modèle) et la distance aux routes (significatif dans un modèle). La hauteur moyenne des arbres ainsi que la densité du couvert arboré ont un effet positif sur l'activité du grand murin. Par ailleurs, l'activité est proportionnelle à la distance aux routes. Il faut toujours être prudent quant à l'interprétation d'effets de variables paysagères car elles sont souvent corrélées spatialement. Toutefois, aucune haute corrélation ($r > 0.7$) n'a été mise en évidence dans ce cas. On peut dès lors considérer que l'effet de ces variables paysagères n'est pas le reflet d'autres variables cachées. L'effet positif de la hauteur (ou indirectement de l'âge) des peuplements est déjà renseigné dans la littérature (Rauchenstein et al., 2022; Güttinger, 1997; Godeau et Nyssen, 2023) de même que celui de la distance aux routes (Flipo, 2018).

6.2 Les grands murins chassent-ils en pessières tout au long de la saison ?

À Ethe, les pessières sont utilisées par le grand murin toute la saison, mais le niveau d'activité n'y est significativement plus élevé que dans les feuillus qu'à deux périodes : du 18/06 au 02/07 et du 13/08 au 27/08. À Lontzen, aucun effet significatif de la saison n'apparaît. On notera par ailleurs que l'activité dans les résineux y est faible (< 10 contacts par nuit) et plutôt irrégulière, avec, sur plusieurs sites, des périodes de plusieurs nuits consécutives sans un seul contact.

Il est tentant de chercher à faire des liens avec les résultats des analyses du guano sur ces deux périodes, pour voir si un éventuel "signal" des peuplements résineux y est perceptible. Malheureusement, aucune récolte n'a été réalisée durant la première période, mais la campagne de récolte 3 (11/06 à Ethe) nous semble pertinente pour la comparaison. Pour la deuxième période, nous disposons de la récolte 6 (16/08 à Ethe). En termes de diversité des proies, ces deux périodes montrent une plus faible diversité à la colonie de Ethe, mais les différences sont moins claires à Lontzen. Si l'on s'intéresse aux proportions des types d'habitats forestiers déduites des préférences écologiques des proies, la proportion de proies inféodées aux résineux montre deux pics à Ethe, également pour les récoltes 3 et 6, qui correspondent donc plus ou moins aux deux périodes durant lesquelles les résineux sont plus fréquentés que les feuillus. De nouveau, le pattern à la colonie de Lontzen est lui très différent. On voit donc que des liens apparaissent à Ethe : les périodes de plus forte activité dans les peuplements résineux par rapport à leurs binômes feuillus correspondent à une diversité de proie plus faible et à un pourcentage d'occurrence plus élevé des taxons typiques des résineux.

6.3 Quelle est l'offre en peuplements forestiers autour des colonies de grands murins étudiés ?

L'analyse statistique de l'activité des grands murins mesurée au niveau des peuplements forestiers proches des deux colonies étudiées a permis de mettre en évidence les variables environnementales qui influencent significativement (et positivement) cette activité : la densité de la couverture forestière, le caractère résineux du peuplement, la hauteur des arbres. Ce sont donc ces mêmes variables qui ont été analysées et représentées graphiquement (voir cartes de la section 5.4) dans un rayon de 15 km autour des colonies. Cette aire de rayon de 15 km a été choisie car elle correspond à la zone dans laquelle la plupart des sites de chasse des grands murins se trouvent.

À Lontzen, la localisation des massifs forestiers se trouve principalement dans le quart sud-est, ce qui correspond à l'Hertogenwald et au plateau des Hautes-Fagnes entre Eupen et la frontière allemande. Une autre zone forestière de taille moyenne se trouve au N et NE de la colonie, entre Kelmis et Aachen. Dans toutes les autres directions, les paysages rencontrés sont principalement des zones bocagères et des villages, avec l'un ou l'autre grand plan d'eau tel que le barrage d'Eupen. Quelle que soit la direction empruntée par les individus de Lontzen, ils doivent voler quelques km (de l'ordre 5 à 6 km) en zone (partiellement) ouverte avant de rejoindre un massif forestier de grande taille. À Ethe, les forêts sont un peu plus morcelées, mais surtout présentes côté nord, où elles sont situées tout près de la colonie. En volant moins d'un kilomètre au sortir de leur gîte, les individus de Ethe peuvent être en forêt. Le reste du paysage est constitué de milieux ouverts (prairies et des cultures), mais aussi de zones sableuses et des zones humides en fond de vallée.

Une autre différence fondamentale entre les deux colonies étudiées est la proportion de peuplements résineux, bien plus importante à Lontzen qu'à Ethe. Les gros massifs forestiers du plateau des Hautes Fagnes présentent un taux d'enrésinement élevé (jusqu'à 80 % dans certaines zones), de même que certains petits boisements connexes au pays de Herve. Par contre, à Ethe, les zones boisées comptent quasi toutes moins de 25 % de résineux. Le faciès des peuplements forestiers est donc très différent à proximité des deux colonies étudiées.

Quant à la hauteur moyenne de la végétation arborée, elle traduit assez clairement une présence plus grande de massifs forestiers et semble donc assez corrélée à la densité de la couverture forestière. Pour Lontzen, les valeurs les plus élevées se trouvent à l'est-sud-est de la colonie. À Ethe, les hauteurs sont plus distribuées en mosaïque, principalement dans le secteur nord.

On peut donc conclure que l'offre en massifs forestiers n'est pas du tout homogène autour des colonies de grands murins étudiés. Nous verrons dans la section suivante (6.4) que l'offre en peuplements forestiers détermine les axes de vol des grands murins et guide le choix des zones de chasse des grands murins.

6.4 Pourquoi les grands murins équipés de balises GPS dans les colonies de Lontzen et Ethe adoptent-ils globalement un même azimut vers leurs terrains de chasse respectifs ?

L'analyse des données acoustiques a montré que l'activité des grands murins est en moyenne plus forte dans les résineux que dans les feuillus, et est positivement corrélée à la hauteur des arbres et à la densité forestière. On peut donc se poser la question suivante : au départ de la colonie de Lontzen ou de celle de Ethe, y a-t-il une direction préférentielle pour rejoindre les habitats qui répondent le mieux à ces critères ? Ou ces habitats sont-ils distribués de manière homogène tout autour de ces deux colonies ?

Avant toute chose, il convient de garder une petite réserve lors de l'analyse des azimuts empruntés par les chauves-souris. Il faut d'abord se rappeler que seuls 9 individus ont été suivis par une balise GPS et sur quelques nuits uniquement. Les données GPS enregistrent les localisations avec un pas de temps assez large en cours de nuit, donnant une vision certes claire en matière de direction générale mais malgré tout assez grossière sur les

trajets réellement effectués. Enfin, les données de télémétrie active (suivi des émetteurs VHF en temps réel) en 2023 ont également mis en évidence quelques directions de déplacement différentes de celles illustrées par les balises GPS récupérées, notamment pour des individus pour lesquels les balises (et les données) GPS n'ont pas pu être récupérées.

L'analyse cartographique montre que l'orientation sud-est des azimuts constatés à Lontzen correspond parfaitement à la région où se trouvent les grands massifs forestiers. Les paires de peuplements L2 et L4, qui sont exactement dans la même direction SE que les données des balises GPS comptent d'ailleurs parmi les sites d'échantillonnage acoustique qui présentent la plus grande activité de grand murin. Pour Ethe, la répartition des massifs forestiers est plus disparate, même s'ils sont globalement plus présents dans la moitié nord que dans la moitié sud. Les grands murins équipés d'une balise GPS ont suivi un azimut vers le nord-est, ce qui correspond à une des zones qui montrent une densité de la couverture forestière les plus importantes. Les paires de peuplements E2 et E3, situés dans le même axe montrent également une présence du grand murin relativement importante. Il semble donc assez clair que les grands murins aiment aller chasser dans des zones où la densité forestière est importante. D'ailleurs, la troisième paire de peuplements qui présente une activité importante de grand murin à Ethe est la paire E8, située au NO de la colonie, dans une zone avec une densité forestière importante également, même si elle est située dans un azimut différent de celui identifié en 2023. Il convient de garder en tête qu'il n'est pas impossible qu'une activité de chasse dans un peuplement soit le fait d'individus mâles (satellites aux colonies de femelles) ou d'individus provenant d'une autre colonie proche. Toujours est-il que les grands murins semblent préférer des grands massifs forestiers à des petits boisements isolés dans une matrice paysagère ouverte. Une dernière constatation confirme cette affirmation : la paire de peuplements forestiers L9 échantillonnée à Lontzen, située dans le grand massif boisé entre Kelmis et Aachen, au nord de la colonie, a également mis en évidence une activité assez importante de grand murin pour le peuplement résineux. Il n'est toutefois pas à exclure que celles-ci proviennent d'individus de la colonie de Gemmenich par exemple, située au nord de celle de Lontzen, ce qui pourrait expliquer l'absence de données GPS dans cette direction en 2023.

Même si, dans le cas d'une analyse macro basée sur des mailles, la hauteur moyenne des arbres semble surtout traduire la présence de forêts, on constate qu'à Lontzen, la direction dominante de vol des individus pistés en 2023 correspond assez clairement aux secteurs qui comptent beaucoup d'arbres de grande taille. À Ethe également, les azimuts suivis par les grands murins en 2023 concordent avec des secteurs où la hauteur moyenne des arbres est plus élevée.

Il en va de même pour la densité en peuplement résineux qui est en partie corrélée à la présence de forêts : là où il y a plus des forêts, il y a aussi plus de résineux. Les grands murins pistés s'orientent vers les secteurs où la densité en peuplement forestier et en peuplement résineux est la plus élevée. Ceci est étayé à la fois par les données des balises GPS en 2023 et par les données acoustiques en 2024.

L'analyse visuelle des conditions macro sur base des cartes montre que les grands murins pistés se sont orientés nettement vers les forêts matures (hautes) et à forte proportion de résineux. Les autres sites qui présentent des caractéristiques similaires à Ethe et Lontzen (massif plus réduit au N-NE de Lontzen et tout le secteur NO à Ethe) et qui n'avaient pas été mis en évidence par les données de balise GPS montrent par contre une activité importante de grand murin dans les enregistrements acoustiques en 2024.

La réponse à la question posée semble se dessiner assez clairement : les grands murins équipés de balises GPS dans les colonies de Lontzen et Ethe adoptent globalement un même azimut vers leurs terrains de chasse respectifs parce que c'est principalement dans cette direction que se trouvent leurs terrains de chasse préférés, à savoir des forêts matures. Trois paramètres semblent les attirer : une densité forestière élevée, des arbres de grande taille et une proposition de peuplement résineux importante. Il n'est toutefois pas possible dans cette analyse cartographique de distinguer clairement les effets de ces 3 paramètres car ils sont corrélés spatialement. Cependant, les azimuts choisis permettent visiblement aux individus d'atteindre des habitats caractérisés par des valeurs élevées sur ces trois paramètres, ce qui correspond complètement aux résultats des analyses statistiques sur les données acoustiques et à la littérature (voir chapitre 2). Il existe d'autres azimuts qui permettraient aux individus d'atteindre des habitats aux caractéristiques similaires, et ces forêts semblent en effet exploitées par des grands murins (qu'ils soient issus de cette colonie ou d'ailleurs).

6.5 Quel est le régime alimentaire des grands murins et comment évolue-t-il en cours de saison ? L'écologie des proies consommées est-elle liée à un type de peuplement forestier particulier ?

Nous avons voulu déterminer le régime alimentaire du grand murin, au niveau de deux colonies établies dans des contextes géographiques et environnementaux différents par une approche directe, l'analyse du guano par metabarcoding, et indirecte, la mesure de l'activité en forêt par inventaire.

On sait par ailleurs, sur base de notre étude préalable des déplacements (Nyssen et al., 2023), que plusieurs individus chassaient activement en forêt résineuse, parcouraient plus de 10 km pour s'y rendre et pouvaient y revenir plusieurs nuits d'affilée.

Les données acoustiques confirment une activité récurrente dans les forêts de résineux avec une préférence confirmée par rapport aux feuillus pour la région de Ethe et pas de préférence pour celle de Lontzen.

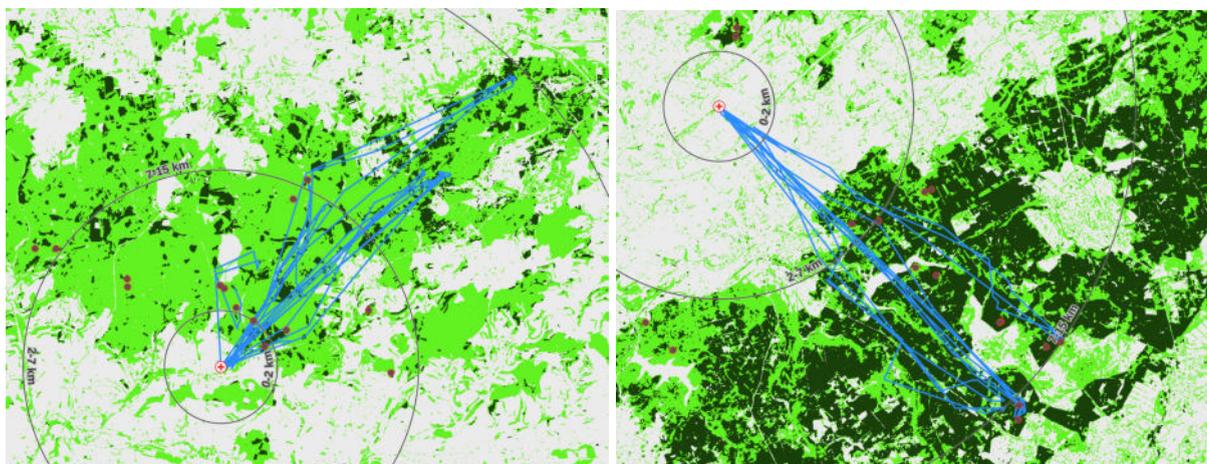
Selon l'analyse ADN de guano :

- Le régime alimentaire correspond très bien avec ce qu'en dit la littérature : prépondérance des insectes (plus de 80 % des taxons identifiés) et au sein des insectes, la famille des Carabidae représente globalement 85 à 95 % des occurrences de taxons. On retrouve aussi d'autres proies annexes : le staphylin *Ocypus olens* ainsi que des bousiers de manière régulière mais jamais dominante ; des hannetons connus pour apparaître par vague d'émergence en fin de printemps ; et aussi quelques orthoptères, papillons de nuit, diptères. Les proies sont essentiellement forestières, actives au crépuscule ou nocturnes.
- Les Carabidae principaux du régime alimentaires sont presque tous peu spécialisés écologiquement (information parfois assez discordante selon les références utilisées).
- La diversité dans le régime alimentaire plus grande à Ethe qu'à Lontzen.
- Les proies sont légèrement plus petites à Ethe qu'à Lontzen.

Il est aussi important de rappeler que le guano provient d'une colonie de reproduction, donc majoritairement de femelles gravides (campagnes 1, 2 et 3), puis allaitantes (campagnes 4 et 5) puis de femelles et de juvéniles sevrés (campagne 6).

Le guano provient donc d'individus qui ont un besoin vital de ressources énergétiques satisfaisantes. De plus, rappelons le contexte météorologique du printemps et de l'été 2024 qui a été majoritairement très pluvieux et souvent plus froid que les moyennes saisonnières. On peut dès lors poser l'hypothèse que le contenu du guano traduit des contraintes de rentabilité énergétique (théorie d'"optimal foraging" en écologie, Begon et al., 1996), ce qui ne serait probablement pas -autant- le cas pour des mâles isolés. Pour l'activité de chasse mesurée par les détecteurs acoustiques par contre, on ne sait pas s'il s'agit de mâles, de femelles ou de juvéniles en fin de saison.

Les cartes 14 et le tableau 12 illustrent les données factuelles en notre possession.



Cartes 14 : Synthèse cartographique des types de peuplements forestiers autour des colonies de Ethe et Lontzen (feuillus en vert clair, résineux en vert foncé) et les trajectoires de vol des grands murins issus de Nyssen et al. (2023) (bleu clair).

À Ethe (carte 14 - gauche) la colonie est proche des massifs forestiers, lesquels sont essentiellement composés d'essences feuillues. À l'inverse, à Lontzen (carte 14 - droite) les principaux massifs forestiers sont majoritairement résineux et les chauves-souris doivent parcourir plus de 5 km en milieu ouvert pour les atteindre.

Éléments factuels	Ethe	Lontzen
Distance supposée colonie-sites de chasse sur base de la télémétrie (voir cartes 14)	min : < 1 km max : ~15 km	min : > 5 km max : ~15 km
Sélection positive des pessières (données acoustiques)	forte	neutre
Proportion de résineux dans l'environnement forestier (voir carte 14)	faible	forte
Diversité des proies dans le régime alimentaire	+	-
Taille moyenne des proies dans le régime alimentaire	-	+

Tableau 12 : Synthèse des éléments factuels mis en évidence dans cette étude qui permettent de comprendre les liens possibles entre la sélection des habitats, les niveaux d'activité, et le régime alimentaire des grands murins autour de Ethe et Lontzen.

Sur base des contraintes impérieuses d'apport énergétique, on devrait s'attendre à ce que (Begon et al., 1996) :

- les femelles minimisent leurs déplacements
- les femelles exploitent les ressources les plus rentables énergétiquement, c'est-à-dire les plus faciles à trouver et capturer (minimisation du "handling time") et les plus caloriques (et éventuellement non toxiques).

Or on observe des habitudes de chasse en peuplement résineux, voire une sélection positive des forêts résineuses mais pour des proies qui ne sont pas strictement associées à ces peuplements. Selon Klaiber et al. (2017), certaines espèces de carabes pourraient avoir des préférences écologiques pour les résineux, mais une majorité y seraient indifférentes ou seraient associées aux feuillus. Selon Lindroth (1985), les espèces forestières sont à peu près toutes généralistes. Les proies les plus fréquemment trouvées dans le guano sont largement identiques pour les deux sites, avec toutefois un peu plus de grosses espèces (genre *Carabus*) à Lontzen, qui ne sont pas particulièrement associées à un certain type de peuplement.

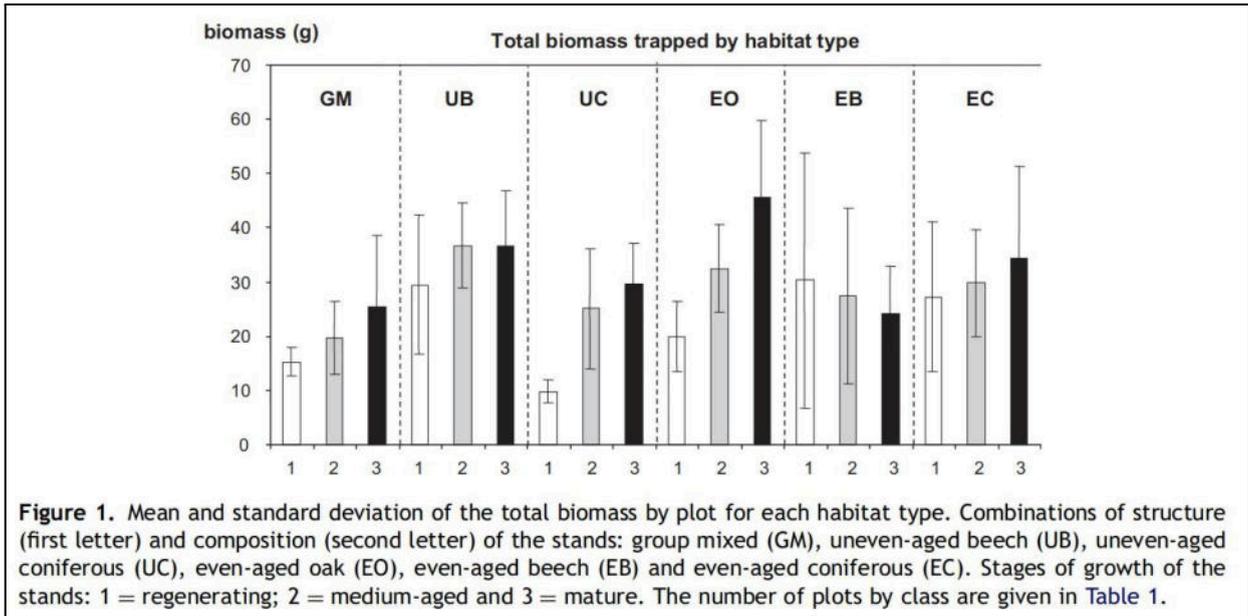
Conclusion 1 : Les grands murins ne sélectionnent visiblement pas les habitats à la recherche d'espèces particulières de carabes.

Conclusion 2 : Lorsque les grands murins doivent voler plus loin et que la diversité d'habitats est moindre (Lontzen) ils capturent des proies plus grosses et moins diversifiées.

Conclusion 3 : Les grands murins sélectionnent positivement des forêts d'âge moyen ou matures de résineux, de manière très nette à Ethe et neutre à Lontzen. Dans le cas de Ethe, ces peuplements sont dispersés dans les feuillus, ce qui concentrerait leur attractivité par rapport aux feuillus (voir section 6.1).

Conclusion 4 : Les grands murins chassent également en forêt feuillue, conformément aux données de la littérature. En effet, on a détecté la présence du grand murin par les inventaires acoustiques et on a aussi trouvé des proies dans le guano qui sont, soit associées aux forêts (tous types de peuplements), soit associées aux feuillus selon Klaiber et al. (2017).

Ces conclusions confirment nos premières observations de 2023 et continuent d'interroger les habituels fondements de la littérature qui associe cette espèce aux forêts feuillues diversifiées en structure et en composition (Arthur et Lemaire, 2021; Dietz et al., 2009). Nos résultats n'infirment pas pour autant la littérature mais relativisent l'idée générale selon laquelle les forêts de résineux sont des "déserts biologiques". Une étude sur les macroinvertébrés de la pédofaune forestière Pontégnie et al. (2005) montrait déjà que la biomasse des forêts matures de résineux peut être comparable à celle observée en feuillus, plus faible que dans une chênaie mais plus élevée que dans une hêtraie comme indiqué sur le graphe 22.



Graphe 22 : Moyenne et écart-type de la biomasse totale par parcelle pour chaque type d'habitat, d'après Pontégnie et al. (2005). Comparez la biomasse entre les peuplements résineux (EC) et les peuplements de hêtres (EB).

Si la quantité de nourriture est effectivement comparable à ce qui est rencontré dans les forêts feuillues, une hypothèse explicative pourrait être la structure de l'humus des forêts de résineux : plus uniforme et dense qu'un humus de feuillus. Ces conditions pourraient faciliter le repérage et la capture des proies (optimisation du "handling time") et ce surtout dans un contexte de pluies abondantes et répétées comme ce fut le cas en 2024 (et déjà en 2023) où la végétation de sous-étage et la couche humifère sont gorgées d'eau.

Si les grands murins sont effectivement en capacité de capturer plus facilement leurs proies favorites dans ces conditions, avec éventuellement accès à de grosses espèces au prix d'un déplacement plus long. Il serait logique que ceux-ci intègrent, voire favorisent, les peuplements résineux dans leurs choix de sites de chasse. Ceci ne remettant pas en cause le fait qu'ils chassent aussi en peuplement feuillus, en lisières et en milieu ouvert intraforestier comme le montrent nos résultats d'activité acoustique et de régime alimentaire (certaines espèces secondaires sont associées au moins en partie aux milieux ouverts, d'interface ou pionniers).

6.6 Autres éléments relevant issus des résultats

Validité du dernier modèle de distribution

Il est intéressant (et très satisfaisant pour nous) de constater qu'une des variables explicatives significatives qui ressort du modèle statistique expliquant l'activité des grands murins dans les peuplements forestiers (étude acoustique de 2024) est la valeur issue du modèle de distribution (probabilité de détection) du grand murin en Région Wallonne réalisé en 2023 (Godeau et Nyssen, 2023). Ce constat affirmant que la modélisation de 2023 est confirmée par les données de terrain additionnelles récoltées en 2024 conforte la validation de la méthode et atteste de la fiabilité de la carte produite.

Contraste d'intensité d'utilisation des forêts par le grand murin entre la région de Ethe et celle de Lontzen

Un des résultats de l'axe de travail acoustique est que l'activité des grands murins est en moyenne plus élevée à Ethe qu'à Lontzen. Le premier élément à souligner est que les effectifs de la colonie de Ethe sont plus élevés que ceux de Lontzen. Mais pour interpréter ce résultat, il convient de prendre un peu de recul et de considérer l'ensemble de la population de grand murin dans chaque région. En effet, rien n'indique que seuls les individus des colonies visées ont été enregistrés dans les peuplements forestiers étudiés. Aux individus des colonies étudiées s'ajoutent ceux d'autres colonies suffisamment proches pour atteindre (en partie au moins) les mêmes zones de chasse. Il s'agit des colonies de Gemmenich et Plombières pour la zone de Lontzen et des colonies de

Meix-devant-Virton, Orval et Izel, voire Muno pour la zone de Ethe. De plus, si nous connaissons certaines colonies dans les environs, il est vraisemblable que d'autres soient inconnues à l'heure actuelle ou situées dans les pays limitrophes, où nous n'avons pas pris connaissance des localisations des gîtes de reproduction connus. Les effectifs des populations dans les colonies sont parfois assez fluctuants, mais il semble malgré tout que la population lorraine de grand murin soit plus élevée que celle du pays de Herve, ce qui pourrait expliquer une activité plus grande pour les sites proches de Ethe que pour ceux de la zone de Lontzen. À cette question de densité de population s'ajoute un facteur de proximité des peuplements forestiers étudiés par rapport aux colonies. Étant donné qu'en général, les zones forestières sont plus proches de la colonie de Ethe que de Lontzen, les points d'échantillonnage acoustique sont également en moyenne plus proches de la colonie à Ethe qu'à Lontzen. L'activité plus basse à Lontzen qu'à Ethe pourrait être expliquée par un facteur assez naturel de dilution des populations qui augmente avec la distance à la colonie (à effectif égal, il est assez logique d'avoir une activité moindre sur des points plus éloignés).

7 Conclusion et perspectives

Cette étude a, pour la première fois, analysé en détail la sélection des habitats forestiers par le grand murin en Wallonie et son régime alimentaire. Les résultats obtenus donnent des pistes qu'il pourrait être utile d'explorer dans le contexte de l'élaboration de mesures favorables à l'espèce, que ce soit dans le cadre de projets de conservation ou pour la mise en place de mesures de compensation de projets éoliens ou d'autres infrastructures.

Pour conserver ou améliorer la qualité des zones de chasse du grand murin, il semble pertinent de ne pas exclure les peuplements résineux, qui sont attractifs à certaines périodes de la saison d'activité et qui peuvent potentiellement accueillir une ressource alimentaire intéressante pour le grand murin et comparable, en terme de biomasse, à celle des forêts feuillues. Concernant les ressources alimentaires, nos résultats montrent que la préférence connue pour la famille des carabes est tout-à-fait confirmée pour la Wallonie.

Il semble donc important de s'assurer que l'abondance de ce type de proies, ainsi que la superficie des zones de chasse favorables, soient maintenues à l'avenir. Les sites de chasse pertinents sont des peuplements feuillus ou résineux matures, sans couvert arbustif ni herbacé trop dense permettant une capture aisée des carabes au sol. Nos résultats montrent aussi l'intérêt de préserver des massifs forestiers de grande taille, comprenant de grands arbres, plutôt que des zones forestières plus fragmentées ou plus jeunes.

Concernant les ressources alimentaires, il pourrait être utile de confirmer la présence des espèces identifiées par metabarcoding, dans les différents types de peuplements forestiers, par un protocole d'inventaire des proies par piégeage (pitfall traps). Sachant que des études similaires ont déjà eu lieu (Pontégnie et al., 2005, thèse de doctorat de G. de Warnaffe, thèse de doctorat de M. Dufrière, ...), une consultation de la littérature grise et un accès aux données brutes pourraient peut-être apporter un éclairage supplémentaire à cette question. Ces données pourraient confirmer le caractère généraliste ou éventuellement (localement) spécialiste des espèces composant le régime alimentaire des grands murins.

8 Bibliographie

Arthur, L., Lemaire, M., Disca, T., 2021. *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*, 3e éd., enrichie et mise à jour. ed, Collection Parthénope. Biotope Muséum national d'histoire naturelle, Mèze Paris.

Barataud, M., 2020. *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe: identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*, 4e édition, Biotope, Coll. Inventaires & biodiversité series. Muséum national d'histoire naturelle ; Mèze, Paris.

Barré, K. et al. 2018. *Estimating Habitat Loss Due to Wind Turbine Avoidance by Bats: Implications for European Siting Guidance*. Biological Conservation 226: 205-14.

- Begon, M., Harper, J. L., Townsend C.R., 1996. *Ecology. Individuals, populations and communities*. Third edition. Blackwell Science. 1068 p.
- Claessens H. et Wibail L., 2021. *Les habitats forestiers*. In : Delescaille L.-M., Wibail L., Claessens H., Dufrêne M., Mahy G., Peeters A. et Sérusiaux E. (éditeurs), 2020. *Les Habitats d'Intérêt Communautaire de Wallonie*. Publication du Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (SPW-DGARNE). Série « Faune – Flore – Habitat », n° 10, Gembloux : 293 p.
- Dietz, C., Helversen, O. von, Nill, D., Dubourg, M.-J., Jourde, P., 2009. *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord : biologie, caractéristiques, protection*, Les encyclopédies du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Paris.
- Dufrêne, M. & Legendre, P., 1997. *Species Assemblages and Indicator Species: the Need for a Flexible Asymmetrical Approach*, *Ecological Monographs*, vol. 67, no. 3, pp. 345–366, doi: 10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAI]2.0.CO;2.
- Ellerbrok, J. et al. 2022. *Activity of Forest Specialist Bats Decreases towards Wind Turbines at Forest Sites*. *Journal of Applied Ecology* 59(10): 2497-2506.
- Flipe, A. 2018. *Étude et modélisation des habitats de chasse potentiels des chiroptères en Wallonie sur base de données acoustiques*. Mémoire pour l'obtention du titre de Master en bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, à finalité spécialisée de l'Université de Liège (Gembloux Agro-Bio Tech).
- Hilbe, J. M., 2011. *Negative Binomial Regression*. Cambridge University Press.
- Gaultier, Simon P., Thomas M. Lilley, Eero J. Vesterinen, et Jon E. Brommer. 2023. *The Presence of Wind Turbines Repels Bats in Boreal Forests*. *Landscape and Urban Planning* 231: 104636.
- Godeau, J.-F., Nyssen, P., 2023. *Modélisation des habitats naturels des chauves-souris forestières sur base des données acoustiques existantes*, Rapport final, Ecofirst.
- Güttinger, R., 1997. *Jagdhabitat des Großen Mausohrs (Myotis myotis) in der modernen Kulturlandschaft* Buwal-Schriftenreihe Umwelt 288, 1–104.
- Klaiber, J., Altermatt, F., Birrer, S., Chittaro, Y., Dziocck, F., Gonseth, Y., Hoess, R., Keller, D., Kuchler, H., Luka, H., Manzke, U., Müller, A., Pfeifer, M., Roesti, C., Schlegel, J., Schneider, K., Sonderegger, P., Walter, T., Holderegger, R., Bergamini, A., 2017. *Fauna Indicativa.*, WSL Berichte 54: 198 S.
- Langanke, T., 2016. GIO land (GMES/Copernicus initial operations land) High Resolution Layers (HRLs) – summary of product specifications. European Environment Agency. 14 p.
- Leroux, C., Kerbirou, C., Le Viol, I., Valet, N., Barré, K., 2022. *Distance to Hedgerows Drives Local Repulsion and Attraction of Wind Turbines on Bats: Implications for Spatial Siting*. *Journal of Applied Ecology* 59(8): 2142-53
- Lindroth, C., 1985. *The Carabidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark*. *Fauna Entomologica Scandinavica* 15 (I). 497 p.
- Nyssen, P., Beckers, A., Renard, P., Godeau, J.-F., 2023. *Étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés*, Rapport final, Ecofirst et CSD Ingénieurs.
- Pontégny, M., de Warnaffe, G., Lebrun, G., 2005. *Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community*, *Pedobiologia*, vol. 49, pp. 199–210, doi: 10.1016/j.pedobi.2004.09.005.
- Radoux, J., De Vroey, M., Goffart, B., Coppée, T., Bourdouxhe, A., Pauly, C., Dufrêne, M., Defourny, P., 2024. *Lifewatch-WB geodatabase (v6.20): attribute description*. CC 0.4.0.

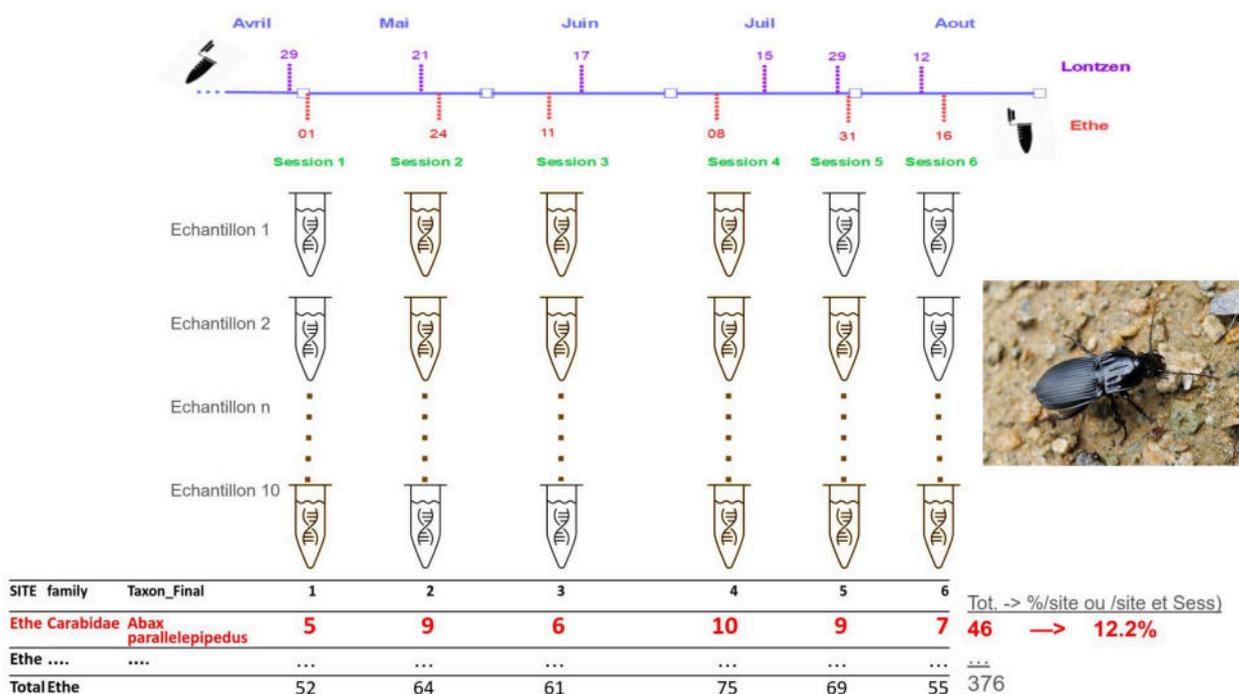
- Rauchenstein, K., Ecker, K., Bader, E., Ginzler, C., Düggelin, C., Bontadina, F., Obrist, M. K., 2022. *LiDAR metrics predict suitable forest foraging areas of endangered Mouse-eared bats (Myotis myotis)*, *Forest Ecology and Management*, 515, 120210.
- Smits, Q., Van Vyve, C., 2021, *Liste rouge relative aux chauves-souris en Wallonie*, Plecotus-Natagora.
- Voigt, C., Bernard, E., Huang, J., Frick, W., Kerbiriou, C., MacEwan, K., Mathews, F., Rodríguez-Durán, A., Scholz, C., Webala, P., Welbergen, J. et Whitby, M., 2023. *Toward solving the global green–green dilemma between wind energy production and bat conservation*. *BioScience* 74 (4), 240-252.
- Vogt, P., Caudullo, G., 2022. *EUROSTAT – Regional Yearbook 2022: Forest Connectivity*, EUR 31072 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-52435-9, doi:10.2760/838111, JRC129266.
- Warton, D. I., 2022. *Eco-Stats: Data Analysis in Ecology: From t-Tests to Multivariate Abundances*. Cham: Springer International Publishing. <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-88443-7>
- Zahn, A., Haselbach, H., Güttinger, R., 2005. *Foraging activity of central European Myotis myotis in a landscape dominated by spruce monocultures*. *Mammalian Biology* 70, 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2004.11.020>

Annexes

Annexe A - Méthode de calcul des pourcentages de présence des taxons dans les échantillons

Pour évaluer l'abondance relative des proies et donc inférer sur le régime alimentaire du grand murin, il ne faut pas tomber dans le travers de l'usage du nombre de séquences et encore moins de reads par taxon résultant des analyses metabarcoding pour faire une analyse quantitative. En effet, ces valeurs sont directement dépendantes de biais de l'amplification des séquences d'ADN qui ont lieu durant la PCR. Par contre, sachant que nous avons systématiquement prélevé 10 échantillons par campagne de récolte de guano, il est possible de déterminer le pourcentage d'occurrence. Pour le trouver, on compte, pour chaque campagne d'échantillonnage (n=6) dans chaque colonie (n=2), le nombre d'échantillons (0, 1, 2, ... 10) dans lesquels la présence d'un taxon donné est relevée (voir valeurs en rouge pour l'exemple de l'espèce *Abax parallelepipedus* ci-dessous, avec un total de 46 échantillons positifs). Si on somme ces valeurs pour les différents taxons (nombre d'échantillons positifs) par site, ou par campagne de récolte et par site, on obtient un chiffre qui représente 100 % (n=376 dans l'exemple ci-dessous). Le nombre d'échantillons positifs par taxon divisé par le nombre total d'échantillons positifs pour tous les taxons donne une proportion, exprimée en pourcent, soit par site, soit par site et par campagne d'échantillonnage.

Ces pourcentages d'occurrence sont illustrés graphiquement dans les "treemaps" de la section 5.5, dont les surfaces des rectangles représentent ces proportions.



Annexe B - Résultats complets pour les insectes

Les résultats bruts des nombres d'échantillons positifs (n=10) pour chaque taxon d'insectes dans les 6 campagnes d'échantillonnage (en colonnes) sont donnés dans le tableau suivant, triés par site puis par nom de taxon.

SITE	family	Taxon Final	1	2	3	4	5	6
Ethe	Carabidae	Abax	6	5	3	10	6	3
Ethe	Carabidae	Abax ovalis	10	10	7	5	6	2
Ethe	Carabidae	Abax parallelepipedus	5	9	6	10	9	7
Ethe	Carabidae	Abax parallelus	6	5	4	9	8	3
Ethe	Geotrupidae	Anoplotrupes	0	0	0	0	0	1
Ethe	Geotrupidae	Anoplotrupes stercorosus	0	0	0	0	0	1
Ethe	Tettigoniidae	Barbitistes	0	0	0	0	1	0
Ethe	Tettigoniidae	Barbitistes serricauda	0	0	0	0	1	0
Ethe	Carabidae	Calathus rotundicollis	0	0	0	0	1	0
Ethe	Carabidae	Carabidae	1	0	0	0	2	1
Ethe	Carabidae	Carabus	0	0	3	0	5	0
Ethe	Carabidae	Carabus arvensis sylvaticus	0	1	4	0	0	0
Ethe	Carabidae	Carabus auratus	5	0	0	0	0	0
Ethe	Carabidae	Carabus auronitens	3	3	0	1	0	1
Ethe	Carabidae	Carabus coriaceus coriaceus	0	0	0	3	0	0
Ethe	Carabidae	Carabus depressus	0	1	0	0	0	0
Ethe	Carabidae	Carabus nemoralis	7	9	6	4	9	4
Ethe	Carabidae	Carabus problematicus	1	4	6	0	1	1
Ethe	Carabidae	Carabus violaceus purpurascens	0	1	10	5	4	6
Ethe	Cimicidae	Cimex lectularius	0	0	0	7	0	0
Ethe	Cecidomyiidae	Contarinia	0	0	0	0	1	0
Ethe	Curculionidae	Curculionidae	0	0	0	1	0	0
Ethe	Carabidae	Cychrus	0	1	0	2	1	2
Ethe	Carabidae	Cychrus attenuatus	0	8	7	9	2	6
Ethe	Carabidae	Cychrus caraboides	0	0	0	3	0	0
Ethe	Forficulidae	Forficula	0	1	0	0	0	0
Ethe	Carabidae	Harpalus dimidiatus	1	0	0	0	0	0
Ethe	Carabidae	Harpalus rufipes	1	0	0	1	2	6
Ethe	Tortricidae	Hedya nubiferana	0	0	0	0	1	0
Ethe	Limoniidae	Limonia nubeculosa	0	0	1	0	0	0
Ethe	Tettigoniidae	Meconema thalassinum	0	0	0	1	0	0
Ethe	Phoridae	Megaselia sepulchralis	0	0	0	0	1	0
Ethe	Syrphidae	Meliscaeva auricollis	0	1	0	0	0	0
Ethe	Scarabaeidae	Melolontha hippocastani	1	2	0	0	0	0
Ethe	Scarabaeidae	Melolontha melolontha	9	2	0	0	0	0
Ethe	Carabidae	Nebria	1	1	0	0	0	0
Ethe	Carabidae	Nebria salina	0	0	1	0	0	0
Ethe	Staphylinidae	Nicrophorus vespilloides	0	0	0	0	0	1
Ethe	Staphylinidae	Ocyopus olens	1	0	0	2	0	4
Ethe	Noctuidae	Orthosia cerasi	0	0	0	3	0	0
Ethe	Hepialidae	Phymatopus hecta	0	1	0	0	0	0
Ethe	Polleniidae	Pollenia	0	0	0	0	1	0
Ethe	Cerambycidae	Prionus coriarius	0	0	0	0	1	0
Ethe	Carabidae	Pterostichus	5	6	4	7	8	6
Ethe	Carabidae	Pterostichus madidus	0	0	0	2	2	0
Ethe	Carabidae	Pterostichus niger	0	0	0	4	1	1
Ethe	Notodontidae	Ptilodon cucullina	0	0	0	0	1	0
Ethe	Scarabaeidae	Serica	0	0	0	1	0	0
Ethe	Scarabaeidae	Serica brunnea	0	0	0	1	0	0
Ethe	Tabanidae	Tabanus sudeticus	0	0	1	0	0	0
Ethe	Tipulidae	Tipula hortorum	0	4	0	0	0	0
Ethe	Tipulidae	Tipula scripta	0	1	1	0	0	1
Ethe	Tipulidae	Tipulidae	0	0	1	0	0	0
Ethe	Carabidae	Zabrus	0	0	0	0	1	2
Ethe	Carabidae	Zabrus tenebrioides	0	0	0	0	1	4
Lontzen	Carabidae	Abax	1	8	8	5	4	7
Lontzen	Carabidae	Abax parallelepipedus	6	10	9	9	10	10
Lontzen	Carabidae	Abax parallelus	1	2	3	1	1	0
Lontzen	Elateridae	Ampedus	0	0	0	0	1	0
Lontzen	Geotrupidae	Anoplotrupes	0	0	0	0	0	1
Lontzen	Geotrupidae	Anoplotrupes stercorosus	0	0	0	0	0	1
Lontzen	Cerambycidae	Arhopalus	0	0	0	0	0	1
Lontzen	Carabidae	Bembidion	0	0	0	0	0	1
Lontzen	Carabidae	Calosoma	0	0	0	1	0	0
Lontzen	Carabidae	Carabus	0	0	1	0	0	0
Lontzen	Carabidae	Carabus auronitens	0	2	0	0	0	0
Lontzen	Carabidae	Carabus coriaceus coriaceus	9	1	1	4	1	0
Lontzen	Carabidae	Carabus nemoralis	3	3	1	0	0	0
Lontzen	Carabidae	Carabus problematicus	0	7	0	5	5	4
Lontzen	Carabidae	Carabus violaceus purpurascens	0	0	0	3	5	1
Lontzen	Carabidae	Cychrus	0	0	0	1	0	0
Lontzen	Carabidae	Cychrus caraboides	1	0	1	7	4	0
Lontzen	Staphylinidae	Ocyopus olens	2	0	0	0	1	0
Lontzen	Noctuidae	Phlogophora meticulosa	0	0	0	1	0	0
Lontzen	Carabidae	Pterostichus	1	3	5	7	7	6
Lontzen	Carabidae	Pterostichus madidus	0	0	0	0	1	1
Lontzen	Tipulidae	Tipula cava	0	0	0	1	1	0
Lontzen	Tipulidae	Tipula hortorum	1	0	0	0	0	0

Annexe C : Récapitulatif des contacts enregistrés par nuit

1. Ethe

Date de la nuit	E1A	E1B	E2A	E2B	E3A	E3B	E4A	E4B	E5A	E5B	E6A	E6B	E7A	E7B	E8A	E8B	E9A	E9B
07-05-24	2	0	0	10											0	1		
08-05-24	13	0	6	6											12	3		
09-05-24	19	3	30	19											11	31		
10-05-24	18	0	12	31											10	20		
11-05-24	8	0	37	2											5	19		
12-05-24	9	13	44	10											7	5		
13-05-24	11	0	39	9											7	4		
14-05-24	4	1	6	1											4	1		
15-05-24	1	0	1	0											3	0		
16-05-24	1	0	4	2											2	1		
17-05-24	0	0	0	0											0	0		
18-05-24	1	0	4	35											2	0		
19-05-24	1	0	1	32											3	2		
20-05-24	12	4	36	67											9	4		
21-05-24	0	0	3	22											0	1		
22-05-24			4	28			0	1									4	0
23-05-24			37	41			0	0									8	0
24-05-24			0	6			0	0									0	0
25-05-24			11	16			0	0									6	0
26-05-24			57	23			0	0									13	0
27-05-24			0	0			0	0									1	0
28-05-24			1	0			0	0									1	0
29-05-24			0	0			0	0									0	0

Date de la nuit	E1A	E1B	E2A	E2B	E3A	E3B	E4A	E4B	E5A	E5B	E6A	E6B	E7A	E7B	E8A	E8B	E9A	E9B
30-05-24			2	3			0	0									0	0
31-05-24			41	0			0	0									0	0
01-06-24			28	21			0	0									2	0
02-06-24			18	2			0	0									2	0
03-06-24			7	0			0	0									9	0
04-06-24			24	2					1	0			1	2				
05-06-24			3	1					0	0			2	4				
06-06-24			18	5					1	4			1	12				
07-06-24			26	3					0	2			0	6				
08-06-24			43	4					1	1			2	2				
09-06-24			28	1					2	6			0	3				
10-06-24			0	0					0	6			0	0				
11-06-24			4	0					1	2			0	5				
12-06-24			4	3					0	3			0	2				
13-06-24			23	12					0	1			3	4				
14-06-24			0	2					0	0			3	3				
15-06-24			6	4					0	1			6	8				
16-06-24			1	1					0	4			0	1				
17-06-24			4	5					1	1			4	7				
18-06-24			0	0	0	0					2	0						
19-06-24			5	12	16	1					10	1						
20-06-24			1	11	16	0					2	0						
21-06-24			6	5	13	0					0	0						
22-06-24			3	11	5	0					0	1						
23-06-24			4	2	94	1					2	1						
24-06-24			58	0	163	0					1	0						
25-06-24			84	3	158	1					1	1						
26-06-24			41	0	118	0					2	0						
27-06-24			41	3	68	0					4	7						

Date de la nuit	E1A	E1B	E2A	E2B	E3A	E3B	E4A	E4B	E5A	E5B	E6A	E6B	E7A	E7B	E8A	E8B	E9A	E9B
28-06-24			35	2	33	0					2	2						
29-06-24			0	1	0	0					0	2						
30-06-24			3	1	11	0					1	2						
01-07-24			4	2	36	0					1	3						
02-07-24	1	0	0	1											0	1		
03-07-24	0	0	2	4											6	4		
04-07-24	3	0	5	3											1	7		
05-07-24	2	0	15	5											9	5		
06-07-24	5	0	15	1											7	6		
07-07-24	3	0	8	0											10	4		
08-07-24	8	6	11	7											43	10		
09-07-24	1	0	6	4											38	2		
10-07-24	4	0	6	4											32	5		
11-07-24	12	0	9	3											29	4		
12-07-24	0	2	1	1											10	0		
13-07-24	6	7	8	2											12	4		
14-07-24	13	1	6	3											54	2		
15-07-24	2	1	3	1											77	1		
16-07-24			7	1			0	2									0	0
17-07-24			11	2			0	1									18	0
18-07-24			17	1			0	0									16	0
19-07-24			28	5			0	1									10	0
20-07-24			14	4			0	2									0	0
21-07-24			10	3			0	8									0	0
22-07-24			14	3			0	1									2	0
23-07-24			12	4			0	1									0	0
24-07-24			5	4			0	0									1	0
25-07-24			17	18			0	3									3	0
26-07-24			1	1			0	0									0	0

Date de la nuit	E1A	E1B	E2A	E2B	E3A	E3B	E4A	E4B	E5A	E5B	E6A	E6B	E7A	E7B	E8A	E8B	E9A	E9B
27-07-24			0	0			0	0									0	0
28-07-24			7	10			0	1									0	0
29-07-24			52	7			0	0									3	0
30-07-24			32	57					8	1			7	1				
31-07-24			12	6					3	0			6	1				
01-08-24			9	12					4	0			8	7				
02-08-24			23	7					4	1			9	3				
03-08-24			34	4					2	2			8	2				
04-08-24			18	4					2	6			6	5				
05-08-24			9	2					4	6			1	6				
06-08-24			29	2					1	3			4	6				
07-08-24			25	12					1	3			2	5				
08-08-24			17	4					3	9			5	7				
09-08-24			24	7					3	15			3	7				
10-08-24			13	5					2	19			5	5				
11-08-24			27	3						4			4	5				
12-08-24			13	3						1			5	5				
13-08-24			7	2	11	1					6	4						
14-08-24			7	10	2	4					4	5						
15-08-24			18	3	11	2					6	3						
16-08-24			14	4	24	2					5	3						
17-08-24			1	0	0	0					2	0						
18-08-24			8	3	34	9					6	6						
19-08-24			7	0	30	4					5	4						
20-08-24			5	1	2	1					6	4						
21-08-24			15	4	33	6					3	7						
22-08-24			10	1	51	7					3	2						
23-08-24			15	5	23	4					9	0						
24-08-24			3	9	2	0					0		0					

Date de la nuit	E1A	E1B	E2A	E2B	E3A	E3B	E4A	E4B	E5A	E5B	E6A	E6B	E7A	E7B	E8A	E8B	E9A	E9B
25-08-24			1	4	27	3					5		0					
26-08-24			10	2	25	1					5		0					
Total général	160	38	1594	760	1006	47	0	21	44	101	93	58	95	124	403	147	99	0

2. Lontzen

Date de la nuit	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L4B	L5A	L5B	L6A	L6B	L7A	L7B	L8A	L8B	L9A	L9B
06-05-24	0	0	0												0	0		
07-05-24	0	0	0	0											0	0		
08-05-24	0	0	0	0											0	0		
09-05-24	2	0	0	0											0	1		
10-05-24	3	0	1	0											1	0		
11-05-24	1	0	1	0											1	0		
12-05-24	2	0	1	0											2	0		
13-05-24	1	0	0	0											1	2		
14-05-24	4	1	2	0											1	1		
15-05-24	0	0	0	0											1	0		
16-05-24	0	0	3	0											1	0		
17-05-24	0	0	0	0											0	0		
18-05-24	0	2	6	0											1	0		
19-05-24	0	1	6	0											1	3		
20-05-24	0	1	7	0											1	1		
21-05-24	0	0			0	0												0
22-05-24	0	0			0	3											1	0
23-05-24	0	0			0	1											1	0
24-05-24	0	0			0	0											0	0
25-05-24	0	0			0	1											2	0
26-05-24	0	0			0	3											1	0

Date de la nuit	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L4B	L5A	L5B	L6A	L6B	L7A	L7B	L8A	L8B	L9A	L9B
27-05-24	0	0			0	0											0	0
28-05-24	0	0			0	0											0	0
29-05-24	0	0			0	0											0	0
30-05-24	0	4			0	0											1	0
31-05-24	0	0			1	0											0	0
01-06-24	0	0			0	0											0	0
02-06-24	0	0			0	0											1	0
03-06-24	0	3			0	0	1	18					0	0			0	0
04-06-24	0	1					1	5					0	0				
05-06-24	0	1					1	5					0	0				
06-06-24	0	8					1	23					0	0				
07-06-24	1	1					1	8					0	0				
08-06-24	0	0					1	9					0	0				
09-06-24	0	0					2	13					0	0				
10-06-24	0	0					0	0					0	0				
11-06-24	0	0					1	0					0	0				
12-06-24	0	0					1	27					0	0				
13-06-24	1	1					3	39					2	0				
14-06-24	0	0					0	2					0	0				
15-06-24	1	2					5	18					0	0				
16-06-24	0	1					1	8					0	0				
17-06-24	0	6					0	0	0	0	0	0	0	0				
18-06-24	0	0								0								
19-06-24	0	1							0	0	0	0						0
20-06-24	0	1							0	0	0	0						0
21-06-24	0	2							0			0						0
22-06-24	0	3							0	0	0	0						0
23-06-24	0	0							0	0	0	0						0
24-06-24	1	0							0	0	0	0						0

Date de la nuit	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L4B	L5A	L5B	L6A	L6B	L7A	L7B	L8A	L8B	L9A	L9B
25-06-24	0	3							0	1	1	0						0
26-06-24	0	2							0	0	2	0						0
27-06-24	1	0							0	0	4	0						0
28-06-24	0	1							0	0	1	0						0
29-06-24	0	1							0	0	0	0						0
30-06-24	0	0							0	0	0	0						0
01-07-24	0	3	8	0											2	1		0
02-07-24	0	1	1	0											1	0		
03-07-24	0	3	0		0										1	1		
04-07-24	0	2	3		0										3	0		
05-07-24	1	0	8		0										3	1		
06-07-24	2	1	2		0										1	0		
07-07-24	0	1	4		0										0	0		
08-07-24	0	1	5		0										1	0		
09-07-24	0	3	9		0										0		0	
10-07-24	0	1	5		0										4		0	
11-07-24	0	3	6		0										3		0	
12-07-24	0	0	2		0										0		0	
13-07-24	0	0	3		0										0		0	
14-07-24	0	1	6		0										2		0	
15-07-24	0	2		0	0	0										0	1	0
16-07-24	0	0			0	1											0	0
17-07-24	0	0			1	0											2	0
18-07-24	0	1			1	0											3	0
19-07-24	0	0			1	1											5	0
20-07-24	0	0			0	0											2	0
21-07-24	0	0			3	0											3	0
22-07-24	0	0			0	0											7	0
23-07-24	0	8			0	0											3	0

Date de la nuit	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L4B	L5A	L5B	L6A	L6B	L7A	L7B	L8A	L8B	L9A	L9B
24-07-24	0	2			0	1											5	2
25-07-24	0	1			0	0											2	0
26-07-24	0	0			0	0											2	0
27-07-24		0			0		0										0	0
28-07-24	0	0			0		0										10	2
29-07-24	0	1				0	3	16					0	0				0
30-07-24	0	0					2	7					4	1				
31-07-24	0	0					4	9					2	0				
01-08-24		2					0	0					0	0				
02-08-24	0	2					4	11					0	2				
03-08-24	0	1					2	5					0	1				
04-08-24	0	1					1	9					0	1				
05-08-24	0	3					1	10					0	1				
06-08-24	0	0					4	14					0	0				
07-08-24	0	0					2	3					0	0				
08-08-24	1	4					3	6					0	1				
09-08-24	0	4					1	5					0	1				
10-08-24	0	2					1	16					0	2				
11-08-24	0	6					1	12					0	2				
12-08-24	0	7						0	0	1	0	0		0	0			
13-08-24		6								0	0	0						
14-08-24		6							0	0	0	0						0
15-08-24	0	1							0	1	0	0						0
16-08-24	0	5							0	2	1	1						0
17-08-24	0	0							0	0	0	0						0
18-08-24	0	7							0	2	0	0						0
19-08-24	0	13							0	4	2	0						0
20-08-24	0	9							1	0	1	0						0
21-08-24	0	6							1	0	1	0						0

Date de la nuit	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L4B	L5A	L5B	L6A	L6B	L7A	L7B	L8A	L8B	L9A	L9B	
22-08-24	0	5							0	1	0	0							0
23-08-24		9								2	0	0							0
24-08-24		1								0	0	0							0
25-08-24	0	1								0	1	0							0
26-08-24	0	1								0	0	0							0
Total général	22	184	89	0	7	11	48	298	2	14	14	1	8	12	32	11	52	4	