



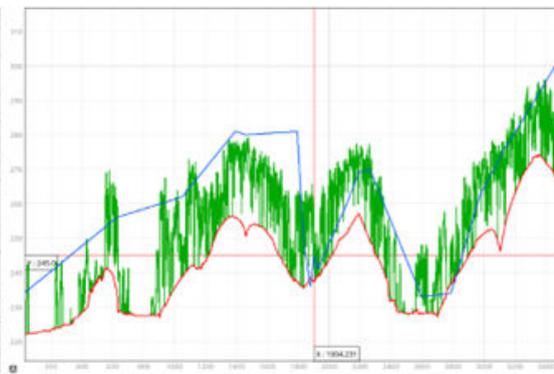
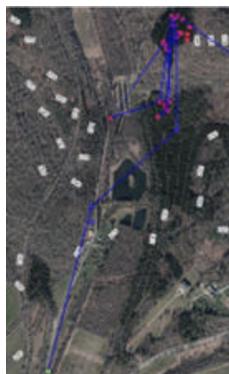
Ecofirst

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEUX PAR NATURE

**MARCHÉ PUBLIC DE SERVICES VISANT À ÉTUDIER L'ACTIVITÉ ET
LA MORTALITÉ DES CHAUVES-SOURIS SUR DES PARCS ÉOLIENS
FORESTIERS EN WALLONIE**

**LOT 2 - ÉTUDE DE L'UTILISATION DE L'ESPACE ET DU TEMPS
PAR LE GRAND MURIN PAR GPS LOGGERS MINIATURISÉS**

Rapport final



Colophon

Étude et rapport réalisés par

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



en collaboration avec

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 :

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

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



pour le compte de

Service Public de Wallonie (SPW)

Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement (ARNE)

Département de l'Étude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA)

Direction de la Nature et de l'Eau (DNE)

Adresse postale : Avenue Maréchal Juin, 23 à 5030 GEMBLoux

Pouvoir adjudicateur : Bénédicte Heindrichs, Directrice générale du SPWARNE

Fonctionnaire dirigeant : Annick Terneus annick.terneus@spw.wallonie.be

Personne de contact pour ce dossier :

Thierry Kervyn 0477 26 03 99 thierry.kervyn@spw.wallonie.be



dans le cadre du

marché public de services visant à étudier l'activité et la mortalité des chauves-souris sur des parcs éoliens forestiers en Wallonie - Cahier spécial des charges n°03.02.03-22-3285

et en particulier son LOT 2 intitulé "Étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés"

Composition du comité d'accompagnement :

- SPWARNE – DEMNA : Thierry Kervyn, Quentin Smits, Annick Terneus, Jérémy Simar
- SPWARNE – DNF : Jean-Philippe Bizoux, Corentin Laroy
- ECOFIRST : Jean-François Godeau, Pierrette Nyssen
- CSD Ingénieurs : Arnaud Beckers, Louis Casier

Rédaction et mise en page : Pierrette Nyssen, Jean-François Godeau

Contribution majeure à l'étude : Arnaud Beckers, Perrine Renard

Relecture : Julien Otoul

Les personnes suivantes ont contribué à la réalisation des inventaires de terrain :

Christophe Bauffe, Arnaud Beckers, Gaspar Beckers, Sebastien Carbonnelle, Félix Coquelet, Lionel Coquelet, Maïté Coquelet, Albert Declaye, Dylan Delvaux, Jonathan Demaret, Mathieu Derume, Gauthier Deschamps, Frédéric François, Artur Godeau, Jean-François Godeau, Jaroslaw Jaworek, Marvin Kaye, Ann Kenis, Thierry Kervyn, Coraline Lafourt, Hélène Laszlo, Oliver Lindecke, Aurélie Maebe, Francois Magonette, Matteo Marcandella, Ariane Meersschaert, Antoine Mertens, Pierrette Nyssen, Julien Otoul, Julie Pittoors, Jean-Benoît Reginster, Perrine Renard, Gilles San Martin, Charlotte Tinel, Chloé Vescera

Photos : les images utilisées dans ce rapport, sauf mention explicite, sont

- d'Ecofirst : Jean-François Godeau, Pierrette Nyssen
- de CSD Ingénieurs : Perrine Renard
- des volontaires ayant participé à l'étude 2023 : Albert Declaye, Dylan Delvaux, Matteo Marcandella, Antoine Mertens, Jean-Benoit Reginster

Date de finalisation du rapport : 10/12/2023

Référence : Nyssen, P., Beckers, A., Renard, P., Godeau, J.-F., Étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés, Rapport final, Décembre 2023, Ecofirst et CSD Ingénieurs.

Table des matières

Colophon	2
1/ Contexte de l'étude et termes du marché	5
2/ Travail préparatoire	6
2.1 Choix des colonies étudiées	6
2.2 Balises GPS : choix des modèles et paramétrage	8
2.3 Organisation des sessions de capture et de suivi	9
3/ Travail de terrain : résultats	10
3.1 Sessions de capture réalisées	10
3.1.1 Lontzen	10
3.1.2 Ethe	12
3.2 Paramétrage des balises GPS et test drone	13
3.2.1 Paramétrage des balises	13
3.2.2 Tests de calibrage des balises	14
3.3 Pistage télémétrie	14
3.3.1 Présence aux gîtes en journée	15
3.3.2 Données de télémétrie VHF nocturne	16
3.4 Recherche des balises GPS	18
4/ Analyse des données des balises GPS	19
4.1 Méthodologie	19
4.1.1 Description des données brutes et évaluation de la précision	19
4.1.2 Altitude mesurée des colonies (MNS)	22
4.1.3 Calibration des données d'altitude avec un drone	23
4.2 Terrains de chasse	24
4.3 Comportement de vol	26
4.3.1 Identification des altitudes de vol lors des trajets vers et sur les terrains de chasse	26
4.3.2 Vitesse de vol	32
4.3.3 Comportement par rapport aux éoliennes	35
4.4 Détermination du domaine vital tridimensionnel	35
5.1 Discussion des résultats	39
5.1.1 Terrains de chasse	39
5.1.2 Altitude de vol	40
5.2 Perspectives	41
5.3 Valorisation scientifique des données prévue	41
5.4 Texte résumé permettant la dissémination des résultats aux Parties signataires de la Convention de Bonn – EUROBATS	42
6/ Bibliographie	44
7/ Délivrables annexes à ce rapport	45

1/ Contexte de l'étude et termes du marché

Cette étude constitue le lot 2 du marché public de services visant à étudier l'activité et la mortalité des chauves-souris sur des parcs éoliens forestiers en Wallonie (Cahier spécial des charges n°O3.02.03-22-3285) émis par le Service Public de Wallonie. Ce marché porte sur une mission visant à organiser la récolte et l'analyse de données de terrain relatives aux chauves-souris, notamment en milieu forestier en Wallonie. Cet appui contribuera au monitoring régional, à l'appui aux gestionnaires et aux rapportages internationaux. Le marché a été conclu pour une durée de 12 mois, débutant en date du 13/12/2022, et remporté par le consortium **Ecofirst** et **CSD Ingénieurs**.

Le lot 2 porte sur l'étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés.

Le cahier spécial des charges définit le contexte et les objectifs de ce lot en ces termes :

Le Grand murin est une espèce de chauve-souris dont le comportement de chasse particulier - le glanage de proies au sol - implique une très grande quiétude dans ses terrains de chasse forestiers, sous peine de réduire l'efficacité de son vol de chasse [...]. Le bruit généré par le fonctionnement nocturne des éoliennes est dès lors susceptible de diminuer la qualité des terrains de chasse qu'il exploite en forêt. Cette espèce est en outre connue pour endurer des mortalités importantes de juvéniles lors de printemps pluvieux [...], ce qui réduit l'aptitude de cette espèce à restaurer ses effectifs. Pour cette raison supplémentaire, la conservation de ce mammifère implique qu'aucune nouvelle source de mortalité ne vienne s'adjoindre à celles déjà existantes.

Pour ces différentes raisons, la présence du grand murin rend rédhibitoire tout projet éolien puisqu'aucune mesure d'atténuation ou de compensation n'est suffisante pour garantir le maintien des effectifs de cette espèce dans un état de conservation favorable.

De façon à concilier le développement de la production d'énergie éolienne en Wallonie, il est dès lors impératif de mieux connaître le domaine vital du grand murin.

Objectifs :

- **Identifier les altitudes de vol** par cette espèce lors de ses trajets entre les gîtes et les terrains de chasse, particulièrement en milieu forestier ;
- **Identifier le domaine vital tridimensionnel** d'au moins 6 grands murins adultes ;
- Appuyer des **mesures de protection d'espèces sensibles** par la diffusion des informations pertinentes aux gestionnaires concernés et par la collecte des compléments d'information nécessaires.

Dans le cadre de sa mission, l'adjudicataire abordera les aspects suivants :

1. Collecte, rassemblement, validation et encodage de données de localisation des individus suivis (dans un format compatible avec les bases de données de l'adjudicateur et fourni par ce dernier)
2. Synthèse des données collectées au cours de la saison précédente

Les prestations de terrain seront localisées sur 2 colonies de reproduction de grand murin, localisées autant que possible à proximité de sites forestiers de faible intérêt biologique susceptibles d'accueillir des éoliennes forestières. Sur base des colonies connues de grand murin en Wallonie, les prestations pourraient notamment avoir lieu notamment à Lontzen. Le soumissionnaire peut proposer une (ou des) autre(s) colonie(s).

Une demande de dérogation à la Loi sur la Conservation de la Nature pour la capture d'individus de cette espèce animale protégée sera sollicitée au Département de la Nature et des Forêts par l'adjudicataire.

2/ Travail préparatoire

2.1 Choix des colonies étudiées

La présente étude cible 2 colonies de reproduction de *Myotis myotis* en Wallonie. Une première étude préalable a été menée en vue d'identifier les colonies connues et d'évaluer les possibilités et contraintes pour chacune d'elles. Les critères pris en compte pour le choix des sites d'étude sont les suivants :

- effectif de la colonie : ni trop faible (les gîtes connus avec moins de 20 individus ont été éliminés) pour maximiser les chances de capturer suffisamment d'individus, ni trop importante pour éviter un dérangement excessif des maternités.
- présence récente stable : lorsque la présence des individus est trop chaotique dans le temps, le gîte n'a pas été retenu.
- région géographique : le choix s'est porté sur des gîtes éloignés l'un de l'autre afin de bénéficier de situations géographiques et de paysages environnants différents. Un autre critère d'éloignement par rapport aux frontières a également été pris en compte pour maximiser les chances d'avoir des terrains de chasse en Belgique plutôt que dans les pays adjacents. Enfin, le caractère de proximité avec des massifs forestiers a également été pris en compte.
- accessibilité du bâtiment : de bons contacts avec les propriétaires et/ou les occupants du site sont un prérequis indispensable à un accès au bâtiment nécessaire pour mener l'étude à bien.
- localisation des points de sortie : un aspect très pragmatique de possibilité de capture au niveau du/des points d'émergence connus de la colonie a été pris en compte. Nous avons en effet souhaité dès le départ capturer en sortie de gîte plutôt qu'à l'intérieur de la maternité afin de limiter le dérangement des individus et de la colonie dans son ensemble.
- proximité d'éoliennes : dans l'idéal, une colonie située à proximité d'un parc éolien aurait permis d'évaluer le comportement des animaux face aux éoliennes. Dans la pratique, aucune colonie ne se situait à moins de 20 km d'éoliennes en fonctionnement, ce critère a dû être abandonné.

Lorsque les informations n'étaient pas disponibles, un travail de collecte de celles-ci auprès des personnes ad hoc et/ou sur le terrain a été mené. Le choix final s'est porté sur les deux sites suivants (voir carte 1) :

- **Colonie de Lontzen** : commune de Lontzen, Pays de Herve, Province de Liège

Cette colonie 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. L'effectif estival y est d'environ 60-70 adultes et 50-60 juvéniles.

Coordonnées (Lambert Belge 1972) : X 265959 - Y 152586

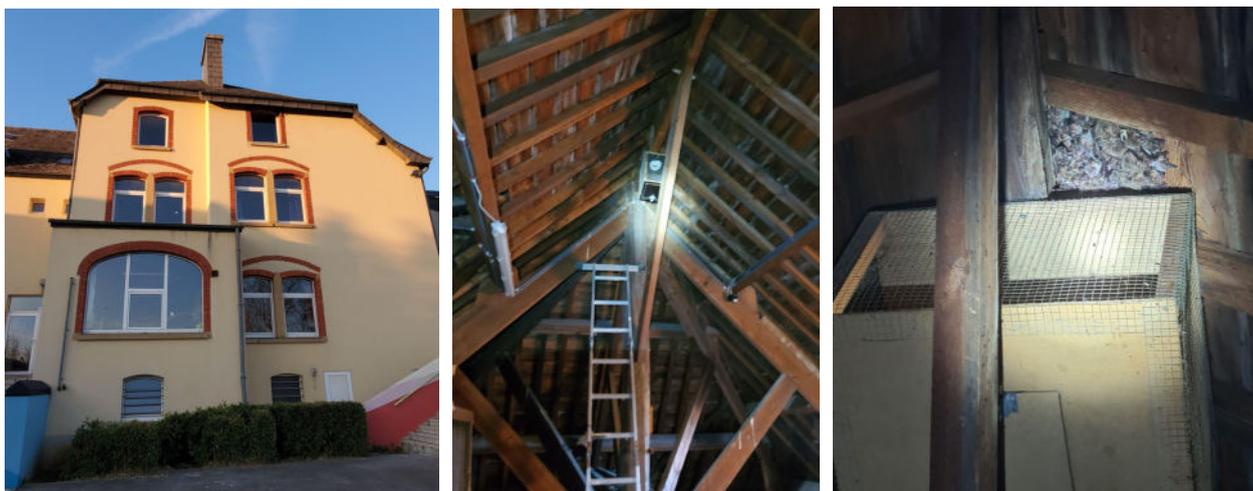


← Vue du tunnel par son entrée nord ↑ Vue de la cheminée depuis le bas → Vue de la colonie au plafond de la cheminée (photo prise le 20-06-2011 par René Janssen)

- **Colonie de Ethe** : commune de Virton, Gaume, Province du Luxembourg

La colonie de Ethe n'était que partiellement connue et suivie début 2023. Nous avons fait un premier travail de collecte des informations nécessaires à la compréhension de la situation sur place. Cette colonie compte environ 120 adultes, qui se répartissent dans deux bâtiments dans le village de Ethe, éloignés de 140m l'un de l'autre.

IMP : Le premier bâtiment est l'Institut Médico-Pédagogique provincial, 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, mais n'a pas fait l'objet d'un suivi régulier jusqu'à présent. Coordonnées (Lambert Belge 1972) : X 238178 - Y 30677



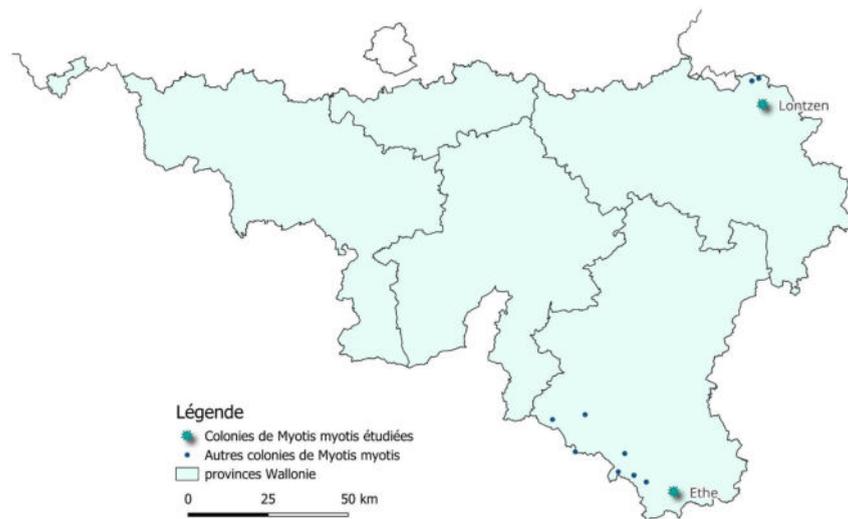
← Vue du bâtiment de l'IMP dans le grenier duquel se trouvent les chauves-souris, depuis la cour de l'IMP côté sud
↑ Vue d'une partie du grenier de l'IMP (NB : des caissons en grillage protègent les détecteurs à incendie et évitent que les chauves-souris s'en approchent de trop) → Vue de la colonie au-dessus d'un des caissons en grillage

Maison privée : 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. Une intervention conjointe du DNF et de Plecotus a été réalisée en juin 2020 suite à un appel SOS chauves-souris dans la maison voisine (Rue Nouvelle 43, il s'agit de maisons de rangée), qui avait permis l'observation de 65 *Myotis myotis* dans le grenier. Des travaux réalisés dans cette maison de la Rue Nouvelle 43 ont eu pour effet d'empêcher les chauves-souris provenant du numéro 45 de passer dans la maison du numéro 43. Aucun contact n'avait été établi avec les propriétaires de la maison 45 avant 2023. Les chauves-souris occupent un grand volume dans cette maison, constitué du comble au-dessus du garage et d'un étage supérieur de comble sur toute la surface de la maison. Coordonnées (Lambert Belge 1972) : X 238279 - Y 30593

Nos observations de 2023 confirment l'utilisation des deux gîtes par la même colonie de chauves-souris et le passage d'une partie des effectifs d'un gîte à l'autre au cours de la saison. Le suivi de ces deux gîtes sera réalisé par Plecotus à l'avenir.



← Vue extérieure de la maison, Rue Nouvelle 45 (photo Google Street View, aout 2023) → Vue d'une partie de la colonie dans le comble de cette maison



Carte 1 : Emplacement des colonies de *Myotis myotis* étudiées (Lontzen et Ethe) et celles prises en considération pour le choix des sites étudiés

2.2 Balises GPS : choix des modèles et paramétrage

Une étude de la bibliographie a été menée en début de projet dans le but d'identifier des chercheurs familiers avec l'utilisation de balises GPS pour des chauves-souris et de se faire une idée des types de balises, systèmes de fixation, exploitation des données, etc qui étaient envisageables.

Une série de producteurs de balises GPS ont également été contactés pour savoir s'ils proposaient du matériel compatible avec une utilisation sur des chauves-souris telles que le grand murin. Les questions de poids (et dimensions), de prix, de nombre de mesures, de capacité d'enregistrement ont été comparées, de même que la capacité de récupérer les données à distance (ou pas).

Des contacts ont été pris avec différents chercheurs et chiroptérologues afin d'échanger sur le matériel, les pratiques, les paramétrages. Il s'agit entre autres de Olivier Vinet (FR), Yannick Beucher (FR), René Janssen (NL), Daan Dekeukeleire (BE), Oliver Lindecke (DE).

C'est dans ce contexte qu'est née une collaboration avec le chercheur allemand Oliver Lindecke, qui travaille au sein du "Bat Navigation Lab" à l'université d'Oldenburg. Nous avons échangé sur nos expériences et pratiques respectives, Oliver ayant déjà mené avant 2023 une étude avec pose de balises GPS sur des grands murins en Allemagne. Il nous a proposé un coup de main et un support matériel (fourniture de balises GPS et d'émetteurs VHF supplémentaires) en échange d'un partage des données, ce qui a été accepté par le comité d'accompagnement du présent marché.

Notre choix s'est porté sur l'achat de 12 balises de marque Lotek (UK) :

- 6 **Lotek PP-SOB-10** : PinPoint Store-On-Board de 1.0 g avec un coating rose (<https://www.lotek.com/products/pinpoint-gps-store-on-board/>). Nombre théorique de fix : 80 - 130
- 6 **Lotek PP-BCN-10** : PinPoint Beacon de 1.5 g avec un coating rose (<https://www.lotek.com/products/pinpoint-gps-beacon/>). À notre demande, la technologie VHF (normalement incluse dans la balise) et l'antenne qui y est liée ont été supprimés au moment de la fabrication sur les balises que nous avons commandées. Nombre théorique de fix : 120 - 160

Oliver Lindecke a par ailleurs mis à notre disposition des balises de marque Technosmart (IT)

- 6 **Gipsy 6** de 1.5 - 2.0 g (<https://www.technosmart.eu/gipsy-remote-copy/>)

Chaque balise GPS a été couplée avec un émetteur VHF (émetteur VHF collée à la superglu sur la balise GPS) :

- 12 **Lotek PicoPip VHF** radio transmitter de 0.35 g (<https://www.lotek.com/products/vhf-avian-tags-for-smaller-species/>)
- 12 **Telemetry Dessau VHF V1** ou **V3** de 0.37 g (<https://www.telemetry-service.de/produkte>)

En fonction de la balise GPS utilisée, de l'émetteur VHF utilisé et du poids de l'animal, l'ensemble de l'équipement (balise GPS + émetteur VHF + colle) pèse entre 5 et 10% du poids de l'animal.



à gauche : balise Lotek PP-BCN-10 + émetteur PicoPip VHF (collé dessus)
à droite : balise Technosmart Gipsy 6 + émetteur VHF Telemetrie Dessau V3

Enfin, nous avons également travaillé en collaboration avec Antoine Mertens, chercheur vétérinaire au Service de Santé et Pathologies de la Faune Sauvage à l'Université de Liège. Dans le cadre de sa thèse sur les virus zooniques chez les chiroptères de Wallonie, il a bénéficié des sessions de capture organisées dans le contexte de ce marché pour réaliser des prélèvements de salive et de guano sur les grands murins capturés et non équipés d'une balise.

2.3 Organisation des sessions de capture et de suivi

Une série d'étapes préparatoires aux sessions de capture ont été réalisées en amont de celles-ci.

Une demande d'autorisation de capture a été introduite auprès des services du SPW compétents début mars 2023 pour la capture de grands murins en sortie de gîte et l'équipement de 12 individus (6 par colonie) avec les balises Lotek. L'autorisation a été accordée par le SPW fin mars 2023. Suite à la mise en place de la collaboration avec Oliver Lindecke, une demande d'avenant pour l'équipement de 12 individus supplémentaires a été introduite début juin 2023 et a été octroyée fin juin 2023 par l'administration.

Les cantonnements DNF concernés (Eupen et Virton) ont été avertis des modalités de l'étude préalablement aux captures et ont été tenus informés des principaux résultats en cours de session de terrain. Il en va de même du comité d'accompagnement du présent marché et des propriétaires, gestionnaires ou occupants des bâtiments concernés par l'étude.

Du matériel de télémétrie a été acquis pour les besoins de l'étude :

- un **récepteur Sniffer 4** de production artisanale (Bryan Ackerly - AUS)
- une **antenne VHF Yagi-3 éléments** souple de marque Perdix (FR)
- du matériel de marque Wagener (DE) : un **récepteur** modèle DJ-X11 + une **antenne** HB9CV
- une **antenne omnidirectionnelle** de marque Wimo (DE)

En termes de matériel de capture, nous avons rassemblé tout le matériel requis et bricolé différents systèmes pour permettre une capture en sortie de gîte.

- Pour Lontzen : capture à l'aide de 2 harp trap (fabrication de pieds plus courts que ceux d'origine) entourés de bâches étanches
- Pour Ethe : construction d'un système de nasse de capture adapté à la configuration des lieux avec un point d'émergence en sous-corniche.

3/ Travail de terrain : résultats

3.1 Sessions de capture réalisées

3.1.1 Lontzen

La première session de terrain a été organisée à Lontzen. La première capture a eu lieu le 30-06-2023 avec le dispositif suivant : un harp-trap double rang était installé de chaque côté du tunnel et tout le pourtour des harpes était obstrué avec des bâches, afin de forcer les individus à passer dans les harpes.

33 individus ont été capturés, toutes femelles, dont 25 allaitantes. Après cela, les harp-traps ont été ouverts pour permettre aux individus restants de sortir librement.

Une sélection de 12 individus, toutes femelles allaitantes, et parmi les plus lourdes, a été équipée d'une balise GPS + VHF (voir tableau 1). Les balises les plus lourdes ont été collées sur les individus les plus lourds également, c'est-à-dire les plus robustes et de ce fait les plus à même à porter une charge plus importante.

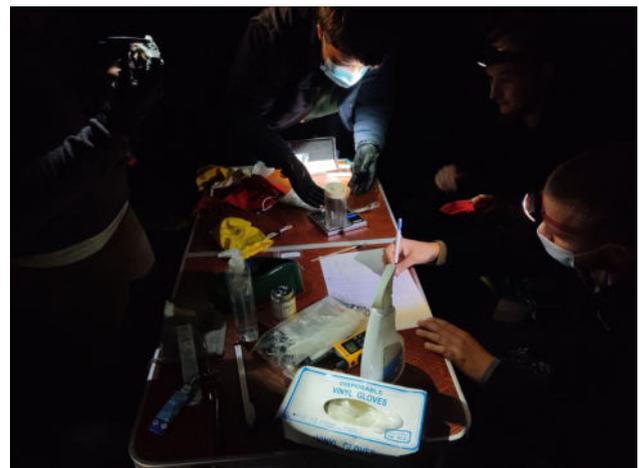
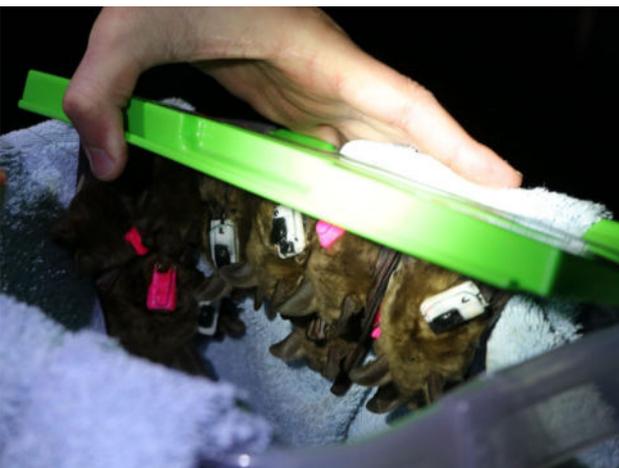
Individu	Poids (g)	Avant-bras (mm)	Balise GPS type	Balise GPS ID	Balise GPS étiquette	VHF type	VHF fréquence (MHz)
M1	24,4	60,98	Lotek SOB	51699	51699	Lotek Picopip	150.955
M2	25,0	62,1	Lotek SOB	51698	51703	Lotek Picopip	150.991
M3	26,5	61,36	Lotek SOB	51703	51698	Lotek Picopip	150.642
M4	28,5	62,2	Technosmart	2	2_22	V1 ou V3	150.156
M5	27,5	63,71	Technosmart	4	4_22	V1 ou V3	150.195
M6	30,6	62,1	Technosmart	1	1_23	V1 ou V3	150.234
M7	26,8	62,3	Technosmart	2	2_23	V1 ou V3	150.254
M8	26,0	61,4	Technosmart	3	3_23	V1 ou V3	150.273
M9	27,0	63,3	Technosmart	4	4_23	V1 ou V3	150.304
M10	26,6	63,95	Lotek Beacon	57269	57269	Lotek Picopip	150.369
M11	25,0	59,5	Lotek Beacon	57264	57264	Lotek Picopip	150.977
M12	26,0	63,14	Lotek Beacon	57265	57265	Lotek Picopip	150.593

Tableau 1 : aperçu des grands murins femelles allaitantes équipées à Lontzen

Une deuxième session de capture a été organisée à Lontzen le 06-07-2023 dans le but de récupérer les balises sur les individus. Étant donné que le 30-06-2023, environ 50 % des individus passaient à travers les harpes des harp-trap, le dispositif de capture a été adapté pour la deuxième session : l'entrée N du tunnel a été complètement obstruée par des bâches et les 2 harps-traps ont été placés en série, l'une devant l'autre, au niveau de l'entrée sud. Les côtés ainsi que le haut des harps-traps ont à nouveau été obstrués par des bâches. Afin de minimiser le dérangement, les individus capturés et non porteurs de balises ont été relâchés peu de temps après leur capture, sans prise de mesures. Entre 30 et 40 individus ont été relâchés de la sorte, seuls 2 individus porteurs d'une balise et 2 individus qui avaient visiblement perdu leur balise (présence d'une plage de colle sur les poils du dos) ont été recapturés. Les autres individus (porteurs d'une balise ou non) restaient dans le tunnel, ayant probablement conscience de la présence des harp-traps. Après 2 heures de capture et face au constat du refus de sortir des individus encore présents dans le tunnel, nous avons décidé d'ouvrir le dispositif afin de les laisser sortir librement.



↖ Le harp-trap est en place côté sud, la capture peut commencer
↑ *Myotis myotis* capturé
↗ Les individus sont pesés afin de sélectionner les plus lourds pour les équiper d'une balise GPS
← Pour équiper un individu, on place la chauve-souris à plat, on lui couvre la tête avec un pochon et on commence par lui couper les poils à mi-hauteur au milieu du dos → puis on pose de la colle chirurgicale sur les poils, ensuite ↙ on pose la balise sur la colle. On attend un peu pour que ça sèche et ↘ on place les individus 10-15 minutes dans une grande boîte pour que la colle sèche bien avant de les relâcher
↘ L'équipe de capture prend toutes les précautions nécessaires pour éviter la transmission de maladies.



3.1.2 Ethe

La deuxième session de terrain a été organisée à Ethe. Les captures se sont déroulées à l'IMP uniquement. Étant donné que le point d'émergence de la colonie se trouve sous la corniche au-dessus du 2^e étage, nous avons construit un dispositif de capture adapté selon un modèle utilisé dans le Languedoc-Roussillon pour capturer des grandes noctules en sortie de cavité d'arbre.

Il s'agit d'un panier à linge pop-up retourné avec l'ouverture vers le bas. Un des côtés est remplacé par un filet japonais, un trou est ouvert dans le haut pour correspondre au point de sortie des chauves-souris et une poche en coton est cousue dans le bas (pour récolter les chauves-souris). Un rabat en coton ferme une petite ouverture sur le côté qui permet de récupérer les chauves-souris tombées dans la poche.

La mise en place du dispositif sous toiture se fait via une fenêtre du 2^e étage par une personne encordée.



↖ Vue du dispositif de capture avant installation ↑ Mise en place en sous-corniche / sous-toiture depuis la fenêtre du 2^e étage, au-dessus duquel se trouve le point d'émergence ↗ Le dispositif est prêt : les chauves-souris sortent par un trou à l'intersection du mur et de la sous-toiture, tombent dans la poche en coton et sont récupérés par un chiroptérologue via l'ouverture derrière le rabat (fermé avec des pinces à linge sur l'image)

La première capture à Ethe a eu lieu le 12-07-2023. 25 individus ont été capturés, 2 mâles sub-adultes et 23 femelles dont 21 allaitantes. Après cela, le dispositif de capture a été enlevé pour permettre aux individus restants de sortir librement.

Individu	Poids (g)	Avant-bras (mm)	Balise GPS type	Balise GPS ID	Balise GPS étiquette	VHF type	VHF fréquence (MHz)
E1	26,5	61,12	Lotek Beacon	57269	57269	Lotek Picopip	150.832
E2	25,9	63,29	Lotek SOB	51699	51699	Lotek Picopip	150.463
E3	24,3	58,49	Lotek SOB	51698	51703	Lotek Picopip	150.911
E4	27,0	64,48	Lotek Beacon	57268	57268	Lotek Picopip	150.530
E5	27,5	59,09	Lotek Beacon	57267	57267	Lotek Picopip	150.005
E6	26,3	63,00	Lotek Beacon	57266	57266	Lotek Picopip	150.934
E7	26,4	59,03	Lotek SOB	51701	51701	V1	150.207
E8	26,0	61,45	Lotek SOB	51700	51700	V1	150.289
E9	25,5	63,60	Lotek SOB	51702	51702	V3	150.303
E10	29,2	63,29	Technosmart	3_23	3	V3	150.273
E11	28,5	62,15	Technosmart	4_22	4	V3	150.287
E12	27,5	59,86	Technosmart	1_23	1	V3	150.124

Tableau 2 : aperçu des grands murins femelles allaitantes équipées à Ethe

La seconde capture à Ethe a eu lieu le 18-07-2023 avec le même dispositif de capture. 19 grands murins ont été capturés : 10 juvéniles nés en 2023 (6 femelles et 4 mâles), 1 femelle nullipare d'un an et 8 femelles allaitantes. Aucun individu porteur d'une balise n'a été recapturé. Comme à Lontzen, nous avons constaté un refus manifeste d'une série d'individus, et en particulier ceux équipés d'une balise, de sortir du gîte et de se faire prendre dans le dispositif de capture. Nous sommes par ailleurs quasi certains de l'existence d'un point de sortie alternatif (vraisemblablement peu utilisé en temps normal), puisqu'on n'entendait plus certains émetteurs VHF dans le gîte en fin de capture, ce qui signifie qu'au moins une partie des individus équipés sont sortis par un autre point de sortie.

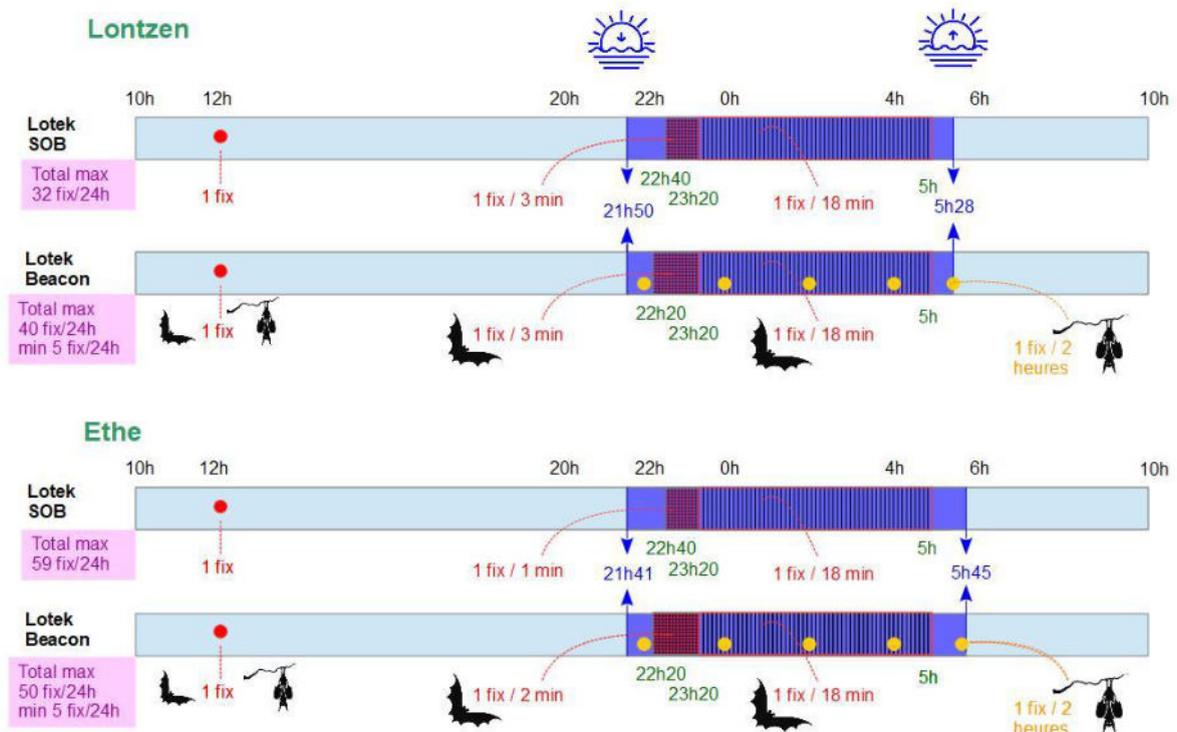


↪ Les individus équipés patientent dans une boîte, le temps que la colle soit bien sèche ↑ Femelle grand murin équipée d'une balise Lotek ↻ Les individus qu'on n'équipe pas font l'objet d'un swab buccal et de récoltes de guano pour alimenter la thèse de A. Mertens

3.2 Paramétrage des balises GPS et test drone

3.2.1 Paramétrage des balises

Nous avons programmé les balises de telle sorte qu'aucun fix¹ ne soit réalisé la première nuit (nuit de capture) pour éviter de mesurer un comportement aberrant suite au stress de la capture. Le paramétrage des balises GPS a été réalisé comme suit pour tous les jours ultérieurs, le premier fix étant donc celui de midi le jour suivant la capture :



Représentation schématique des enregistrements de la position X-Y-Z du GPS (= fix) sur une journée. Notons que les balises Beacon enregistrent l'activité (le mouvement) de la chauve-souris en continu et ont un paramétrage différent selon que la chauve-souris est active ou inactive (cf symboles).

¹ un fix est un enregistrement GPS des données X, Y et Z par la balise

3.2.2 Tests de calibrage des balises

Des tests de calibrage de balises GPS ont été réalisés à l'aide d'un drone le 25/08/2023 à Mirwart, dans le but de confronter les mesures d'altitude (paramètre Z) mesurées par les balises avec différentes altitudes connues. Pour cela, nous avons collé 4 balises sur un bâton, accroché l'horizontale sous le drone, et déporté d'une distance de 2m sous le drone à l'aide d'un fin fil en nylon. Nous avons ensuite fait monter le drone à différents paliers d'altitude (point stationnaire de plusieurs minutes à chaque palier) et comparé l'altitude connue du drone avec celle enregistrée par les balises.



↖ Un bâton sur lequel sont attachées 4 balises activées (ici 2 lors d'un premier test) est attaché au drone par un fin fil de nylon, puis ↗ le drone monte à différents paliers d'altitude fixe

Les résultats de cette phase de calibrage sont développés au point 4.1.

3.3 Pistage télémétrie

En parallèle des enregistrements automatiques par les balises GPS, nous avons également réalisé une série de recherches par télémétrie VHF classique

- en journée pour vérifier quel individu se trouve dans quel gîte
- en début de soirée et/ou de nuit pour tenter d'identifier les directions prises par les individus et/ou les zones de chasse.

Les sessions de pistage de nuit ont été réalisées soit depuis un point fixe, soit en voiture en équipe mobile. Le fait qu'on ait 12 individus équipés en même temps lors des 2 sessions, que les grands murins volent parfois très vite et que leur rayon d'action soit très grand (de l'ordre de 15 km) rend l'opération de télémétrie particulièrement fastidieuse. Nous avons réalisé un suivi sur 6 soir*équipe à Lontzen et 7 soir*équipe à Ethe.



↖ ↑ Télémétrie nocturne en point fixe, afin d'identifier des secteurs d'activité ou des directions de vol pour les différents individus à l'aide d'azimuts ↗ Télémétrie en journée pour vérifier la présence des individus équipés dans les gîtes connus

3.3.1 Présence aux gîtes en journée

Les tableaux 3 et 4 ci-dessous présentent les résultats des suivis télémétriques en journée pour les 12 individus équipés dans chaque colonie. En plus de cela, certaines balises récupérées nous ont permis d'identifier des gîtes secondaires.

Quelques éléments sont intéressants à constater sur base ces observations :

- le lendemain des captures (le 01/07 et le 13-07), une part sensible (plus de la moitié) des individus n'est pas présente dans leur gîte habituel, mais a visiblement passé la journée ailleurs. Le dérangement lié à la capture est probablement l'explication à ce comportement. Ce qui est par contre rassurant, c'est que dès la nuit suivant la capture, vers minuit ou 1h, tous les individus équipés étaient revenus à leur gîte, tant à Ethe qu'à Lontzen.
- A Ethe, alors que les captures ont toutes été réalisées à l'IMP, 3 individus ont passé 1 jour (E4) ou toute la semaine de suivi (E1 et E6) dans la maison de la Rue Nouvelle. Les individus des deux gîtes semblent bien constituer un seul et même groupe.
- Le 01/07, nous avons cherché sans succès en journée la présence d'individus équipés au niveau des colonies connues suivantes : Église Saint-Hubert à Gemmenich, Château des Genêts à Plombières
- Le 13/07, nous avons cherché sans succès en journée la présence d'individus équipés au niveau des colonies connues suivantes : Abbaye d'Orval, Vallée de la Soye à Limes (Meix)

Pour les individus pour lesquels nous avons récupéré les balises, nous avons essayé de compléter les données de gîte diurne récoltées via la télémétrie VHF en journée par les données des balises GPS. Ceci peut se faire soit via le fix de midi (si disponible), soit par déduction sur base des derniers points du matin / premiers points du soir (couplé avec les données de température et de mouvement de l'individu pour les balises Beacon).

Individu / Date	20230701	20230702	20230703	20230704	20230705	20230707	20230711	Commentaire
M1	x	x	x	x	x	0	0	
M2	x	x	x	x	x	0	0	
M3	x	x	x	x	x	x	x	
M4	-	x	x	-	x	-	-	VHF peu fiable
M5	-	x	x	x	x	0	0	
M6	-	x	x	x	x	0	0	
M7	-	x	x	x	x	-	x	
M8	-	x	x	0	0	0	0	Légende
M9	x	x	x	x	x	-	x	x = tunnel
M10	x	x	x	0	0	0	0	- = absent
M11	-	x	x	x	x	x	x	0 = balise tombée
M12	-	x	x	x	x	-	-	

Individu / Date	20230713	20230714	20230715	20230716	20230717	20230718	20230719	20230727	Légende
E1	C	2	2	2	2	2	2	0	1 = IMP
E2	-	1	1	1	1	1	1	?	2 = Rue Nouvelle
E3	B	1	1	-	1	1	1	0	- = absent
E4	2	1	1	1	1	1	1	1	0 = balise tombée
E5	1	1	1	1	1	1	1	0	? = signal difficile à interpréter
E6	A	2	2	2	2	2	2	0	
E7	1	1	1	1	1	-	-	?	A, B, C = voir dans le texte
E8	1	1	1	1	1	1	1	1	
E9	1	1	1	1	1	1	1	?	
E10	-	1	1	1	1	1	1	0	
E11	1	1	1	1	1	1	1	1	
E12	-	1	1	1	1	1	1	1	

Tableaux 3 (gauche) et 4 (droite) : aperçu des gîtes diurnes de chaque individu à Lontzen (tab. 3) et à Ethe (tab. 4) sur la durée du suivi.

C'est ainsi que nous avons identifié 4 gîtes alternatifs potentiels :

- (A) à Ethe, l'individu E6 a probablement passé la journée du 13/07 à la **Ferme du Taillis**, Rue Perdue à Saint Léger : <https://maps.app.goo.gl/xS2ZpvZdphfRZnKD8>. Des contacts doivent encore être pris avec les propriétaires pour organiser une visite des bâtiments.
- (B) à Ethe, l'individu E3 a passé la journée à la **Ferme de Bar**, Rue de Bar 2 à Virton: <https://maps.app.goo.gl/oU7Y19puAhpfgGJu9>. Nous avons pu visiter les combles de cet ensemble de bâtiments. Il y a du guano épars (d'une petite et d'une grande espèce) dans deux grands combles, ce qui confirme qu'il y a du passage de chauves-souris. Le semis de guano est lâche, donc ce n'est probablement rien de plus que du passage occasionnel et un gîte de transit.
- (C) à Ethe, l'individu E1 a très probablement passé la journée dans un site souterrain. En effet, la température de sa balise est restée à 9°C toute la journée et son activité était beaucoup plus basse ce jour-là que les autres jours, lorsqu'elle était dans la colonie. Son activité faible laisse penser qu'elle était en léthargie ce jour-là. Vu l'emplacement des dernières données en soirée et premières données au matin, il semble qu'elle se soit arrêtée dans un des **sites de captage d'eau potable de Valvert** qui se trouvent ici non loin de la Rue du Bois sur la commune d'Etalle : <https://maps.app.goo.gl/KU9RjnGUvKFoRkr57>. Des contacts doivent encore être pris avec Valvert pour organiser une visite des lieux.

- Et pour finir, à Lontzen, l'individu M1 a fait une halte d'environ 1 h en cours de nuit (vers 3h du matin) à la **Waldenburghaus**, Rue Haute à Eupen : <https://maps.app.goo.gl/PPfx18PbfdYv9bGX8>. Des contacts doivent encore être pris avec les propriétaires pour organiser une visite des bâtiments.

3.3.2 Données de télémétrie VHF nocturne

En plus de vérifier la présence des individus équipés dans la colonie, le but était aussi d'éventuellement déterminer si une balise était perdue quelque part ailleurs, voire de la retrouver, bien que très hasardeux. On a malgré tout tenté des sessions de télémétrie à plusieurs reprises, en démarrant à la colonie pour détecter tant que possible quels individus étaient présents au moment de l'envol et tant que possible d'identifier la direction de l'envol, puis d'essayer de détecter des individus sur le terrain en vue d'identifier leur zone de chasse ou de les surprendre sur leur route de vol. Au total, 21 des 24 individus ont été contactés au moins une fois, soit à l'envol depuis la colonie, soit plus tard dans la nuit.

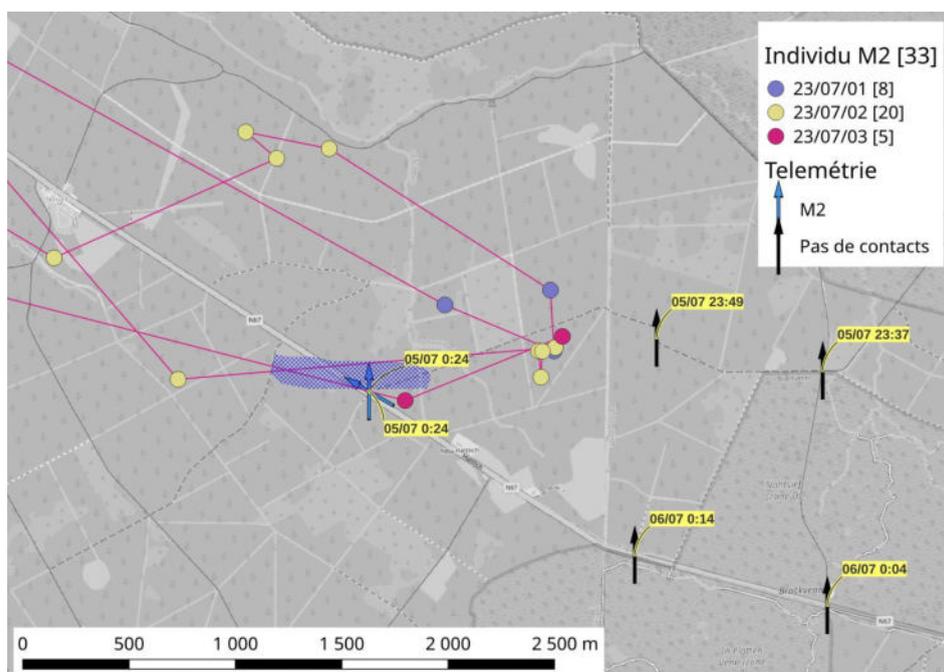
Lontzen		Ethe	
Individu	Nombre de contacts	Individu	Nombre de contacts
M1	5	E1	1
M2	4	E2	1
M3	1	E3	3
M4	1	E4	6
M5	1	E7	4
M6	4	E8	10
M8	2	E9	5
M9	4	E10	6
M10	7	E11	9
M11	1	E12	12
M12	1		
Total (11 individus)	31	Total (10 individus)	57
Recherche sans contacts	9	Recherche sans contacts	10

Tableau 5 : Synthèse des contacts par télémétrie répertoriés sur couche SIG (localisation X-Y et azimut) ainsi que les recherches infructueuses.

Plusieurs cas de figures sont à différencier parmi nos résultats, chacun illustré par une carte :

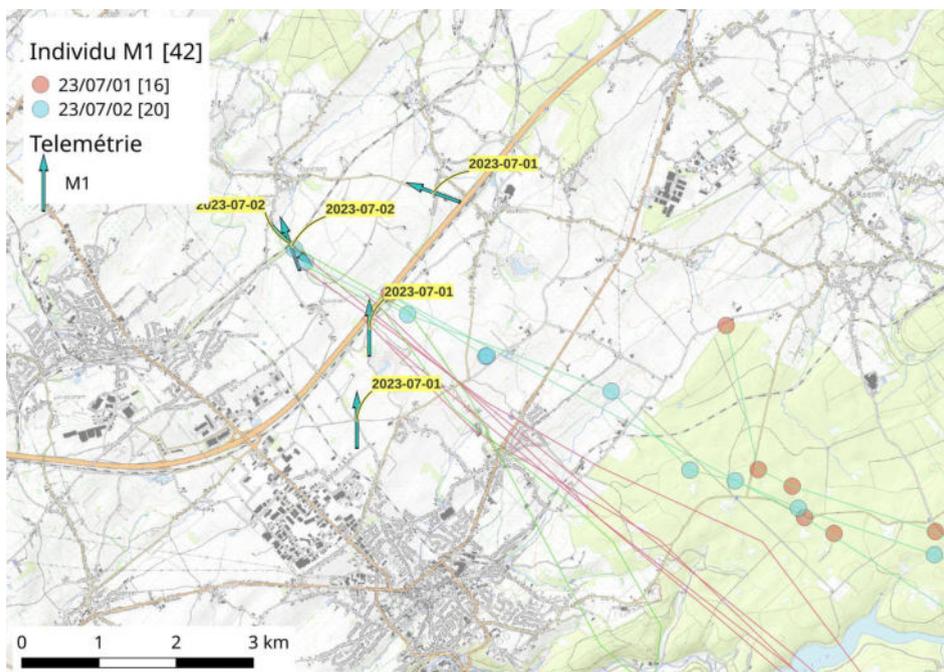
- **(a)** contact par télémétrie et balise GPS récupérée,
 - **(a.1)** confirmant les localisations GPS
 - **(a.2)** indiquant de possibles terrains de chasses non révélés par le GPS
- **(b)** contact par télémétrie mais pas de récupération de la balise. Selon le nombre de contacts, il est possible de faire des hypothèses sur des terrains de chasse inconnus. Ceci étant dit, on a peu d'indications très nettes de nouveaux terrains de chasse.

Cas de figure (a.1) Confirmation d'un trajet et site de chasse de l'individu M2 (Lontzen). La balise M1 a été retrouvée sous la colonie dans le tunnel le 4/7 (cf. tableau 6), nous indiquant ainsi son site de chasse. Nous avons prospecté de nuit le lendemain sur le site de chasse de M1 afin de chercher si d'autres individus exploitaient le même site. Malgré 4 longues écoutes, aucun contact n'a pu être obtenu mais lors d'un dernier arrêt sur la route du retour, c'est l'individu M2 qui a été repéré. On a pu garder le contact durant une bonne 10^{aine} de minutes puis celui-ci s'est éloigné vers l'ouest. Il est assez probable qu'il était en chasse (partie droite de l'aire indiquée sur la carte) avant de reprendre sa route vers la colonie. Lorsqu'on a analysé les données du GPS il a été intéressant de constater que cet individu est passé exactement à cet endroit la nuit du 2 au 3 juillet, soit 48h plus tôt.



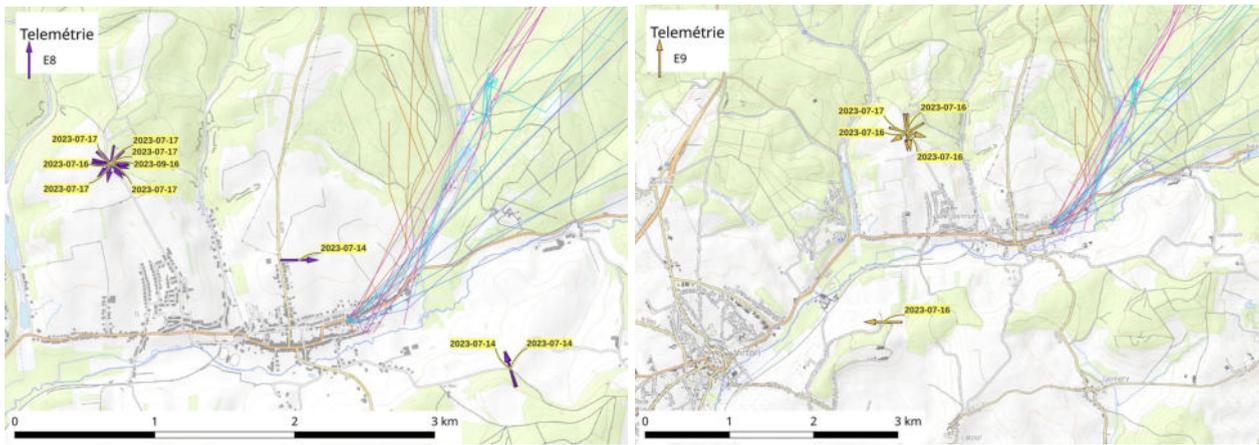
Carte 2 : Carte retraçant l'historique des contacts GPS et de télémétrie de l'individu M2 sur site de chasse. L'aire en bleu matérialise la localisation probable du contact de télémétrie.

Cas de figure (a.2) L'individu M1 a été chasser deux nuits dans les Hautes-Fagnes mais quelques contacts laissent penser qu'il a circulé ou chassé vers le village de Lontzen avant de partir vers le sud-est.

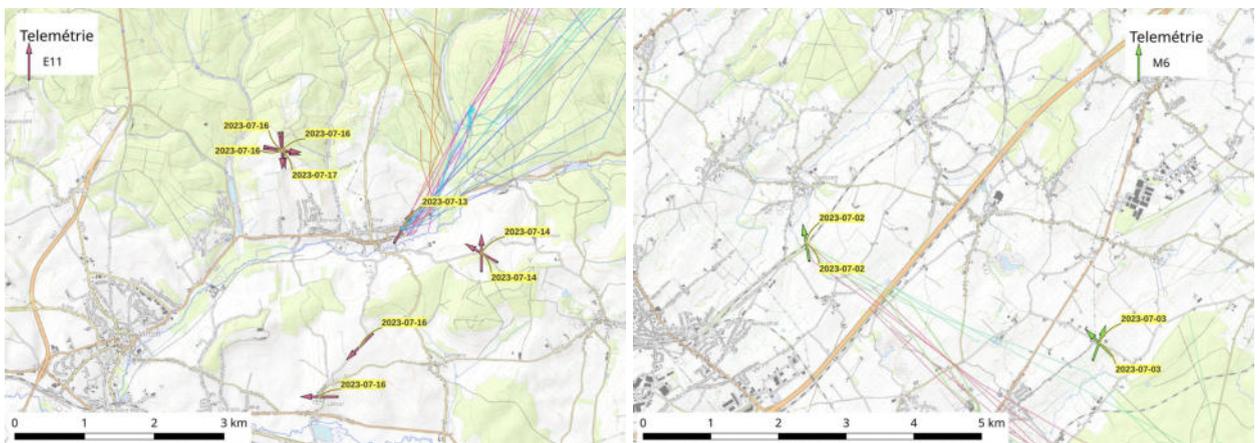


Carte 3 : Certaines directions de contacts télémétriques pourraient venir de l'individu en déplacement le long des tracés GPS ou indiquer que l'individu a chassé dans les environs de la colonie avant de prendre la direction du sud-est. NB. Les deux flèches du bas pointent par défaut vers le nord mais l'azimut n'a pas pu être déterminé.

Cas de figure (b) Plusieurs contacts d'individus dont la balise n'a pas été récupérée pointent visiblement vers le nord et nord-est de la colonie de Ethe, c'est-à-dire les orientations connues grâce aux GPS des autres individus (par exemple E7 ou E10). Par contre, d'autres contacts télémétriques pourraient indiquer de nouveaux sites de chasse : vers les vallées de la Vire et du Ton ou les zones humides de Latour (E8, E9 et E11) et vers les bois au sud de La Calamine (M6)



Cartes 4 : Indications que les individus E8 (↖), E9 (↗) et E11 (↙) ont peut-être aussi été vers le sud-ouest (vallées de la Vire et du Ton) ou l'individu M6 entre Lontzen et La Calamine (↘).



3.4 Recherche des balises GPS

La récupération des balises est l'un des enjeux majeurs de cette étude car elle conditionne l'accès aux données GPS stockées dans la balise. Nous y avons de ce fait consacré une énergie considérable et organisé des visites répétées des gîtes jusqu'à plusieurs semaines après la fin des sessions de capture pour maximiser les chances de retrouver un maximum de balises. La récupération des balises a été réalisée par recapture (2 individus à Lontzen), mais surtout par collecte des balises tombées dans le gîte de la colonie : 5 balises à Lontzen, 4 balises à l'IMP et 2 balises à la Rue Nouvelle à Ethe. Il est à ce titre important de souligner que la couleur des balises conditionne beaucoup la facilité de les retrouver dans le gîte. Au total, 13 balises sur 24 ont été récupérées, 9 d'entre elles ont fourni des données exploitables (voir tableau 3).

	Lotek SOB	Lotek Beacon	Technosmart	TOTAL
Lontzen	nombre - ID	nombre - ID	nombre - ID	
Equipé	3	3	6	12
	M1-M2-M3	M10-M11-M12	M4 à M9	
Récupéré	2	2	3	7
	M1-M2	M10-M11	M5-M6-M8	
Exploitable	2	1	1	4
	M1-M2	M10	M5	
Ethe	nombre - ID	nombre - ID	nombre - ID	
Equipé	5	4	3	12
	E2-E3-E7-E8-E9	E1-E4-E5-E6	E10-E11-E12	
Récupéré	1	4	1	6
	E3	E1-E4-E5-E6	E10	
Exploitable	1	4	0	5
	E3	E1-E4-E5-E6		

Tableau 6 : synthèse des balises GPS - nombre de balises collées (équipé), retrouvées (récupéré) et porteuses de données GPS exploitables dans les deux colonies (exploitable).

On remarque dans le tableau 5 que des problèmes techniques récurrents sont à déplorer avec les balises Technosmart. En effet, sur 4 balises de ce type récupérées, une seule a fourni des données exploitables, les autres n'ont pas enregistré les localisations tel que paramétré au moment du placement. Il s'agit probablement d'un problème technique au moment de l'activation de la balise, étape complexe à mener à l'aide d'un aimant et impossible à contrôler via l'interface de paramétrage (X manager). Un système de led clignotant permet en théorie de connaître l'état de la balise, mais cela semble peu fiable en pratique.

Une balise Lotek Beacon a fait défaut également. Après renvoi de la balise chez Lotek, il s'est avéré que le grand murin avait mâché / mordu la balise au point d'endommager son coating et ses circuits électroniques. Suite à cette détérioration de la protection extérieure de la balise, des dégâts liés à l'eau / l'humidité se sont produits. Aucune donnée n'a pu être récupérée de cette balise. Une balise Lotek SOB a été récupérée avec une boucle métallique arrachée (ces boucles servent à connecter la balise à l'ordinateur). Nous avons malgré tout pu lire les données après avoir ressoudé une nouvelle petite boucle sur le circuit. Les autres balises Lotek ont permis de collecter des données sans problème technique.

Au final, nous avons donc équipé 24 grands murins, récupéré 13 balises (soit 54%) et pu exploiter les données sur 9 balises (soit 38 % des balises). Ces chiffres sont supérieurs à ceux spécifiés dans le cahier de charges du marché, à savoir une analyse pour 6 individus.

4/ Analyse des données des balises GPS

4.1 Méthodologie

4.1.1 Description des données brutes et évaluation de la précision

Les appareils récupérés qui ont fonctionné correctement nous ont donc apporté des jeux de données à exploiter en SIG et par traitement via des outils spécifiques tels que le package R 'move'. Pour déterminer des hauteurs de vol du grand murin lors de ses différentes phases d'activité (chasse, vol de transit, milieu ouvert, milieu confiné), nous avons porté une attention toute particulière à vérifier la pertinence des valeurs obtenues. En effet, il était connu avant de lancer les observations de terrain que plusieurs limitations pourraient s'avérer rédhibitoires si elles n'étaient pas correctement évaluées :

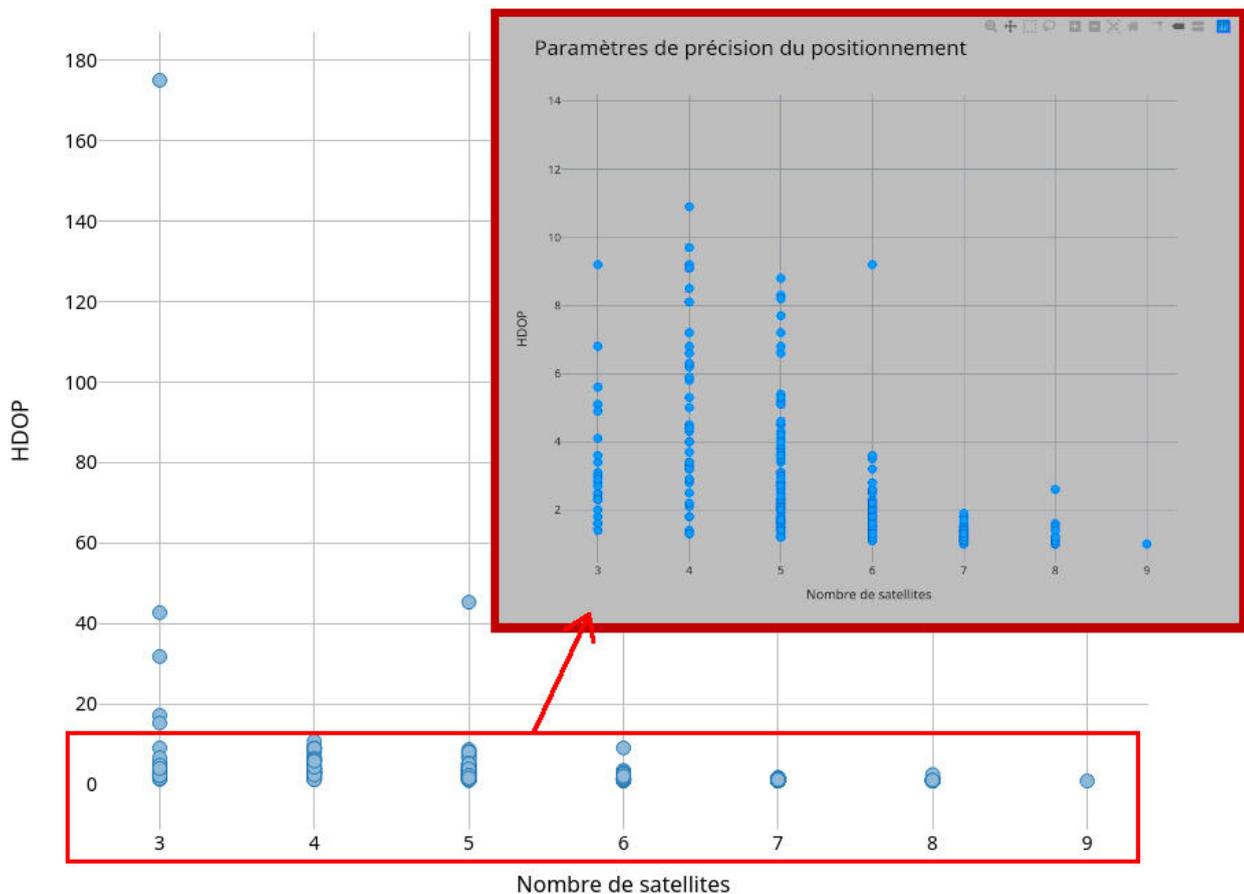
- les GPS, quel que soit le modèle, sont destinés à mesurer un positionnement horizontal (X-Y) par triangulation sur base d'une constellation de satellites en déplacement rapide ou géostationnaires. Par essence, l'information de l'élévation (Z) est moins précise que X et Y puisque tous les satellites se situent au-dessus de nos têtes ! L'ordre de grandeur de cette imprécision est communément reconnue pour être trois fois plus grande en Z qu'en X et Y.
- l'utilisation d'appareils miniaturisés, de faible autonomie, est une contrainte qui ne permet pas de multiplier le nombre de positionnements à l'envi. Les 9 appareils ont apporté chacun entre 14 et 77 fix (Lotek) et 270 pour l'appareil Technosmart (dont les données d'élévations se sont avérées inexploitables). Au total, on a pu utiliser 672 fix en X-Y dont 402 avec des données X-Y-Z pertinentes. Si on élimine les fix obtenus par seulement 3 satellites, ce qui correspond à une forte probabilité d'imprécision surtout verticale, ainsi que les fix au niveau des colonies il reste 310 fix. On a encore filtré le jeu de données pour certains calculs spécifiques (mesure de vitesse et d'angle de déplacement) en éliminant des points qui étaient localisés dans les colonies ou considérés trop peu fiables en analysant la combinaison des valeurs de la dilution de précision horizontale (HDOP = *Horizontal Dilution of Precision*), du nombre de satellites et par analyse visuelle. HDOP est la composante horizontale de l'indice GDOP, *Geometric Dilution Of Precision*, qui indique le niveau d'incertitude d'un positionnement par GPS. Cet indice assez complexe dépend du positionnement de la constellation des satellites utilisés, plus la valeur de HDOP ou GDOP est élevée, au moins la position est fiable (mais pas nécessairement fausse !). Après un tel filtrage "sévère" on pouvait compter sur 269 fix.

Site	Individu	Nombre de fix	Nombre de fix (> 3 satellites)	Nombre de fix (calcul de la vitesse)
Lontzen	M1	42	34	29
	M2	33	30	27
	M5	270		
	M10	58	46	39
Ethe	E1	71	66	55
	E3	38	21	14
	E4	69	44	47
	E5	77	56	47
	E6	14	13	11
9 appareils		672 (402 Lotek)	310	269

Tableau 7 : synthèse du nombre d'enregistrements (fix) par les balises GPS récupérées (voir texte pour l'explication des colonnes)

La valeur de HDOP n'est pas strictement corrélée au nombre de satellites. Sur le graphique ci-dessous, on peut confirmer que l'indice HDOP de nos données diminue très fortement (càd gain de précision) à partir de 6 satellites, alors qu'avec 3 satellites, quelques fix témoignent d'une HDOP très élevée. Ceci ne signifie pas que la localisation soit nécessairement inexacte mais bien d'une précision réduite de cette localisation. Il n'existe pas de règle absolue pour décider si un positionnement est correct ou non, on doit juste avoir plus de suspicion à l'égard des fix basés sur 3 ou 4 satellites et/ou dont la HDOP est élevée. Graphiquement on pourrait conclure que les meilleurs fix sont obtenus par au moins 5 satellites et avec un HDOP inférieur à 4. Cette règle ferait hélas perdre beaucoup de données déjà assez peu abondantes.

Paramètres de précision du positionnement



Graphique illustrant la répartition des valeurs de l'indice d'imprécision (HDOP) sur l'ensemble des fix obtenus, en fonction du nombre de satellites qui ont contribué au fix (NB : la valeur du HDOP est bien un indice sans unité, il ne s'agit pas de mètres). Interprétation : plus le HDOP est grand, plus la valeur des X-Y mesurés (et incidemment de Z) est imprécise.

- les positionnements obtenus se réfèrent à l'ellipsoïde basé sur le datum WGS84 (epsg : 4326), la référence de coordonnées géographiques valide sur l'ensemble du globe terrestre. Celui-ci a pour référence d'altitude 0 (Mean Sea Level, voir notamment Péron et al. 2020) une valeur qui est en décalage vertical par rapport au système de coordonnées Lambert Belge de 1972 (epsg : 31370). Ce décalage, variable selon l'endroit où l'on se trouve, doit impérativement être corrigé pour obtenir une élévation correcte en tous points par rapport au niveau du sol (*Digital Elevation Model*) ou de la surface de la végétation (*Digital Surface Model*). Sous nos latitudes, cette correction est de l'ordre de 40-50 m mais elle peut être déterminée très précisément (au centimètre près) grâce à une grille de correction qui nous a aimablement été fournie par Julien Radoux (Earth and Life Institute - UCL). L'étendue des corrections appliquées est réduite, elle varie entre 44.3m et 45.3m. Cette valeur théorique d'environ 45m est très proche de l'évaluation expérimentale obtenue avec les vols de drone déterminée à environ 43m (cf. 4.1.3 ci-après).

Matrice de correction (soustraction)

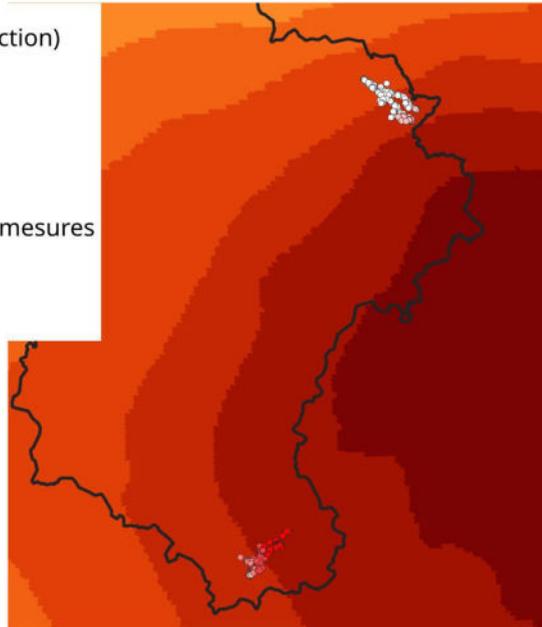
de l'élévation (en mètre)

- 43,1 - 43,5
- 43,5 - 44
- 44 - 44,6
- 44,6 - 45,1
- 45,1 - 45,6
- 45,6 - 46,7

Correction à appliquer sur les mesures

- 44,29 - 44,84
- 44,84 - 45,00
- 45,00 - 45,04
- 45,04 - 45,12
- 45,12 - 45,27

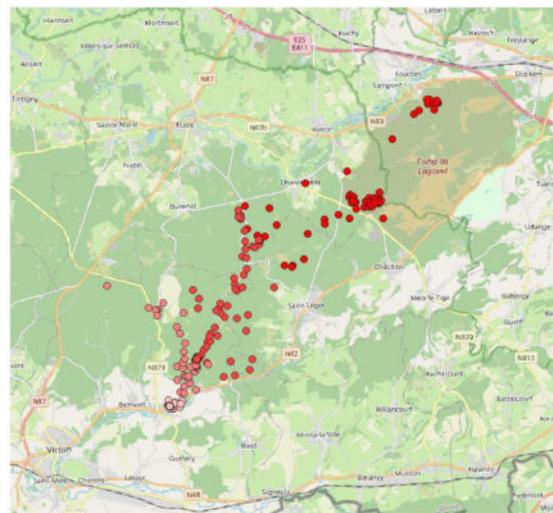
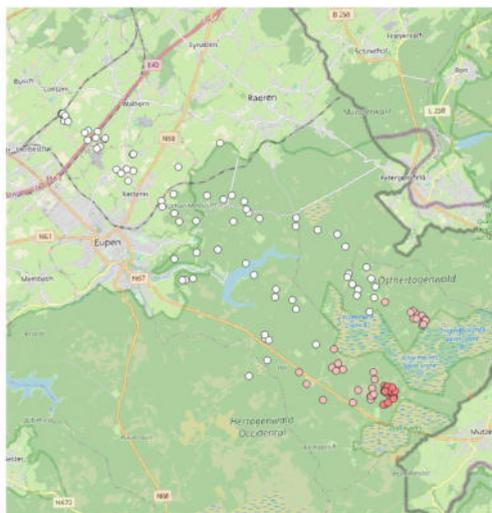
0 10 20 30 40 50 km



Cartes 5 : ↑ Représentation de la matrice de correction des élévations WGS84 vers du Lambert belge 1972. Chaque données de Lontzen et de Ethe obtiennent une valeur propre de cette correction visible en détail sur les deux cadres de zoom ↓

Correction à appliquer (soustraction) sur les mesures

- 44,29 - 44,84
- 44,84 - 45,00
- 45,00 - 45,04



4.1.2 Altitude mesurée des colonies (MNS)

De manière empirique, on a voulu valider les valeurs d'élévation mesurées en des points identifiés mesurés précisément sur les modèles numériques. Pour les deux sites étudiés, on connaît précisément l'altitude absolue des colonies, déterminées sur le MNS moins 1m (choisi arbitrairement) en approximation de la position de la colonie sous la dalle de béton au niveau du ballast de la voie ferrée à Lontzen et sous le faite du bâtiment de l'IMP à Ethe. La détermination de ces valeurs mesurées sur SIG est illustrée sur les captures d'écran ci-dessous.



Profil de mesure sur le MNS pour déterminer l'altitude de la colonie à Lontzen ↑ et Ethe ↓. Le point rouge sur le transect correspond à la position du curseur sur le profil et à l'emplacement exact de la colonie.



Les valeurs clé de cette validation sont reprises dans le tableau suivant. On peut constater que les altitudes obtenues par les GPS sont très proches des vraies valeurs mesurées, bien que les colonies se trouvent sous une toiture et sous une dalle de béton (on voit d'ailleurs assez logiquement que les balises ont moins bien réussi à enregistrer des fix sous la dalle en béton à Lontzen qu'en sous-toiture à Ethe).

	Altitude mesurée (SIG)	Altitude obtenue (balises GPS) Moyenne Médiane	Nombre de fix (+ code balise) enregistrés au niveau de la colonie
Ethe (sous toiture)	245m	248m 244m	50 (E3, E4, E5 ensemble)
Lontzen (sous dalle)	253m	255m 260m	9 (M10)

Tableau 8 : vérification des altitudes mesurées par les balises à un point d'altitude connu, à savoir le gîte

On peut donc conclure que, même avec un nombre assez réduit de points et dans des conditions non-optimales, il est possible d'obtenir une valeur assez précise et fiable d'altitude. C'est une confirmation rassurante pour le reste des analyses opérées sur nos données d'altitude.

4.1.3 Calibration des données d'altitude avec un drone

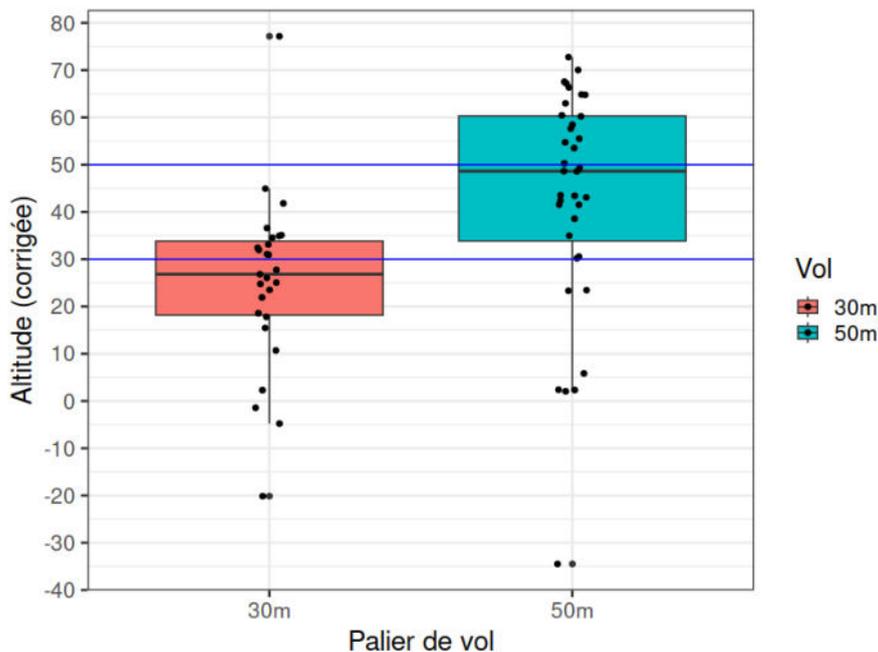
Les mesures de précision de nos balises Lotek, transportées par un drone à une altitude connue confirment d'une part la variabilité des altitudes déterminées par le GPS mais confirment aussi que le fait de regrouper suffisamment de données pour en calculer la médiane et les quartiles permet de s'approcher d'une valeur assez précise de l'altitude réelle. En groupant les données des 4 GPS qui volaient simultanément, les médianes calculées donnent un écart de 3.2m et 1.4m par rapport à la réalité pour les paliers de 30m et 50m respectivement.

Pour les calculs, l'altitude mesurée par les GPS a été corrigée de -44.5m conformément à la grille de correction des altitudes relatives au WGS84 (cf. 4.1.1). À ces valeurs, on soustrait ensuite l'altitude du point de départ du drone, à savoir 257m (déterminée sur le MNT) moins 2m (longueur du fil de nylon).

Vol	N	min	Q10	Q25	median	mean	Q75	Q90	max
<chr>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
30m	27	-20.1	0.798	18.2	26.8	25.1	33.8	38.7	77.2
50m	36	-34.5	4.09	33.9	48.6	43.0	60.3	66.8	72.8

Tableau 9 : Résultats des mesures expérimentales réalisées en transportant les GPS sous un drone à des hauteurs de 30m et 50m d'altitude par rapport au niveau du sol. Les valeurs des 4 GPS sont rassemblées en un jeu de données.

N : nombre de données ; min : valeur minimale ; Q10 : premier décile c'est-à-dire la valeur en-dessous de laquelle se trouvent 10% des données ; Q25 : premier quartile c'est-à-dire la valeur en-dessous de laquelle se trouvent 25% des données ; median : médiane c'est-à-dire deuxième quartile à 50% ; mean : moyenne ; Q75 : troisième quartile c'est-à-dire la valeur au-dessus de laquelle se trouvent 25% des données ; Q90 : neuvième décile c'est-à-dire la valeur au-dessus de laquelle se trouvent 10% des données ; max : valeur maximale. Les valeurs négatives apparaissent en rouge.

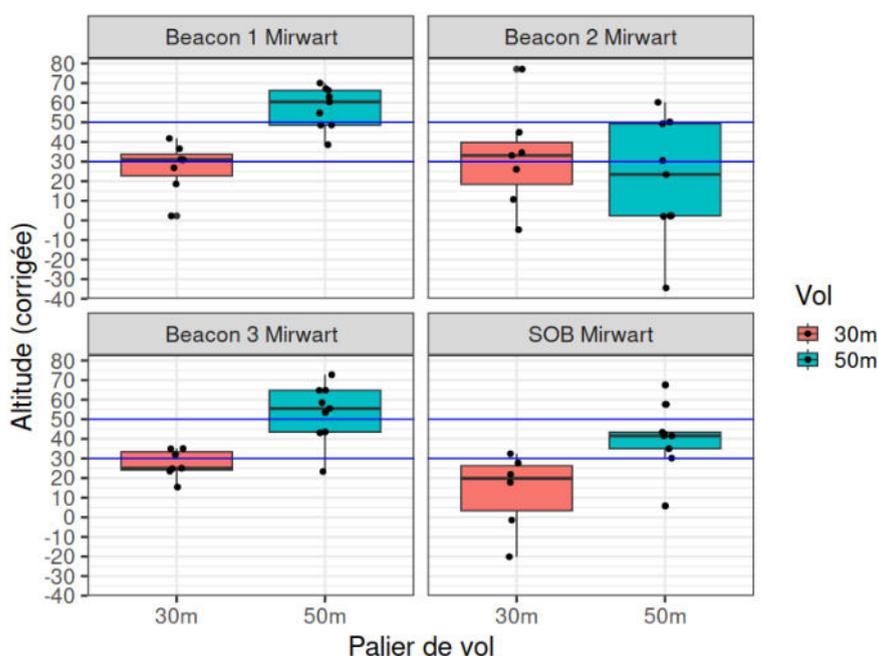


Représentation graphique en boîte à moustache (cf. explications au point 4.3.1) du tableau précédent.

Dès lors que le nombre de données sur lesquelles on calcule la médiane se restreint, ici (6-)7 et 9 données par groupe, on constate que 5 fois sur 8 la valeur réelle est située en dehors de l'interquartile 1-3, c'est-à-dire en dehors de l'étendue déterminée par 50% des données. L'écart entre la médiane et la valeur attendue va de 0.9m à 26.6m !

Nom_balise	Vol	N	min	Q10	Q25	median	mean	Q75	Q90	max
<chr>	<chr>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
Beacon 1 Mirwart	30m	7	2.29	12.1	22.7	30.9	26.9	33.8	38.7	41.8
Beacon 1 Mirwart	50m	9	38.6	46.6	48.6	60.4	57.5	66.4	67.8	70.0
Beacon 2 Mirwart	30m	7	-4.79	4.50	18.4	33.1	31.7	39.7	57.8	77.2
Beacon 2 Mirwart	50m	9	-34.5	-5.26	2.31	23.4	20.7	49.3	52.3	60.2
Beacon 3 Mirwart	30m	7	15.4	20.3	24.1	25.1	27.3	33.4	35.0	35.1
Beacon 3 Mirwart	50m	9	23.3	39.1	43.5	55.5	53.3	64.8	66.4	72.8
SOB Mirwart	30m	6	-20.1	-10.8	3.37	19.9	13.0	26.3	30.1	32.4
SOB Mirwart	50m	9	5.81	25.3	35.0	41.5	40.6	43.4	59.6	67.5

Tableau 10 : Résultats des mesures expérimentales réalisées en transportant les GPS sous un drone à des hauteurs de 30m et 50m d'altitude par rapport au niveau du sol. Valeurs obtenues pour chaque GPS.



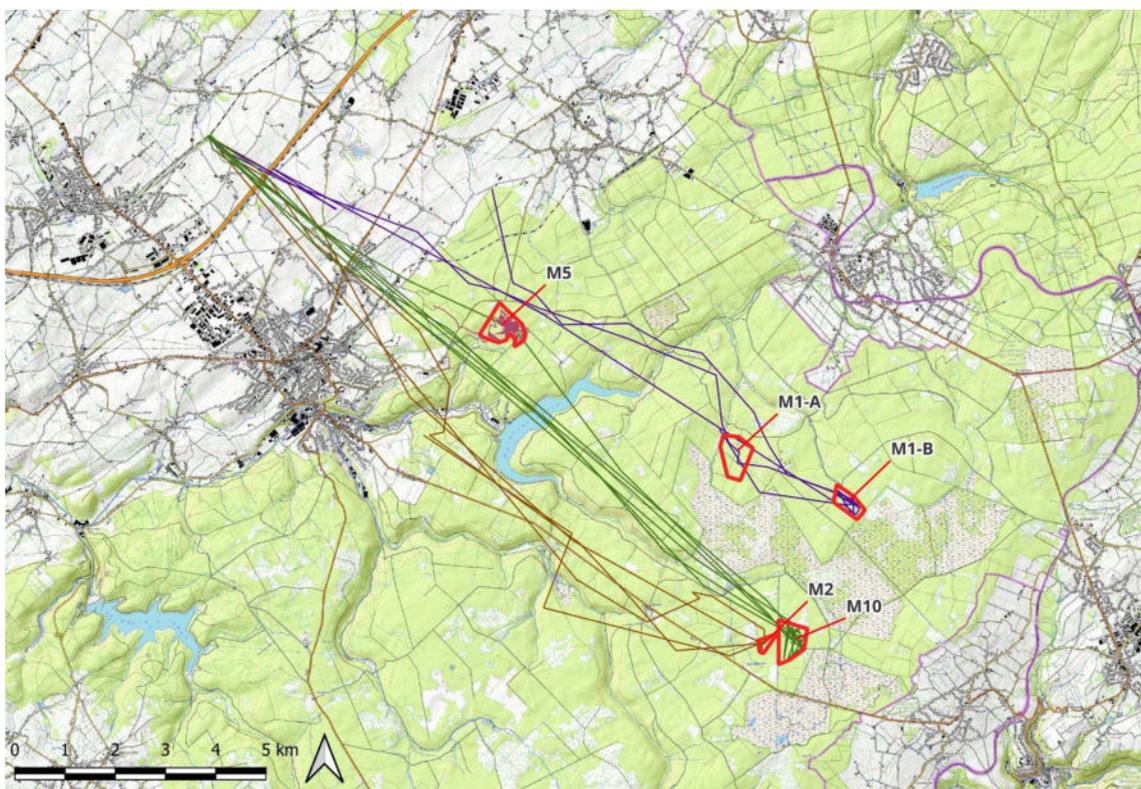
Représentation graphique en boîte à moustache (cf. explications au point 4.3.1) du tableau précédent.

En conclusion, on doit considérer qu'une bonne approximation de l'altitude avec ces appareils nécessite de rassembler plus de 10 données prises dans les mêmes conditions. Une 30^{aine} de données est probablement un ordre de grandeur permettant d'obtenir une valeur fiable.

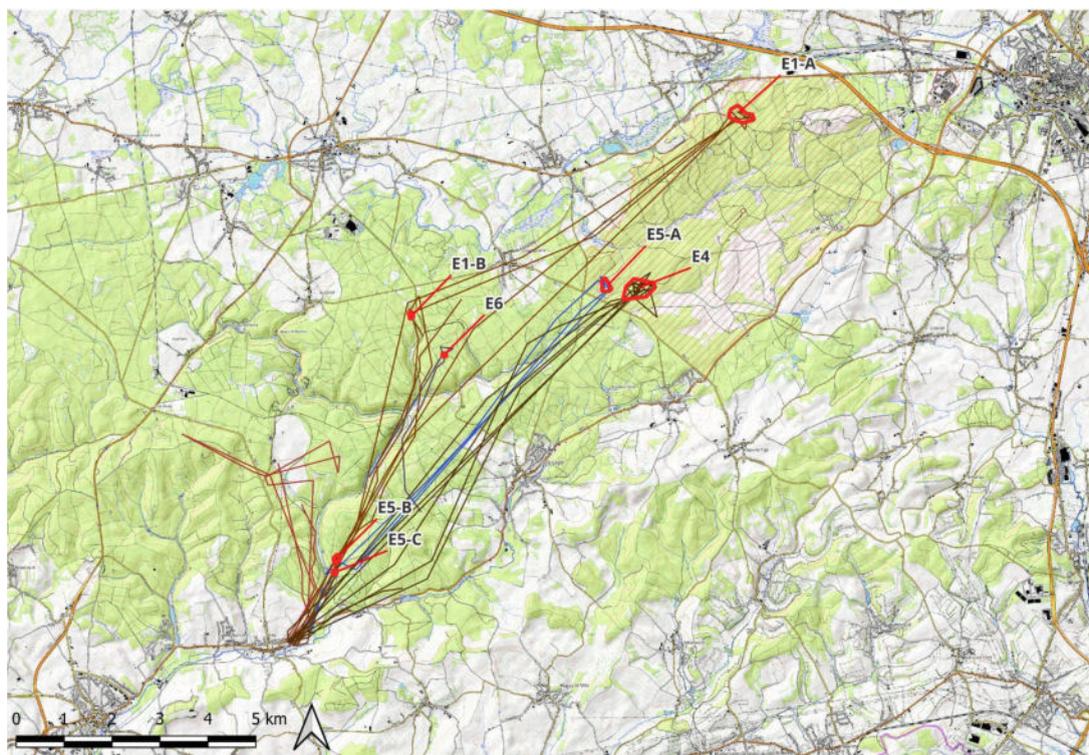
4.2 Terrains de chasse

Grâce aux données des balises GPS, nous avons localisé une série de terrains de chasse pour les différents individus :

- 5 sites de chasse ont pu être identifiés pour les grands murins de la colonie de Lontzen : 2 sites pour l'individu M1, 1 site pour chacun des individus M2, M5 et M10 (voir carte 6)
- 7 sites de chasse pour les individus de la colonie de Ethe : 2 sites pour l'individu E1, 1 site pour chacun des individus E4 et E6, 3 sites pour l'individu E5. Les données concernant l'individu E3 (qui exploite les zones directement au N de la colonie et pour lequel on a obtenu peu de positions) n'ont pas vraiment permis d'identifier des sites de chasse clairs pour cet individu (voir carte 7).



Carte 6 : Vue générale des sites de chasse exploités par les individus de la colonie de Lontzen



Carte 7 : Vue générale des sites de chasse exploités par les individus de la colonie de Ethe

En termes de distance par rapport à la colonie, le tableau suivant présente la distance à vol d'oiseau (ligne droite) depuis la colonie jusqu'au centroïde de chaque terrain de chasse identifié.

Site de chasse (Lontzen)	Distance à la colonie (km)	Site de chasse (Ethe)	Distance à la colonie (km)
M5	7,1	E5-C	1,7
M1-A	12,3	E5-B	2,0
M1-B	14,7	E6	6,8
M2	15,0	E1-B	7,3
M10	15,4	E5-A	10,0
Distance moyenne : 9,8 km	min : 1,7 km	E4	10,4
	max : 15,4 km	E1-A	14,5

Tableau 11 : Éloignement des sites de chasse par rapport à la colonie

Des visites sur site ont été organisées pour caractériser, de jour, les terrains de chasse identifiés : photos, essences, strates, composition du couvert ont été consignés. Le résultat de ces visites sur site est présenté en annexe. Il s'agit toujours de milieux forestiers, dans certains cas des pessières équiennes qui semblent à priori peu prometteuses en termes de biodiversité, dans d'autres cas des forêts mélangées résineux / feuillus, dans d'autres cas des forêts majoritairement feuillues.



Lorsque les balises GPS ont fonctionné plusieurs nuits, il est intéressant de constater que l'individu va chasser au même endroit plusieurs nuits consécutives. La majorité des individus font même preuve d'une fidélité élevée durant les 2 à 3 nuits pour lesquelles nous avons récupéré des données :

- sept zones de chasse ont été visitées durant 2 nuits consécutives : E1A, E1B, E5A, E5B, E5C, M1B et M2
- deux zones de chasse ont été visitées durant 3 nuits consécutives : E4 et M10

Une telle fidélité doit nécessairement correspondre à la présence de ressources nutritives, mais nous n'avons aucun indice sur leur nature.

4.3 Comportement de vol

4.3.1 Identification des altitudes de vol lors des trajets vers et sur les terrains de chasse

La question centrale de ce projet est de déterminer le plus précisément possible la hauteur de vol du grand murin et de mettre en évidence d'éventuelles différences en fonction du comportement (vol de transit vs. chasse) et des caractéristiques du paysage (milieu ouvert vs. milieu forestier).

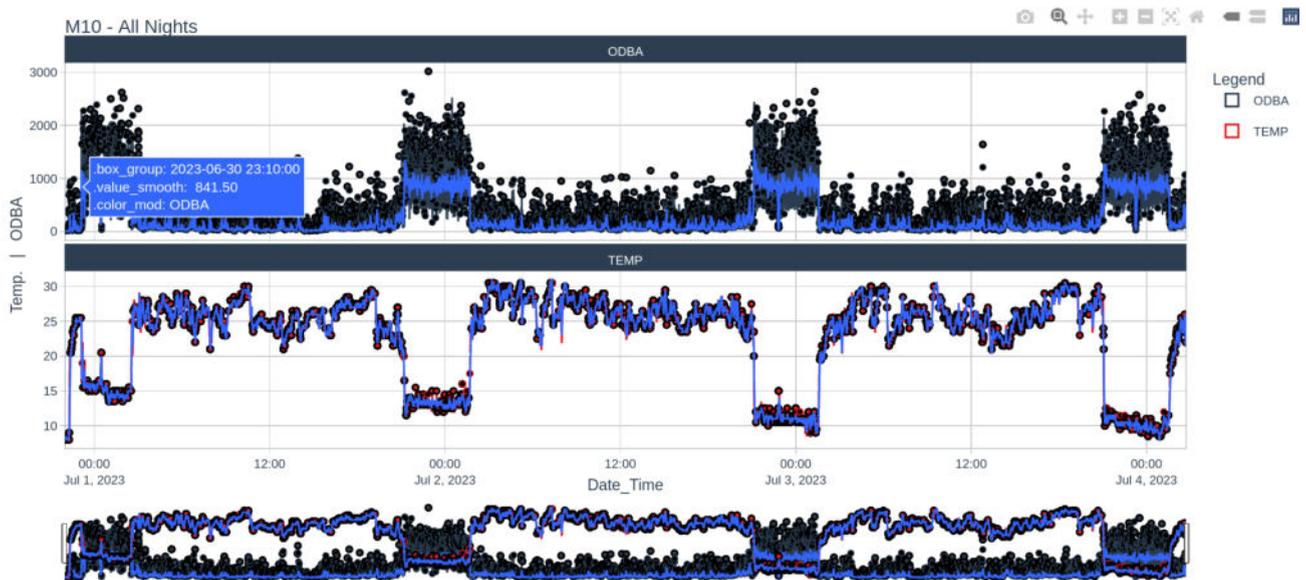
On doit dès lors s'affranchir de plusieurs limitations inhérentes au protocole :

- nombre limité de fix GPS possibles à cause de l'autonomie limitée des appareils
- précision limitée inhérente à la miniaturisation
- difficulté de récupérer les appareils
- impossibilité de contrôler à l'avance le comportement des animaux, et encore moins de savoir si l'idiosyncrasie observée chez les individus étudiés est ou non représentative de la colonie ou plus largement de l'espèce en Région wallonne

Pour contourner les limitations techniques matérielles, on peut soit programmer les récepteurs GPS pour qu'ils prennent un maximum de fix sur un laps de temps court, mais le risque est alors élevé que la majorité des ressources de l'appareil soient consommées alors que l'individu se trouve dans la colonie. C'est pour éviter cet écueil que nous avons opté pour les paramétrages décrits au point 3.2.1 visant à maximiser la précision lors de la phase de vol de la colonie vers les sites de chasse (fix fréquents à l'heure présumée de sortie de gîte), puis d'économiser les ressources en réduisant la fréquence de tentatives de positionnement durant le reste de la nuit.

Concernant le comportement des animaux, nous avons constaté une similitude très importante entre les différents animaux étudiés en termes de choix d'orientation (azimut des terrains de chasse par rapport à la colonie) et d'habitat sélectionné. Ces constats assez étonnants soulèvent pas mal de questions sur le choix des habitats et donc des proies recherchées (voir 5.2 Perspectives).

Notre approche consiste donc à analyser les données X-Y-Z obtenues par groupes cohérents de phases de comportement, pour plusieurs individus et pour plusieurs nuits afin de travailler sur des moyennes (ou des médianes). Cette stratégie est aussi celle utilisée par Péron et al. (2020) qui ont travaillé sur des grands rapaces, donc avec du matériel plus lourd. Nous avons analysé nos données après avoir décrit des phases d'activité sur base de la cartographie mais aussi grâce aux informations très riches de température et d'ODBA² obtenues avec les appareils "Beacon" de Lotek.



Pattern d'activité mesuré par l'accéléromètre (haut) durant 4 nuits et trois journées, mis en parallèle avec la température de la balise (milieu). La première nuit est plus courte car c'est la nuit de la capture de l'animal, celui-ci n'est actif qu'à partir d'environ 23h10 UTC, lorsque l'animal a été relâché. (NB : les heures sont ici exprimées en UTC, c'est-à-dire qu'il faut rajouter 2 h pour obtenir l'heure d'été)

Les données de température et d'ODBA analysées en parallèle avec la cartographie permettent de déterminer précisément lorsque l'animal se trouve dans la colonie, au repos à l'extérieur ou en vol. On peut même déduire par moment que le vol est plutôt régulier (ODBA élevée mais peu variable) ou en vol plus mouvementé (ODBA élevée mais très variable sur un court laps de temps), ce qui correspond probablement à un comportement de chasse.

Phases d'activité et élévation

On a ainsi distingué plusieurs phases d'activité :

- **Colonie** : température élevée et ODBA faible
- **Trajet** (vol de transit avec ou sans courte phase de chasse) : température proche de la température de l'air (~15° durant certains départs de nuit chaude) et ODBA ~1000; grands écarts entre les points sur SIG et donc vitesse instantanée élevée
- **Chasse** (vol avec circonvolutions sur une aire restreinte) : température proche de la température ambiante et ODBA~1000; vitesse instantanée réduite

Il est important de préciser que durant la phase dite de 'trajet', il est difficile de savoir si la chauve-souris pratique un vol direct de transit ou si elle chasse. On a toutefois la possibilité d'utiliser deux types d'indications pour émettre des hypothèses : la vitesse de déplacement (voir point 4.3.2) et la hauteur de vol (par rapport à la végétation ou la canopée). Ces deux données étant typiquement peu fiables pour des points individuels, on reste souvent sur des hypothèses.

Valeur médiane par phase d'activité et par site

En première approximation, on calcule les valeurs médianes en groupant tous les individus pour toutes les nuits de suivi, **en excluant les positions obtenues avec seulement 3 satellites**. En effet, 3 satellites est le strict minimum pour obtenir un fix. Pour peu que ceux-ci ne soient pas suffisamment bien répartis dans le ciel, l'imprécision de la mesure peut rapidement être importante. La question de l'exactitude du positionnement est explorée ci-dessous.

² ODBA est un indice indiquant le taux d'activité de l'animal équipé. Il est calculé à partir de l'accéléromètre embarqué dans l'appareil (uniquement pour les balises Lotek Beacon), que nous avons paramétré pour qu'une valeur soit enregistrée toutes les deux secondes. Cet indice, sans unité, indique le taux de mouvement de l'animal : plus l'ODBA est élevé, plus l'animal bouge.

La différence entre l'altitude corrigée et le MNT (*modèle numérique de terrain*, à savoir l'altitude du sol) puis le MNS (*modèle numérique de surface*, à savoir l'altitude du sommet de la végétation) sont représentées graphiquement ci-dessous sous forme de boîte à moustache. Les rectangles colorés représentent l'étendue de 50% des données autour de la médiane, autrement dit 25% des valeurs les plus hautes se trouvent au-dessus de chaque rectangle et 25% des valeurs se trouvent en dessous. Les "moustaches" donnent l'amplitude des valeurs de 10% à 90% de l'ensemble des données. De cette manière, on exclut du tableau et des graphiques les valeurs extrêmes qui correspondent de toute évidence à de l'imprécision de mesure et non à de réelles variations de position des chauves-souris. C'est évidemment le cas des altitudes négatives ou de valeurs de plusieurs centaines de mètres (du moins pour le grand murin) ! L'article de Péron (2020) explore très objectivement les possibilités d'interprétation de données d'élévation provenant de GPS embarqué sur des animaux. Ils concluent qu'il est tout à fait cohérent de travailler sur des distributions de points en gardant toutes les données, sans tenter d'éliminer les valeurs extrêmes (hautes et basses), même lorsque celles-ci sont *de facto* interpellantes (points situés sous le niveau du sol !) ou éventuellement de supprimer un nombre réduit de valeurs extrêmes. Ils démontrent que le fait de travailler avec des moyennes ou médianes de groupes de données est très informatif. C'est le choix que nous avons fait, en filtrant uniquement objectivement par le nombre de satellites.

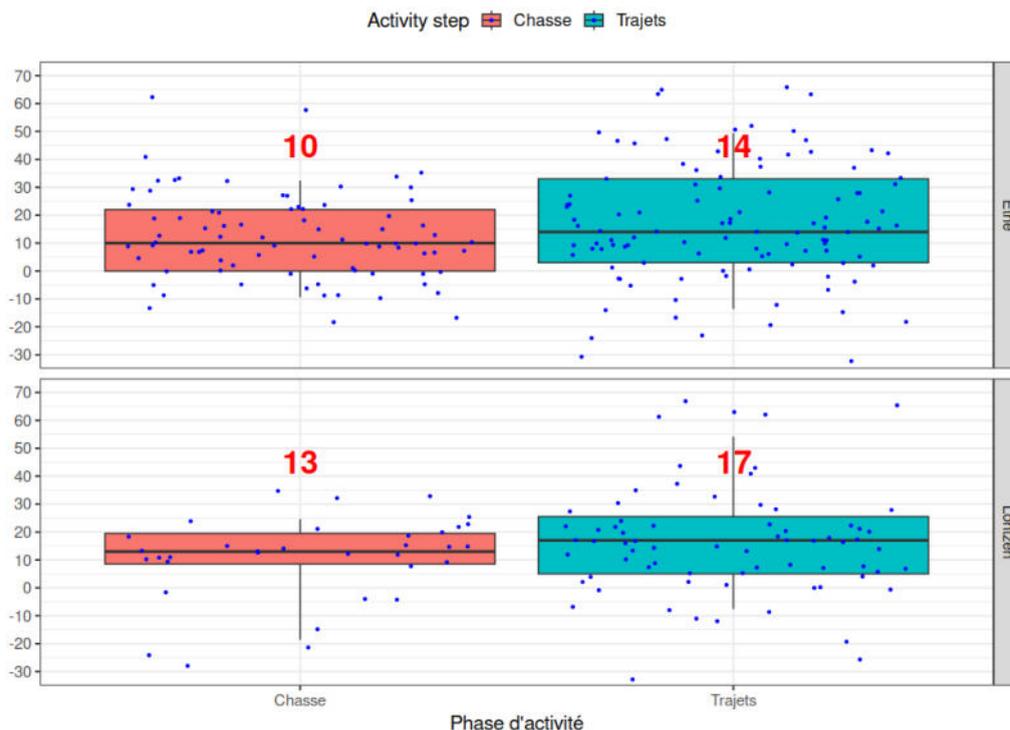
Élévation par rapport au sol (MNT)

Site	PHASES	N	min	Q10	Q25	median	mean	Q75	Q90	max
<chr>	<chr>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
Ethe	Chasse	87	-154	-9.4	0	10	9.41	22	32.4	221
Ethe	Trajets	113	-88	-13.6	3	14	17.5	33	49.4	139
Lontzen	Chasse	35	-57	-18.6	8.5	13	8.91	19.5	24.6	35
Lontzen	Trajets	75	-75	-7.6	5	17	18.5	25.5	54.2	121

Tableau 12 : Statistiques descriptives de l'élévation par rapport au MNT pour les groupes de points 'Chasse' et 'Trajets' et pour les deux colonies.

N : nombre de données ; min : valeur minimale ; Q10 : premier décile c'est-à-dire la valeur en-dessous de laquelle se trouvent 10% des données ; Q25 : premier quartile c'est-à-dire la valeur en-dessous de laquelle se trouvent 25% des données ; median : médiane c'est-à-dire deuxième quartile à 50% ; mean : moyenne ; Q75 : troisième quartile c'est-à-dire la valeur au-dessus de laquelle se trouvent 25% des données ; Q90 : neuvième décile c'est-à-dire la valeur au-dessus de laquelle se trouvent 10% des données ; max : valeur maximale. Les valeurs négatives apparaissent en rouge.

Différence entre l'élévation et le MNT (en rouge: médianes)



Graphique en boîte à moustaches représentant les valeurs du tableau précédent. Les rectangles colorés contiennent 50% des données et les moustaches donnent l'amplitude de 80% des données (de 10% à 90%) - cf. commentaires du tableau pour les

définitions précises. Pour la lisibilité, l'échelle est tronquée de -30m à +70m masquant les données extrêmes de -154m et de +221m par rapport au MNT.

Pour traduire cela en une phrase, les grands murins volent en phase de transit à une hauteur médiane au-dessus du sol de 14m à Ethe (la moitié des points se situent entre 3 et 33m) et 17m à Lontzen (la moitié des points se situent entre 5 et 25.5m). En phase de chasse, cette altitude au-dessus du sol est de 10 m à Ethe (moitié des points entre 0 et 22m) et 13m à Lontzen (moitié des points entre 8 et 19m). Moins de 10% des altitudes enregistrées dépassent 49m (Ethe) et 54 m (à Lontzen) en phase de transit, mais il convient d'interpréter ces valeurs extrêmes avec prudence vu l'incertitude sur les données Z.

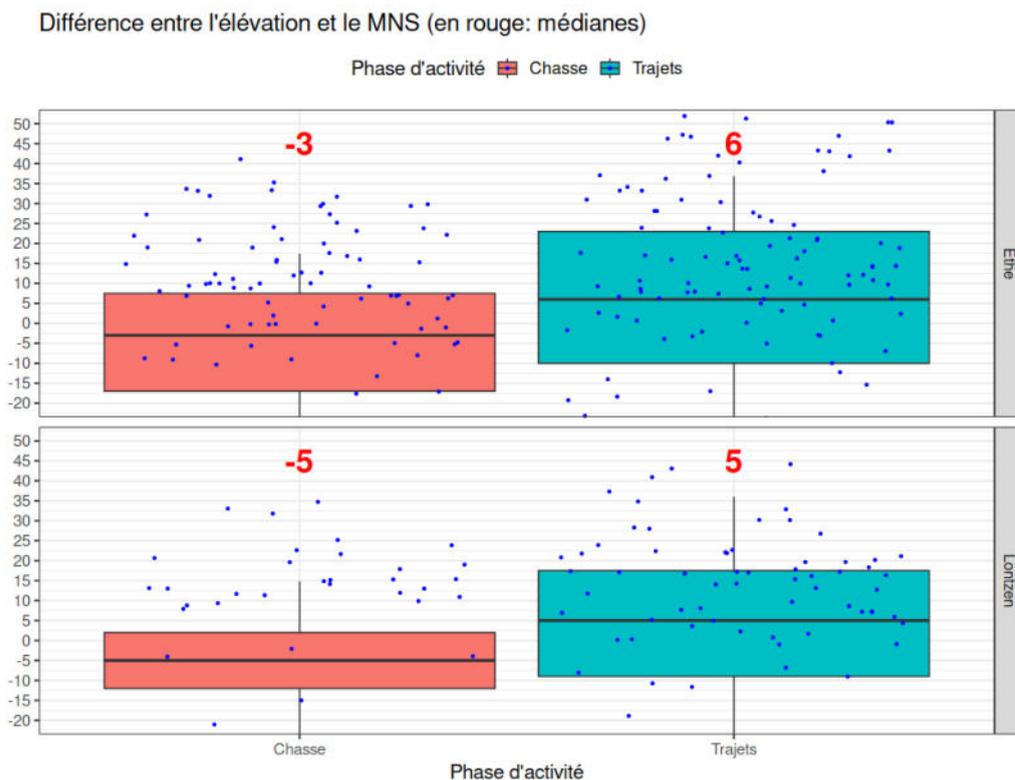
Globalement, lorsqu'on compare les deux phases d'activité (chasse vs. déplacement), les chauves-souris volent 4 mètres plus haut lors des phases de déplacement que lors des phases de chasse active. Si on considère la distribution de 50% des données, la hauteur maximale atteinte lors des phases de trajets sont de 33m et 25.5m respectivement à Ethe et à Lontzen. Des trajets sont très probablement entrecoupés de courtes phases de chasse indicibles sur les tracés GPS au cours desquelles elles descendent à 3m et 5m du niveau du sol. Les valeurs de 49.4m et de 54.2m sont probablement des valeurs qui peuvent être atteintes, surtout lors du survol de massifs forestiers ou au-dessus de dépressions du relief.

Élévation par rapport à la végétation (MNS)

Les données présentées dans le tableau et le graphique suivants sont issues des mêmes points GPS qui viennent d'être présentés (filtrés pour au moins 4 satellites), mais calculées par rapport au MNS, donc le sommet de la végétation (altitude de la canopée en forêt).

Site	PHASES	N	min	Q10	Q25	median	mean	Q75	Q90	max
<chr>	<chr>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<int>	<dbl>	<dbl>	<dbl>	<dbl>
Ethe	Chasse	87	-168	-28.2	-17	-3	-5.74	7.5	17.4	211
Ethe	Trajets	113	-102	-27.8	-10	6	6.24	23	36.8	139
Lontzen	Chasse	35	-72	-37.2	-12	-5	-7.77	2	14.8	29
Lontzen	Trajets	75	-92	-23.6	-9	5	6.87	17.5	36	121

Tableau 13 : Statistiques descriptives de l'élévation mesurée par les balises par rapport au MNS pour les groupes de points 'Chasse' et 'Trajets' et pour les deux colonies. Description des paramètres : cf. tableau 12.



Graphique en boîte à moustaches représentant les valeurs du tableau précédent. Interprétation : voir graphique précédent.

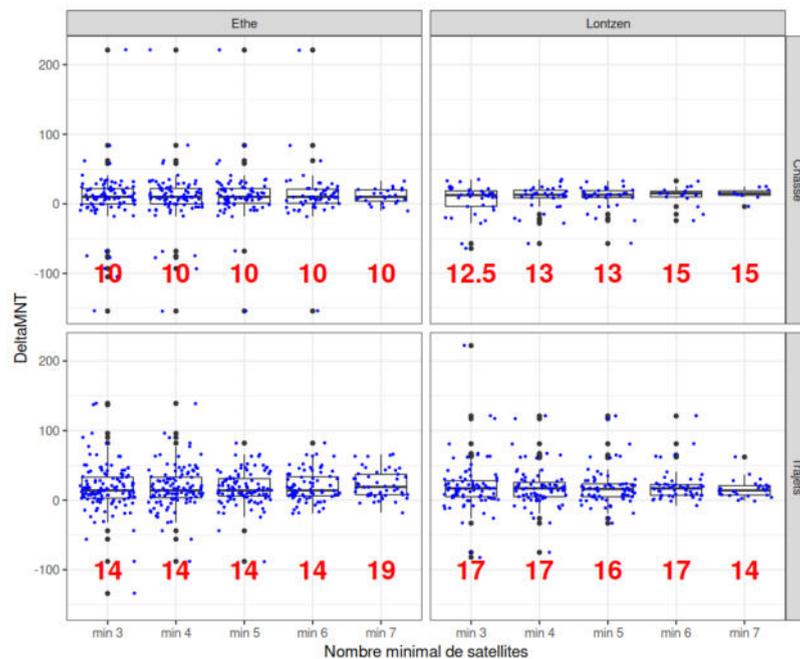
Durant la chasse, les chauves-souris volent en moyenne (médiane pour être correct) à 3m à 5m en-dessous de la cime des arbres et montent à 5 à 6 m au-dessus lors des déplacements dits 'trajets'. 50% des points en chasse du grand murin se trouvent entre 17m en-dessous et 7.5m au-dessus de la cime des arbres à Ethe et entre 12m en-dessous et 2m au-dessus de la cime à Lontzen. Les déplacements s'effectuent majoritairement plus bas que 23 m au-dessus de la végétation (Ethe) et 17.5 m (Lontzen). Moins de 10% des points se trouvent en transit à une altitude plus élevée que 36 m au-dessus de la végétation.

Sur les graphiques de distance aux MNT et MNS, on peut constater que la tendance est cohérente : la hauteur de vol suggère que, d'une manière générale, le vol en phase de chasse se passerait le plus souvent dans la couronne arborée des forêts, environ 5m sous la cime, mais elles voleraient à 5m au-dessus de la cime lors des déplacements.

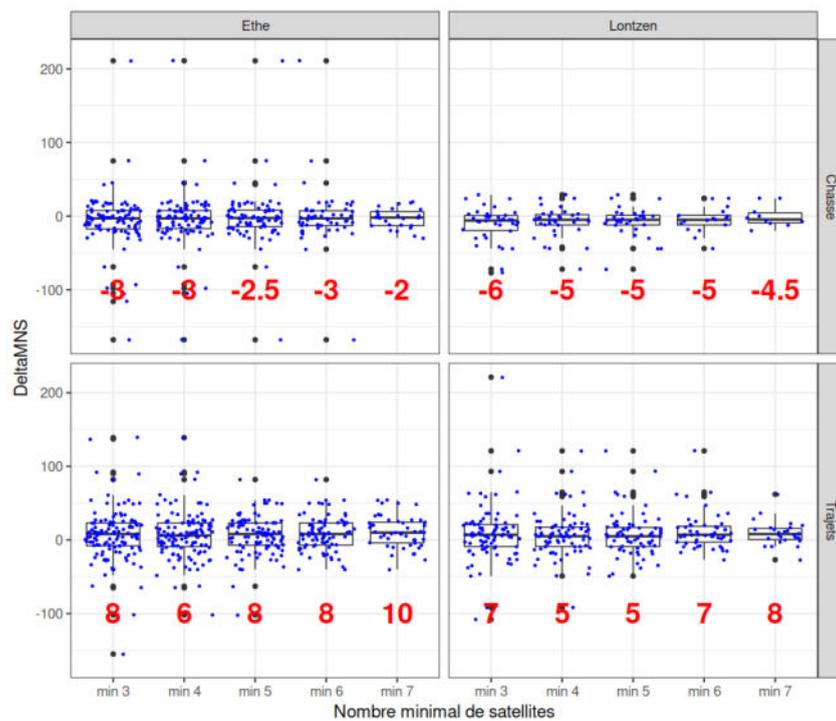
Formulé autrement, **si l'hypothèse qui considère que 50% des valeurs permettent de s'affranchir de l'imprécision altitudinale des GPS est acceptable, les grands murins chassent entre 0m et 22m du sol et se déplacent entre 3m et 33m du sol.**

Que penser de la très forte variabilité de ces groupes ?

Comme déjà évoqué, les valeurs médianes ne permettent pas de se rendre compte de la forte variabilité du jeu de données. Restreindre les données aux fix acquis avec au moins 5 ou 6 satellites permet de réduire la part de données aberrantes, sans effet sur l'exactitude ni la précision de la valeur médiane, comme l'illustrent les deux séries de graphiques ci-dessous. En réduisant successivement le même jeu de données, on constate effectivement une réduction progressive de la variabilité et même la disparition des valeurs aberrantes (-168m et -221m) mais les valeurs médianes ne changent quasiment pas. Les médianes "bougent" de 1m à 2m maximum, sans tendance claire. Ceci confirme que l'on peut considérer les chiffres de médiane avancés comme robustes !



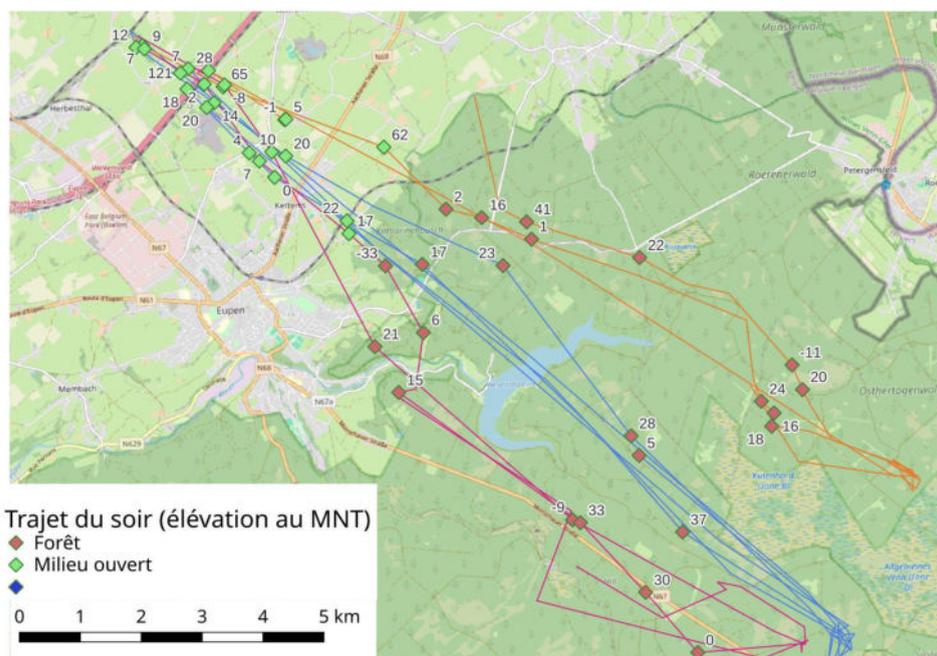
Différence entre l'altitude de vol et le MNT, représenté avec différentes sélections des données (nombre de satellites nécessaires pour prendre le fix en considération)



Différence entre l'altitude de vol et le MNS, représenté avec différentes sélections des données (nombre de satellites nécessaires pour prendre le fix en considération).

Différence de comportement (altitude) en milieu ouvert et en forêt

Le site de Lontzen présente une opportunité de comparer les caractéristiques du vol en milieu ouvert et en milieu forestier. Nous avons créé une sélection de points pour calculer une valeur médiane sur un groupe lors du départ vespéral depuis la colonie de Lontzen car c'est à ce moment que la fréquence de prise de données des GPS est la plus élevée (1 fix / 3 min). Au retour on n'a enregistré qu'un fix toutes les 18 min !



Carte 9 : Localisation de la sélection de points utilisée pour la comparaison des altitudes de vol entre le milieu ouvert et forestier. Les valeurs indiquées pour chaque point sont les élévations par rapport au MNT.

	N	Médiane
Milieu ouvert	22	11
Forêt	23	17

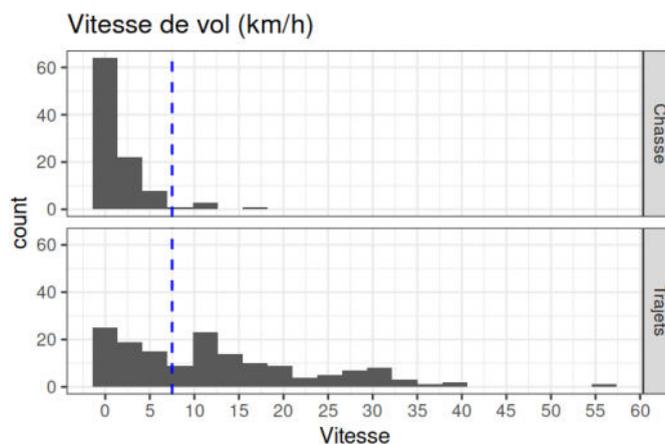
Nous avons comparé un nombre quasi identique de valeurs pour des deux types d'habitats. La valeur médiane en milieu ouvert est de 11m par rapport au sol, alors qu'en milieu forestier cette valeur monte à 17m. Ceci semble cohérent avec l'adaptation à la structure de l'habitat et suggère que lors du trajet en forêt les chauves-souris alternent entre chasse et vol de transit à hauteur des houppiers (cf. comparaison des vitesses de vol). Il faut toutefois rester prudent sur l'interprétation à donner à ces chiffres basés sur trois individus et représentant 22 et 23 valeurs, bien que tous les points proviennent d'un fix avec minimum 5 satellites !

4.3.2 Vitesse de vol

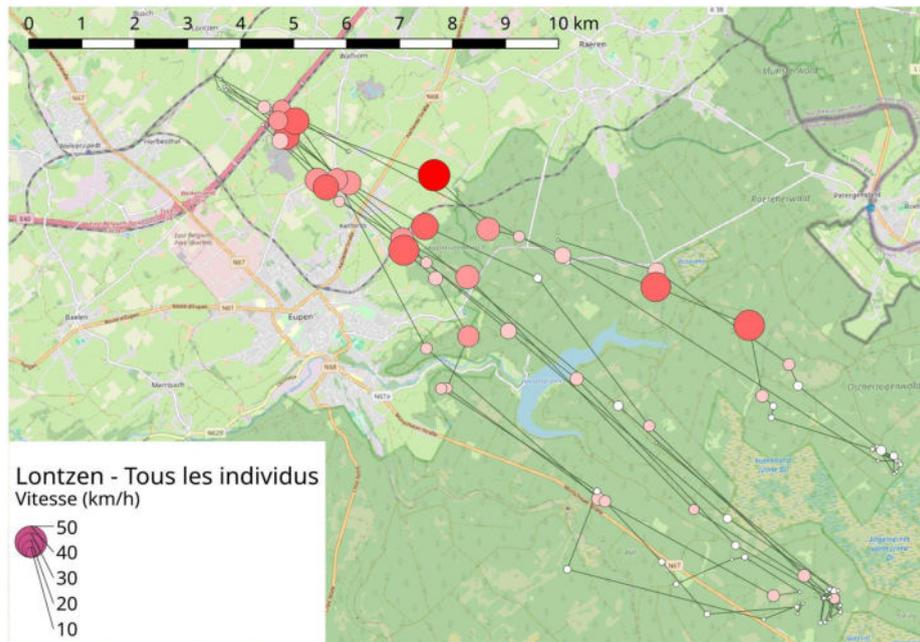
Les données GPS récoltées permettent également un calcul de la vitesse de vol. Celui-ci doit se faire de manière prudente sur une sélection drastique de points, en tenant compte de la suite chronologique, afin d'éviter les erreurs dues à des absences de fix et/ou à des valeurs aberrantes susceptibles de fausser sérieusement les calculs. De même, étant donné que le trajet exact de l'individu porteur de la balise entre deux fix successifs est inconnu, si l'intervalle entre les fix est long, la vitesse calculée est vraisemblablement peu représentative de la réalité à tout instant mais représente une valeur moyenne exacte.

Sur les graphes ci-dessous, on constate que l'essentiel des phases de chasse donne lieu à des vitesses calculées faibles et globalement inférieures à 7.5km/h, le plus souvent avoisinant 1km/h ce qui suggère des périodes stationnaires (repos, nourrissage). Par contre, en phase de transit, les vitesses sont nettement supérieures avec des pointes à 40km/h (la valeur de 55km/h est peut-être la conséquence d'une imprécision de positionnement, malgré la sélection effectuée). On observe visuellement en phase de transit une distribution bimodale (voire trimodale) des valeurs de vitesse calculée. Cette distribution pourrait être interprétée par l'existence de trois phases distinctes au cours des trajets qui apparaissent rectilignes sur les tracés :

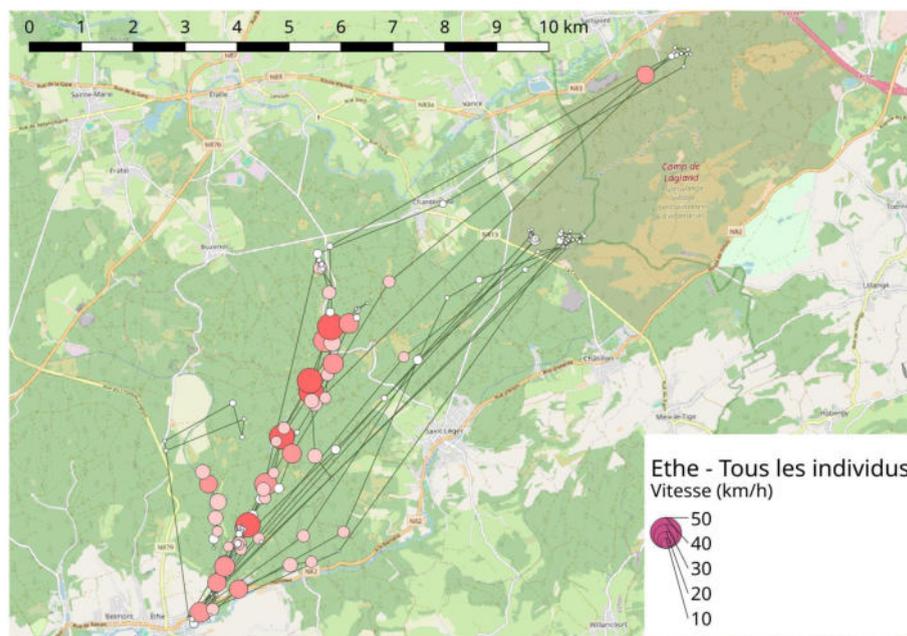
- phase de chasse comparable à ce qu'il se passe lors des longues sessions de chasse clairement identifiables sur carte (cartes 9). Vitesse ~1-2 km/h
- phase de vol de transit, probablement en milieu confiné, peut-être interrompu par des séquences de chasse. Vitesse ~12 km/h
- phase de vol de transit rapide, probablement en dehors de la végétation dense. Vitesse ~32 km/h



Vitesse de vol calculée entre les fix successifs sur base d'une sélection d'enregistrements fiables



Cartes 10 : Mise en évidence du lien entre la vitesse de vol et le paysage à Lontzen ↑ et Ethe ↓. La taille des pastilles est proportionnelle à la vitesse mesurée entre chaque point et le point qui le suit chronologiquement.



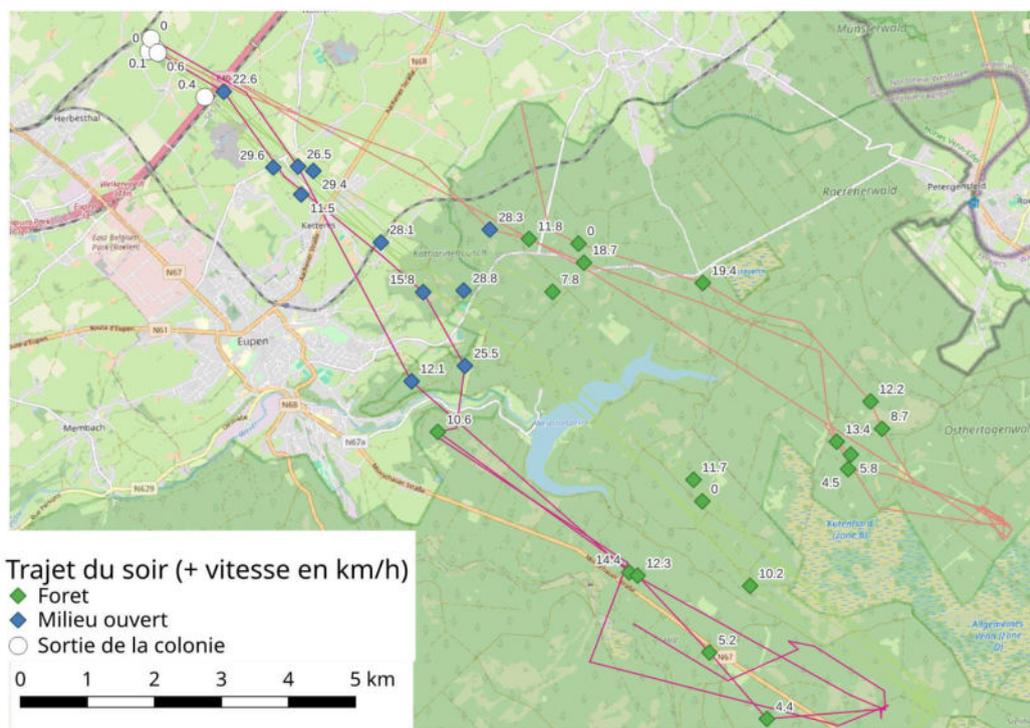
Les deux cartes ci-dessus font apparaître les deux phases comportementales qui viennent d'être décrites avec des déplacements rapides rectilignes sur une grande distance ("Trajets") vers des sites d'aire restreinte et parcourus de manière prolongée à basse vitesse ("Chasse").

Différence de comportement (vitesse) en milieu ouvert et en forêt

De la même manière que pour les altitudes, nous avons créé une sélection de points permettant de comparer la vitesse de vol, lors du départ vespéral depuis la colonie de Lontzen (cf. explications à la fin du point 4.3.1)

La carte 11 illustre cette sélection. Pour le milieu ouvert, le premier point après la sortie de la colonie n'a pas été utilisé (pastille blanche) et le premier point après avoir pénétré dans le massif forestier a, quant à lui, été retenu car la vitesse est calculée entre un point et son point précédent. Constituant ainsi un jeu de 10 valeurs.

Pour le milieu forestier, tous les points consécutifs par trajet individuel ont été retenus jusqu'à l'arrivée sur un terrain de chasse clairement reconnu (cf. explications précédentes).



Carte 11 : Jeu de données utilisé pour la comparaison de la vitesse de vol en milieu ouvert et forestier. Les chiffres indiquent la vitesse en km/h calculée entre chaque point et son point précédent.

Vitesse (km/h)	N	Min	Médiane	Moyenne	Max
Milieu ouvert	10	11.5	26.5	23.5	29.6
Forêt	19	0.0	10.4	9.5	19.4

Tableau 14 : Comparatif de la vitesse de déplacement en milieu ouvert et forestier lors du trajet depuis la colonie de Lontzen vers les sites de chasse. N : nombre de données ; Min : valeur minimale, Max : valeur maximale, Médiane et Moyenne.

On observe très clairement que le déplacement en forêt est globalement plus lent (~10 km/h) qu'en milieu ouvert (~26 km/h), ce qui suggère que la chauve-souris chasse, au moins par intermittence, sur son trajet en direction des parcelles où elle va effectivement chasser de manière intense, plusieurs nuits de suite.

Une interprétation de cette analyse est que l'animal vole globalement vite et tout droit entre son gîte et son terrain de chasse situé à 10 km.

4.3.3 Comportement par rapport aux éoliennes

Cet aspect n'a pas été étudié pratiquement sur le terrain puisque la situation ne s'est pas présentée. On pourrait cependant imaginer qu'une étude similaire soit réalisée dans un rayon de 10 à 15 kilomètres de parcs éoliens pour étudier le comportement de vols des grands murins (ou d'autres espèces) et évaluer si celles-ci induisent ou non des comportements de vols particuliers ou des trajectoires d'évitement. La principale difficulté rencontrée actuellement pour étudier cette question en Région wallonne est l'absence de colonies connues de grands murins à proximité d'un parc éolien.

4.4 Détermination du domaine vital tridimensionnel

L'identification du domaine vital tridimensionnel du grand murin est potentiellement une tâche complexe visant à caractériser le territoire utilisé par cette espèce dans un espace à deux dimensions (déplacements effectivement observés et sites de chasse identifiés) auquel on adjoint la dimension verticale.

L'objectif de ce projet était de caractériser le domaine vital de 6 individus, pour ce faire on a équipé 24 individus de balises GPS et on a pu récupérer des données pour 8 d'entre-eux, une neuvième balise (Technosmart) est restée bien en-deça de nos attentes en termes de qualité des données et d'étendue du suivi (à peine 1h30 de données certes nombreuses).

Le domaine vital de chacun des 8 individus est donc documenté par, d'une part l'identification de terrains de chasse durant 1 à 3 nuits. La section 4.2 du rapport décrit des polygones précis identifiés par une enveloppe de points X-Y marquant des phases de chasse intense dans divers massifs forestiers. En croisant ces enveloppes d'abord tracées sur carte avec des photographies aériennes et des prospections sur le terrain, on obtient des contours de parcelles boisées qui ont manifestement apportées, à l'échelle de quelques jours de suivi GPS, des ressources nutritives suffisamment bénéfiques pour que les individus les exploitent préférentiellement.

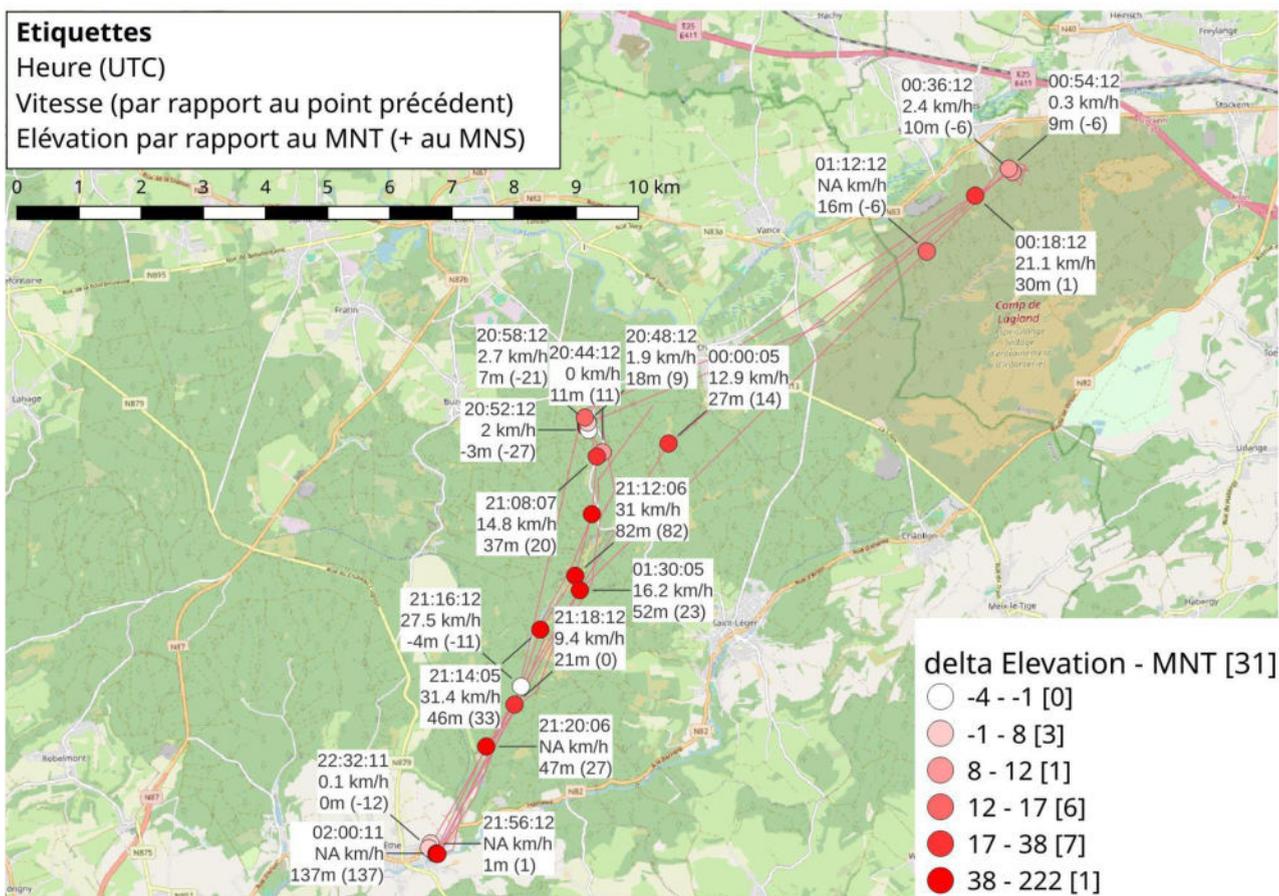
Au travers des résultats analysés dans la section 4.3, nous sommes en mesure de caractériser le comportement de recherche de nourriture des 8 individus avec divers niveaux de précisions et de poser les limitations à la précision qui pouvait être attendue en matière d'occupation du territoire dans sa dimension verticale. En plus des données X-Y-Z présentées dans la section 4.3.1, les déductions basées sur le calcul de la vitesse de vol sont décrites dans la section 4.3.2.

Les limites de la précision des mesures altitudinales largement décrites dans ce rapport sont probablement le principal écueil à la caractérisation du domaine vital de l'espèce. En plus de répéter ce type d'étude avec des paramétrages apportant encore plus de données sur une courte période et de multiplier le nombre d'individus, de saisons, de région géographiques, on pourrait aussi imaginer combiner d'autres approches complémentaires: protocole de suivi acoustiques ciblés, génétique des populations, identification du régime alimentaire par des procédés faisant appel à l'ADN ou aux isotopes stables, ...

Concrètement, l'analyse de nos données de positionnement, de vitesse, de mesure de température et d'accéléromètres (ODBC) permettent de dresser le portrait du comportement d'individu sur une très courte période mais avec une précision rarement atteinte pour des micromammifères, protégés au niveau européen de surcroît.

Synthèse des données pour E1 (nuits 1 et 2)

Pour illustrer l'intérêt de rapporter ensemble tous ces éléments et la complexité que cela représente, les illustrations suivantes relatent le suivi de l'individu E1 de la colonie de Ethe durant les deux premières nuits d'activité du GPS. Plus qu'une collection de constats, cet exemple permet de décrire qu'en intégrant toutes les informations recueillies, on peut retracer de manière précise un instantané du domaine vital de l'individu.



Nuit 1 (13-14/7): l'activité de 20h44 à 21h38 est tracée sur le profil de la page suivante.

20:44: Vol vers le site de chasse depuis un lieu inconnu souterrain où la chauve-souris a passé la journée en léthargie! Pour toute la séquence d'arrivée, de chasse et une partie du retour on a 18 points à 2 min d'intervalle avec bonne réception satellitaire. Correspond au **numéro 1** sur le profil.

20:46: Arrivée sur site de chasse, une petite pessière de 1.5ha dans des feuillus.

21:06: Dernier point sur site de chasse

21:08: En vol rapide de retour vers la colonie. Correspond au **numéro 2** sur le profil.

21:38: Colonie : passage probable par la colonie de la Rue Nouvelle et transit vers la colonie de l'IMP. Correspond au **numéro 3** sur le profil.

22:32: Colonie : IMP. Réactivation de la balise avant envol.

23:44: Vol rapide et de longue distance vers le site de chasse le plus distant identifié dans la partie nord du camp militaire de Lagland (forêt mixte).

00:18: Premier point sur site de chasse. Elle est probablement arrivée un peu plus tôt car le dernier point de vol 18 min plus tôt est situé à 600m.

00:36: deuxième et dernier point sur site de chasse.

01:30: En vol de retour à 9.7km du point précédent! Dernier point de la série.

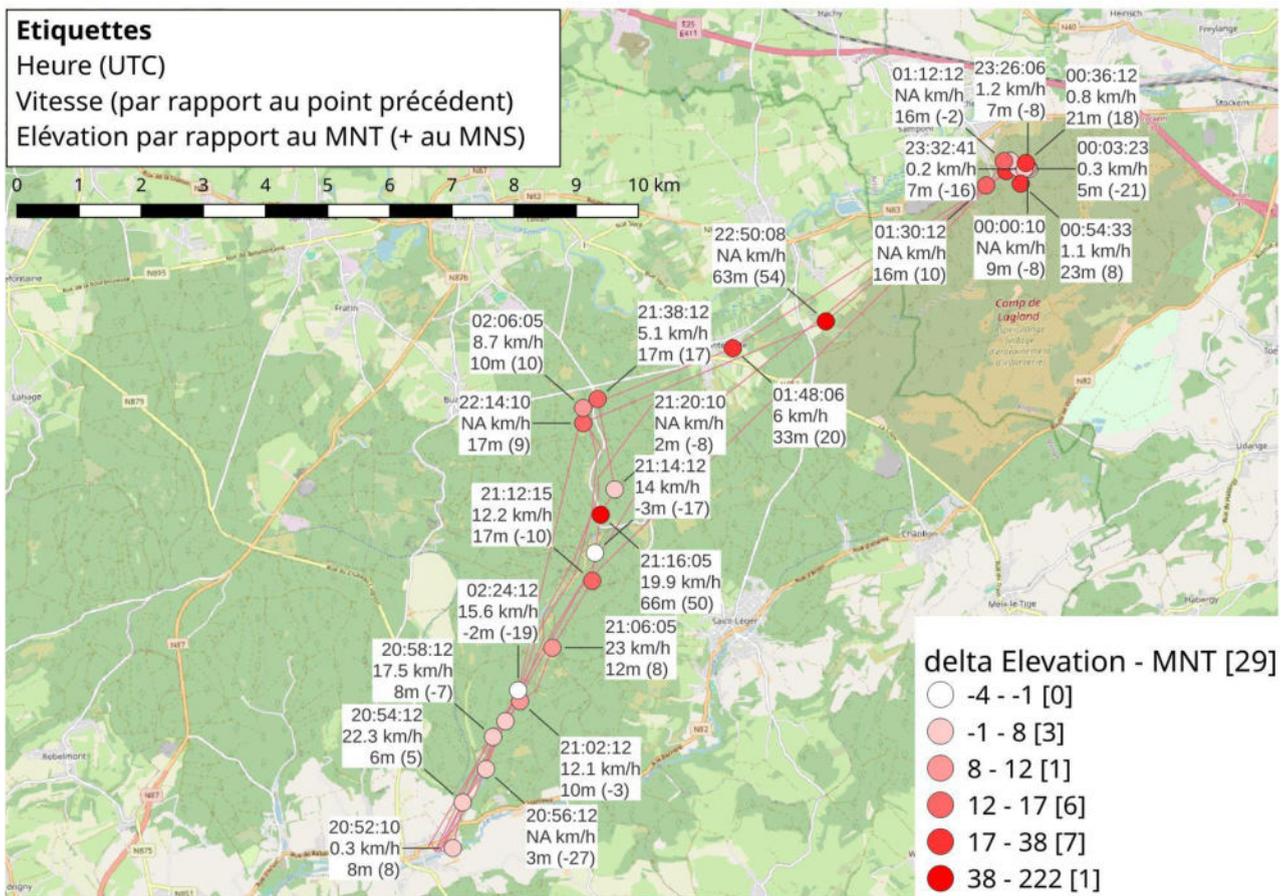
Profils de l'activité de 20h44 à 21h38

De haut en bas

- Boxplots (1 par minute) des valeurs d'ODBA (accéléromètre)
- Boxplots (1 par minute) des valeurs de température du GPS
- Carte de la zone d'intérêt (orientée avec le nord vers la gauche)
- Profil topographique:
 - MNT (rouge)
 - MNS (vert)
 - Trajectoire de l'individu E1 (bleu)



Le profil multiple donne la correspondance, durant 54 minutes d'activité décrite à la page précédente ("nuit 1"). La carte et le profil topographique sont présentés à la même échelle. Les séries temporelles (boxplot) d'ODBA et de température sont associés en trois moments clé par les flèches oranges.



Nuit 2 (14-15/7)

- 20:52: En vol, vient de quitter la colonie (10 points à fréquence 1 pt/2min avec quelques fix manquants)
- 21:38: Dernier point de vol, via la petite pessière de la nuit 1, avant une pause (absence de données durant 90 minutes)
- 23:08: Arrivée sur site de chasse
- 00:54: Dernier point sur site de chasse
- 01:48: en vol de retour vers la colonie (via la petite pessière de la nuit 1)

Il n'est pas possible de retracer le parcours de tous les individus aussi précisément sur deux nuits complètes mais ce descriptif met en évidence que, malgré les limitations de mesure d'altitude instantanée, cette étude représente un apport significatif aux connaissances de l'espèce en Région Wallonne et pourrait être encore exploité sur certains aspects.

5/ Synthèse, discussion, perspectives et recommandations

5.1 Discussion des résultats

5.1.1 Terrains de chasse

Les valeurs de distance entre les terrains de chasse et la colonie observées dans cette étude, à savoir une distance moyenne de 9.8 km et maximale de 15.4 km sont tout à fait compatibles avec les distances renseignées dans la littérature. Dietz et al. (2009) estiment que les terrains de chasse se trouvent en général dans un rayon de 5 à 15 km, Arthur et al. (2021) mentionnent quant à eux un rayon de 10 à 15 km. De même, le comportement de chasse observé, à savoir une exploitation d'un petit nombre de terrains de chasse et de petite taille chaque nuit (Arthur et al. 2021, Dietz et al. 2009) concorde tout à fait avec nos observations. En effet, malgré l'échantillon relativement limité, nous observons dans cette étude qu'un même individu retourne nuit après nuit chasser au même endroit, en tout cas pour une courte période donnée (début juillet) qui n'est probablement pas représentative de l'ensemble de la saison d'activité. Il est possible (probable ?) que le terrain de chasse exploité par un individu change au cours de la saison en fonction des ressources en proies disponibles (émergences d'insectes par exemple). D'après nos observations toujours, les terrains de chasse sont par ailleurs très clairement distincts d'un individu à l'autre.

La nature de certains terrains de chasse choisis par les grands murins porteurs de balise est par contre surprenante. Plusieurs sites de chasse avérés pour notre étude sont de toutes petites pessières équiennes d'arbres de taille moyenne (voir annexe sur la caractérisation des sites de chasse), perdues dans un paysage de forêts feuillues diversifiées ou d'apparence plus riches en biodiversité. La sélection positive de ces sites de chasse pose pas mal de questions sur les facteurs attractifs de ces forêts au détriment des autres bois alentours (structure du peuplement, disponibilité en proies, utilisation ponctuelle, saisonnière ou plus généralisée, ...) et également sur la protection des sites de chasse de cette espèce dans un contexte où ce type de forêt est généralement considéré comme "à faible potentiel biologique" dans les études d'incidences, notamment dans le cadre de projets éoliens en forêt.

En marge de ces forêts résineuses, d'autres types de peuplements mixtes ou à dominance feuillue ont également été documentés par notre étude, ce qui correspond mieux aux types de forêts décrits comme terrains de chasse pour cette espèce dans la littérature. Les hêtraies en futaie sans sous-étage sont considérées par Rauchenstein et al. (2022) comme l'habitat de chasse principal du grand murin. Leur étude réalisée l'aide de Lidar dans les forêts proches des colonies de grands murins en Suisse établit que l'habitat de chasse favorable est défini par une forêt mono-strate avec une canopée dense, une absence de strate arbustive et de l'espace libre pour voler au sein du peuplement (Rauchenstein et al. 2022). Arthur et al. (2021) affirment que le milieu idéal pour le grand murin est constitué de vieilles forêts caduques, hêtraies à litière sèche, chênaies anciennes ou mixtes avec des canopées épaisses limitant les taillis sous futaie et favorisant au sol un simple tapis de feuilles. Cette absence importante de végétation au sol est confirmée par Dietz et al. (2009), qui mentionne toutefois l'exploitation de forêts de résineux, en général des peuplements d'âge moyen à sol nu. Ces différentes informations issues de la littérature alimentent l'hypothèse d'un choix des terrains de chasse forestiers surtout basé sur la structure de la forêt (et l'accessibilité au sol en absence de strate arbustive et herbacée), ce qui pourrait expliquer l'utilisation ciblée des pessières qui semblent a priori peu attractives. Vraisemblablement, le grand murin y trouve des ressources alimentaires suffisamment abondantes (au moins durant une période, peut-être courte ?), pour qu'il soit énergétiquement rentable d'effectuer près d'une heure de vol (avec 340m de dénivelé positif pour Lontzen !) pour y chasser. Il serait très intéressant de multiplier des études sur les habitudes alimentaires de l'espèce, tant pour améliorer les connaissances sur son écologie que pour orienter les actions de conservation de nature en Région wallonne. Des perspectives se dessinent afin de mieux comprendre ces choix (voir partie 5.2).

Il est également intéressant de constater que, globalement, les individus d'une même colonie vont tous (en tous cas tous les individus porteurs d'une balise) chasser dans la même direction. À Lontzen, tous les individus porteurs de balise partent vers le sud-est, grimpent le plateau des hautes fagnes en passant au-dessus ou à proximité du barrage d'Eupen et vont chasser dans les forêts du haut-plateau (au-delà de Ternel et proche de la frontière allemande pour certains). À Ethe, même si le pattern est un petit peu moins net qu'à Lontzen, ils partent tous vers le nord-est en direction du camp militaire de Lagland. Or, dans le cas d'une matrice paysagère relativement homogène, avec des forêts accessibles tout autour du gîte (ce qui semble être à première vue le cas pour les deux sites suivis), on pourrait s'attendre à observer des terrains de chasse répartis en étoile autour du gîte, comme c'est le cas dans d'autres études telles que Janssen et al., Roeleke et al. 2016. Or, ce n'est pas le cas pour nos observations, ni à Lontzen ni à Ethe. Une étude plus poussée sur la disponibilité et la nature/qualité des forêts dans un rayon de 15 km autour des deux gîtes

permettrait peut-être d'apporter une explication plausible à cette observation surprenante. Un biais d'échantillonnage est bien sûr possible (nous n'avons des données que pour quelques individus dans chaque colonie et quelques nuits de chasse sur une saison complète), mais cette coïncidence reste malgré tout assez troublante.

Stidsholt et al. (2023) démontrent que le grand murin adopte, selon les conditions, deux stratégies de chasse différentes : la poursuite aérienne et le glanage au sol. La première étant plus souvent fructueuse (taux de capture plus important) mais la seconde, qui constitue sa méthode de chasse préférée, induit un gain d'énergie plus important grâce à des proies plus volumineuses. Nos observations avec des fix espacés au mieux de 1, 2 ou 3 minutes laissent des doutes sur une analyse fine du comportement des individus. Toutefois, la valeur médiane de l'altitude de vol en phase de chasse (3 à 5 m en-dessous de la cime des arbres pour rappel) pourrait être le fruit de phases de chasse au ras du sol alternées avec des phases de chasse juste au-dessus de la canopée. Il est cependant aussi possible qu'elles chassent réellement à cette altitude, dans des layons, au-dessus de chemins, dans des clairières. Dans les forêts de conifères qui présentent des houppiers coniques, les grands murins pourraient aussi exploiter les espaces libres entre les arbres pour chasser en plein ciel. Arthur et al. (2021) mentionnent, eux aussi, cette hypothèse et déclarent que le grand murin sait exploiter les proies en canopée en évoluant dans le feuillage. Nous ne pourrions pas trancher ces questions dans ce cadre-ci, mais il est toutefois intéressant de noter que la médiane d'altitude de vol en phase de chasse observée dans cette étude n'est pas de -15m, ce qui correspond au niveau du sol.

Pendant l'élevage des jeunes, les femelles de grand murin passent jusqu'à 98% de leur temps de chasse en forêt (Arthur et al. 2021, Dietz et al. 2009). Nous avons en effet observé un comportement récurrent : à la sortie de gîte, les individus chassent brièvement en terrain ouvert aux alentours du gîte, puis partent en vol rapide et en ligne droite vers leurs terrains de chasse en forêt. Nos observations correspondent donc à la littérature dans ce cas-ci.

5.1.2 Altitude de vol

Il existe assez peu d'études dans la littérature qui ont réellement testé cette question de l'altitude de vol chez le grand murin. Arthur et al. (2021) mentionnent des altitudes de vol sur terrain de chasse de 2 à 5 m de hauteur, ce qui est plus bas que nos observations qui ont des médianes de l'ordre 10 ou 13m. Dietz et al. (2009) décrivent eux aussi un comportement de chasse à faible hauteur (1 à 2 m), avec un vol rapide et moyennement agile, au cours duquel il inspecte le sol. Ils précisent que les grandes proies sont consommées, suspendu en poste, les petites en volant tranquillement à 5-10m de haut. Cette altitude supposée correspondre à la consommation de petites proies en vol est assez en ligne avec nos observations. Arthur et al. (2021) mentionnent que le radiopistage laisse penser que le grand murin chasse aussi à l'affût, car les longues pauses dans les arbres sont souvent entrecoupées de phases actives de quelques secondes qui peuvent survenir une douzaine de fois par heure. Il est possible que ce comportement coïncide avec la chasse à l'affût décrite par Dietz et al. (2009). Les fix espacés de 18 min sur terrain de chasse ne sont malheureusement pas assez précis pour que nous puissions corroborer (ou non) cette hypothèse.

La vitesse de transit, qui peut atteindre 50 km/h, mentionnée par Arthur et al. (2021) concorde avec les valeurs extrêmes de nos mesures, la plupart des vitesses calculées se situe plutôt entre 12 et 30 km/h. Toujours d'après Arthur et al. (2021), 25% de l'activité de vol serait consacrée aux transits.

Wellig et al. (2018) démontrent que, pour des enregistrements en milieu ouvert, le grand murin est la plupart du temps enregistré juste au-dessus du sol et en tout cas à une altitude de vol inférieure à 20m au-dessus du sol.

Quant à la question centrale de ces recherches: **les grands murins volent-ils régulièrement à plus de 35 m au-dessus de la canopée ?** La réponse doit certainement envisager deux aspects.

D'une part, la difficulté d'évaluer la précision de l'altitude point par point, qui était une limitation annoncée d'emblée par le Lotek et qui est aussi relaté dans la littérature (cf. notamment Péron et al. 2020), nous impose d'identifier des hauteurs de vol en étudiant des groupes de données les plus cohérents possibles pour en tirer une valeur médiane fiable. Ces valeurs médianes sont validés expérimentalement et par les mesures obtenues aux colonies et elles semblent cohérentes avec les caractéristiques du paysage puisque plus élevées en phase de trajet par rapport aux périodes de chasse.

D'autre part, nous proposons de manière conservatrice, de prendre comme valeurs de référence une fourchette de hauteurs qui correspond à 50% d'une population de mesures. Rien n'indique que les chauves-souris étudiées aient réellement volé 50% du temps dans ces gammes de hauteurs, mais nous avons toutefois pu différencier, par les vitesses et les données d'accéléromètre des phases bien marquées de chasse intense, de vol de transit avec de très probables épisodes de chasse et enfin du vol de transit à grande vitesse (donc non entrecoupé de chasse). Sur cette base, **nous posons l'hypothèse que de tels vols de transit direct ont plus que probablement lieu au-dessus de la canopée, amenant potentiellement les individus 25 à 30m du sol, correspondant d'après les mesures référées au**

MNT et au MNS à une élévation de 17 à 23m de la canopée. Des valeurs aussi élevées pourraient notamment être avérées lorsque le vol de transit, rapide et direct, amène la chauve-souris à surplomber des vallées encaissées. Nos résultats ne prouvent pas cette hypothèse mais rien ne permet de l'infirmier non plus.

5.2 Perspectives

Cette étude a bien évidemment ses limites, à commencer par un faible nombre de colonies (2), d'individus équipés (24), de balises récupérées (13) et de nuits d'enregistrement par balises (max 3), de même qu'une courte période saisonnière et une seule espèce visée. La répétition de ce type d'étude dans d'autres colonies, d'autres contextes géographiques (notamment à proximité de parcs éoliens existants), d'autres moments dans l'année, permettrait de vérifier la robustesse des données mesurées dans ce cadre-ci ou au contraire de nuancer les conclusions de cette étude. Nous avons désormais acquis le matériel et l'expérience requise pour répliquer plus ou moins facilement ce type d'expérience dans d'autres contextes, voire sur d'autres espèces de chauves-souris de grande taille, ce qui pourrait assurément nous en apprendre encore beaucoup sur le comportement des chauves-souris et leur susceptibilité vis-à-vis des éoliennes. Les espèces de notre faune susceptibles de supporter le poids des balises GPS sont la noctule commune (*Nyctalus noctula*), le grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), la sérotine commune (*Eptesicus serotinus*). La noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) et le murin des marais (*Myotis dasycneme*) semblent par contre très légers pour une telle étude, bien que certains chercheurs européens aient testé la méthode avec succès sur la première espèce.

Différentes questions relatives à la sélection des terrains de chasse se posent ici (voir points 4.2 et 5.1.1). Une étude des terrains de chasse serait vraiment souhaitable, pour tenter de comprendre la raison de la sélection des pessières dans une matrice paysagère proposant quantité de forêts feuillues diversifiées. Ceci pourrait prendre la forme d'une étude qui viserait dans un premier temps à évaluer si les terrains de chasse observés ici sont des zones de chasse ponctuelles dans le temps ou utilisées de manière constante au cours de la saison estivale. Une méthodologie basée sur un suivi acoustique ciblé sur les zones de chasse identifiées, qui couvre l'ensemble de la saison estivale, permettrait d'apporter des informations utiles pour répondre à cette question. Une autre étude pertinente pourrait s'intéresser à la question de la ressource alimentaire dans ces forêts versus les forêts alentour : que viennent chasser dans les grands murins à cette période à cet endroit ? L'entomofaune présente début juillet est-elle différente dans les forêts utilisées par le grand murin que dans d'autres forêts voisines (ou plus proches de la colonie) ? Ce type d'étude permettrait de comprendre pourquoi les grands murins font parfois 15 km, plusieurs nuits d'affilée, pour aller chasser à un endroit bien particulier. Néanmoins, l'établissement d'un protocole solide risque d'être complexe avec une telle question.

Une étude du paysage pour tenter de comprendre pourquoi elles partent toutes dans la même direction serait aussi intéressante. Elle pourrait dans un premier temps être cartographique pour évaluer la proportion des différents types d'habitats disponibles dans les X km et leur répartition géographique autour de la colonie. Pour que cette analyse soit pertinente, une évaluation de la qualité des massifs forestiers devrait être creusée : nature et mélanges d'essences, classes d'âges, naturalité de la forêt, présence d'eau, de bois mort, indice de biodiversité potentielle, etc. Ceci peut probablement au moins en partie être réalisé sur base de données cartographiques existantes, mais nécessiterait peut-être la récolte de données de terrain complémentaires pour certaines questions.

Enfin, poursuivre les démarches en vue de visiter les différents gîtes alternatifs potentiels identifiés serait sûrement pertinent dans un contexte de protection très locale et de compréhension des mouvements fins des individus et de leur choix en gîtes. Une partie a été réalisée dans le cadre de cette étude, mais il reste encore plusieurs pistes ouvertes à ce sujet.

5.3 Valorisation scientifique des données prévues

Nous souhaitons vivement partager l'expérience acquise et les données récoltées avec le plus grand nombre et prévoyons de ce fait la (co-)rédaction d'une publication scientifique. Les sujets traités pourraient être orientés d'une part sur les données récoltées sur l'écologie du grand murin, son altitude de vol, ses terrains de chasses, etc et d'autre part sur des questions plus techniques sur l'utilisation (avantages, limitations) des balises GPS.

Ce type de travail est par contre vite chronophage et nécessite de dégager pas mal d'énergie pour aboutir à un article publié. Le dégagement d'un budget associé à une publication serait dans cette perspective souhaitable.

Nous reprendrons également rapidement contact avec le chercheur Oliver Lindecke qui nous a beaucoup aidé pour les phases préparatoires et de terrain, afin d'envisager avec lui les différentes possibilités de valoriser les données récoltées en Belgique dans une/des publications plus globales de portée internationale.

Afin de partager les résultats de la présente étude avec le monde de la chiroptérologie belge et/ou européenne, nous proposons de relayer les résultats via des présentations (forme à définir) lors des prochains colloques ou symposium dont notamment les rencontres chiroptérologiques organisées par la SFPEM à Bourges (FR) en mars 2024.

Toujours dans l'idée de partager les informations récoltées avec la communauté des chiroptérologues, un article pour l'Echo des Rhinos (feuille de contact de Plecotus, le pôle chauves-souris de Natagora) sera rédigé pour publication en 2024. D'autres publications de vulgarisation seront réalisées en fonction des opportunités.

Enfin, il serait très pertinent de faire apparaître les données récoltées sur la plateforme internationale dédiée aux déplacements d'animaux move bank (<https://www.movebank.org>). Cette plateforme rassemble, au niveau mondial, plus de 7800 études concernant 1288 taxons, ce qui correspond à 4,8 milliards de données de localisations. Les propriétaires des données ont le loisir de déterminer quel est le niveau d'accessibilité aux données et dans quelles conditions. Cela peut aller de simples méta-données décrivant l'existence de l'étude jusqu'à un accès total open source.

5.4 Texte résumé permettant la dissémination des résultats aux Parties signataires de la Convention de Bonn – EUROBATS

Une étude réalisée en Belgique (Région wallonne), financée par le Service Public de Wallonie, a été réalisée en 2023 pour étudier l'altitude de vol des grands murins (*Myotis myotis*). Cette question s'insère dans un contexte d'une demande croissante pour l'installation d'éoliennes en forêt. 24 femelles allaitantes, issues de 2 colonies de reproduction, ont été équipées d'un récepteur GPS miniaturisé. Sur les 13 balises récupérées, 9 ont alimenté un jeu de données (n=672 fix) pertinentes pour évaluer les terrains de chasse occupés et les altitudes de vol des individus. Les terrains de chasse se trouvent à 9.8 km en moyenne de la colonie (min 1.7 km, max 15.4 km). Il s'agit des peuplements forestiers feuillus, mixtes ou des forêts résineuses. Les altitudes de vol mesurées sur des données filtrées donnent les résultats suivants : les grands murins volent en phase de transit à une hauteur médiane d'environ 15m au-dessus du sol, cette valeur pourrait osciller entre 4m et 30m, ce qui représente une altitude de vol de 5 à 6m au-dessus de la végétation. Les déplacements s'effectueraient majoritairement à moins de 20 m au-dessus de la végétation et moins de 10% des points de mesure atteignent une altitude supérieure à 36m au-dessus de la végétation, sans toutefois pouvoir déterminer avec certitude la part d'imprécision de mesure des GPS. En phase de chasse active, elles volent globalement 4m plus bas qu'en transit, dans la végétation, à une altitude médiane de 3 à 5m en-dessous de la cime des arbres. Les enseignements tirés de ces résultats au regard des mesures de protection nécessaires dans le cadre de l'installation d'éoliennes en forêt laissent penser que pour le grand murin, une distance de 35 m entre le bas de pale et la canopée serait suffisante pour réduire très significativement les risques de collision avec des individus en transit (càd le moment où les individus volent le plus haut).

Référence du rapport complet : Nyssen, P., Beckers, A., Renard, P., Godeau, J.-F., Étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés, Rapport final, Décembre 2023, Ecofirst et CSD Ingénieurs.

The Service Public de Wallonie funded a study in Belgium (Walloon Region) in 2023 to measure the flight altitude of the greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*). This question is important in a context of a growing demand for wind farm implementation in forests. We equipped 24 lactating females from 2 different maternity roosts with a small GPS tag. We recovered 13 tags, 9 of them provided a relevant dataset (n=672 fix) to locate the hunting fields and assess the flight altitudes of the bats. Hunting areas are located at an average distance of 9.8 km from the colony (min 1.7 km, max 15.4 km), in deciduous, mixed or coniferous forests. The study of flight altitudes (filtered data) gives the following results : during commuting flight, greater mouse-eared bats fly at a median height of around 15m above ground level. This value could vary between 4 and 30m, which represents a flight altitude of 5-6m above the vegetation. Most transit paths are made at less than 20m above the vegetation, and less than 10% of the measurement reach an altitude of more than 36m above the vegetation, although it is not possible to determine with any certainty the extent to which GPS measurements are inaccurate. In the active hunting phase, they generally fly 4m lower than in transit, in the vegetation, at a median altitude of 3 to 5 m below the tree tops. The implications of these results for the protective measures required when installing wind turbines in forests suggest that, for the greater mouse-eared bat, a distance of 35m between the blade tip and the canopy would be sufficient to significantly reduce the risk of collision with commuting routes (i.e. when individuals are flying highest).

Full report reference : Nyssen, P., Beckers, A., Renard, P., Godeau, J.-F., Étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés, Rapport final, Décembre 2023, Ecofirst et CSD Ingénieurs.

6/ 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.
- 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.
- Fujioka, E., Yoshimura, K., Ujino, T., Yoda, K., Fukui, D., Hiryu, S., 2020. Foraging and Commuting Habitats of the Greater Horseshoe Bat, Revealed by High-Resolution GPS-Tracking. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-80636/v1>
- Janssen, R., n.d. GPS tracking of Leisler's bat reveal important informatino for mitigating measures at wind power plants.
- Péron, G., Calabrese, J.M., Duriez, O., Fleming, C.H., García-Jiménez, R., Johnston, A., Lambertucci, S.A., Safi, K., Shepard, E.L.C., 2020. The challenges of estimating the distribution of flight heights from telemetry or altimetry data. *Anim Biotelemetry* 8, 5. <https://doi.org/10.1186/s40317-020-00194-z>
- Pinaud, D., Darnault, M., Huot, L., Berehouc, M., Leuchtman, M., 2022. Quand la technologie sert l'écologie : des chauves-souris équipées de GPS ! L'envol des chiros 6–7.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120210>
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y., Voigt, C., 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports* 6, 28961. <https://doi.org/10.1038/srep28961>
- Stidsholt, L., Hubancheva, A., Greif, S., Goerlitz, H., Johnson, M., Yovel, Y., Madsen, P., 2023. Echolocating bats prefer a high risk-high gain foraging strategy to increase prey profitability. *eLife* 12. <https://doi.org/10.7554/eLife.84190>
- Wellig, S.D., Nusslé, S., Miltner, D., Kohle, O., Glazot, O., Braunisch, V., Obrist, M.K., Arlettaz, R., 2018. Mitigating the negative impacts of tall wind turbines on bats: Vertical activity profiles and relationships to wind speed. *PLoS ONE* 13, e0192493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192493>

7/ Délivrables annexes à ce rapport

- Une geodatabase, au format geopackage³, contenant l'intégralité des résultats présentés dans ce rapport, selon la structure suivante :



- **FullDataSet** (géométrie = points) Détail de la table attributaire (les champs précédés d'un astérisque sont les données brutes, en provenance directement du GPS, et n'ont pas été modifiés) :
 - fid : numéro de série unique
 - *Index : numéro de série propre au GPS (ils peuvent être non consécutifs si le GPS n'a pas obtenu de fix)
 - *Sats : Nombre de satellites utilisés pour le fix / Nombre de satellites disponibles
 - *RTC-date : date du fix
 - *RTC-time : heure UTC du fix
 - *Altitude(m) : altitude du fix exprimée en mètres par rapport au niveau de la mer à Ostende (non-corrigée)
 - *HDOP : Horizontal Dilution Of Precision
 - *Temperature(C) : Température interne de l'appareil (disponible uniquement pour les Beacon) en degré Celsius
 - datetime : horodatage standardisé en heure locale (UTC+2)
 - Nom_balise : nom donné à l'appareil E1, E2, ..., M1, M2, ... utilisé dans ce rapport
 - Code_Balise : code de l'appareil interne provenant de Lotek
 - PHASES : phases comportementales - Colonie/Trajet/Chasse (voir 4.1.3)
 - Nuits_Suivi : Code identifiant une nuit complète, plus simple à manipuler que la combinaison d'une date d'un soir et une date du matin suivant
 - N-sats : premier chiffre du champs 'Sats'
 - dif : valeur de la correction à appliquer à 'Altitude(m)'
 - ALTI_corr : Altitude corrigée (= 'Altitude(m)' - dif)
 - Speed : vitesse calculée avec la fonction speed() du package R 'move' entre ce point et le point suivant (d'après le numéro de série 'Index')
 - MNT : valeur du MNT en mètres
 - MNS : valeur du MNT en mètres
 - DeltaMNT : élévation par rapport au sol, càd 'ALTI_corr' - 'MNT'
 - DeltaMNS : élévation par rapport à la couverture du sol, càd 'ALTI_corr' - 'MNS'
- **M5-Technosmart** (géométrie = points)
 - fid : numéro de série unique
 - Name: horodatage standardisé en heure locale (UTC+2)
 - ALT: Altitude (!?) -> ce champs a été conservé à titre indicatif mais contient des valeurs aberrantes
 - SPD: Vitesse (!?) -> ce champs a été conservé à titre indicatif mais contient des valeurs aberrantes
- **path_Night** (géométrie = multilignes) Détail de la table attributaire :
 - fid : numéro de série unique
 - Nom_balise : identifiant de la balise GPS
 - NrNuit : numéro de série de la nuit complète (cf. 'Nuits_Suivi' dans FullDataSet)

³ Le format geopackage (<https://www.geopackage.org/>) est un format ouvert, répondant aux normes de l'Open Geospatial Consortium (OGC), multiplateforme, portable, auto-descriptif et compact pour le transfert d'informations géospatiales. Il est supporté en lecture par ArcGIS Pro version 1.1 et en lecture et écriture par ArcGIS for Desktop 10.2.2+. C'est le standard de geodatabase de QGIS 3.x

- **Site_Chasse** (géométrie = polygones) Détail de la table attributaire :
 - fid : numéro de série unique
 - Ind : individu(s) qui ont exploité cette aire
 - NIGHTS : numéro de la nuit où l'individu a exploité cette aire
 - Individu : code du polygone basé sur l'individu

 - **Telemétrie** (géométrie = points) Détail de la table attributaire :
 - fid : numéro de série unique
 - DateTime : horodatage standardisé en heure locale (UTC+2) de l'observation
 - Site : nom du site (Lontzen ou Ethe)
 - Observateur : initiales de l'observateur
 - Direction : direction du signal en code de point cardinal si c'est cette information qui avait été notée sur le terrain
 - Azimuth_Dg : azimut (NB. azimuth en anglais) du signal
 - Indiv : code identifiant de l'individu contacté
 - Comm : champs de remarque en texte libre
-
- Données détaillées de capture
 - Rapport de caractérisation des sites de chasse identifiés

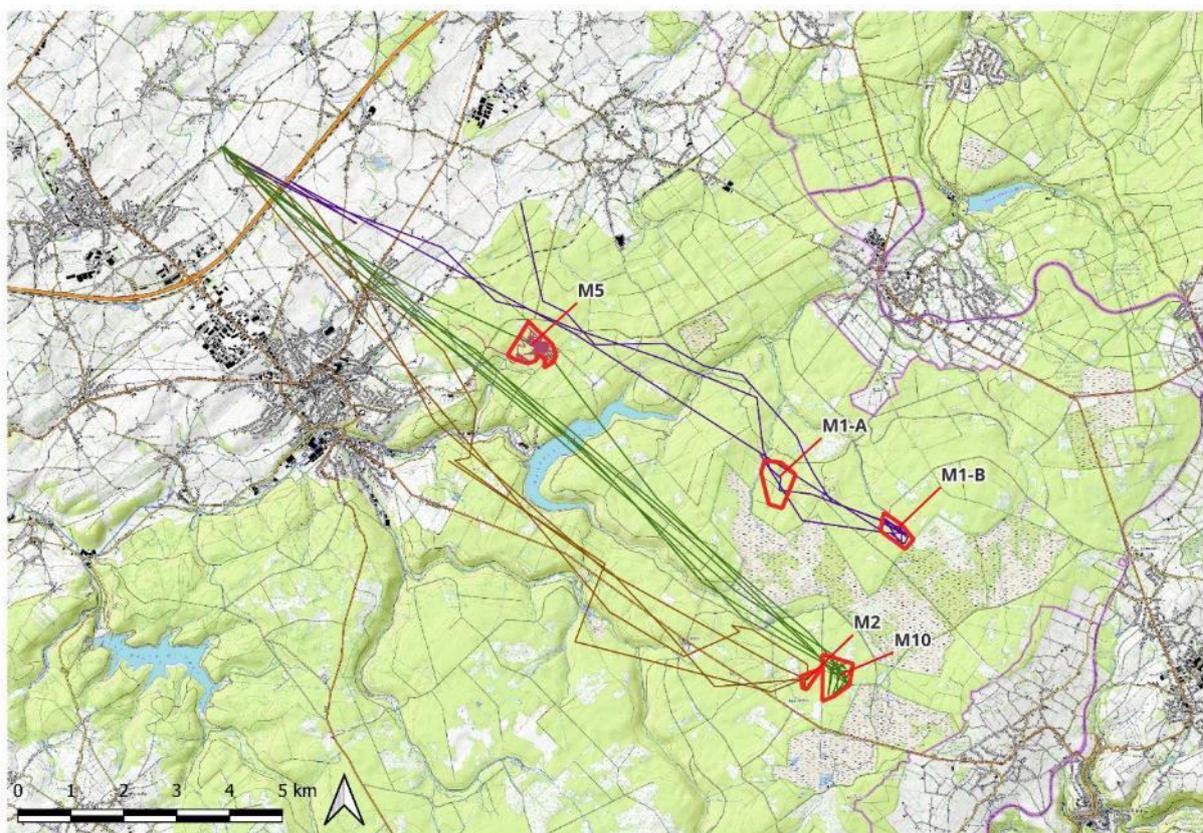
Caractérisation des principaux terrains de chasse utilisés par les femelles Grand Murin équipées de balises GPS à Lontzen

Auteur : Arnaud Beckers

Date du relevé : 27/07/2023

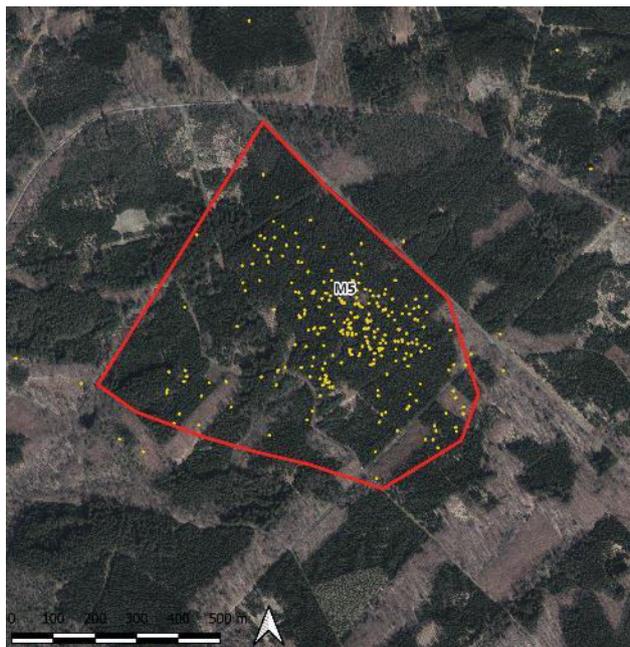
Date du rapport : 16/10/2023

5 sites de chasse ont pu être localisés pour les individus de la colonie de Lontzen grâce aux balises GPS : 2 sites pour l'individu M1, 1 site pour chacun des individus M2, M5 et M10.



Vue générale des sites de chasse exploités par les individus de la colonie de Lontzen, pour lesquels les balises GPS ont été récupérées

Zone de chasse de M5



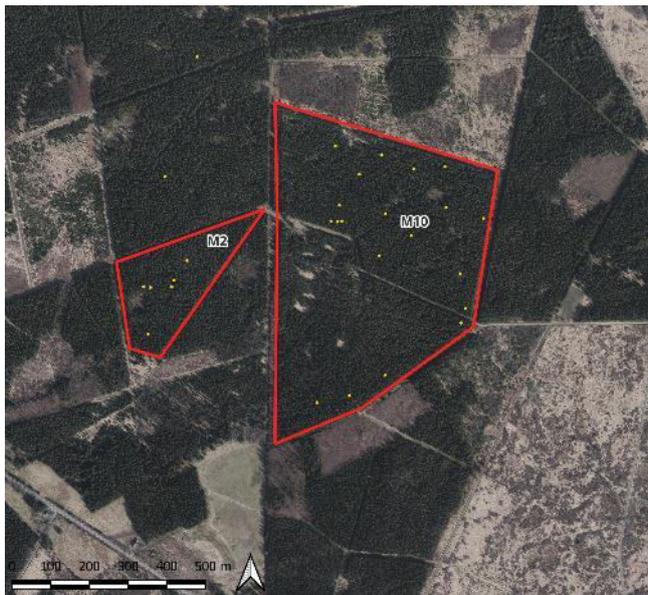
- Strate herbacée : ~70 % couvert de bryophytes, ~30 % de sol nu (aiguilles de résineux). Quelques stations éparses de myrtille commune (< 15 cm), callune, fougère sp.
- Bois mort au sol : oui, de petite section
- Strate arbustive : /
- Strate arborescente : 80 % épicéas, 20 % bouleaux
 - Age : selon Walonmap (voir carte ci-dessous), stade de mise à blanc ou de jeune plantation sur l'image aérienne/sat de 1971 -> environ 52 ans en 2023
 - Circonférences d'un échantillon de 20 arbres mesurées à hauteur d'homme :

Epicéas (cm)	Bouleaux (cm)
84	52
95	72
115	73
110	82
117	45
98	55
100	51
105	70
115	52
76	28





Zone de chasse de M10



- Strate herbacée : 80 % couvert de myrtilles commune (< 50 cm de hauteur) ou de bryophytes, ~20 % sol nu (parts variables d'une zone à l'autre du peuplement, avec parfois fougère sp. et molinie)
- Bois mort au sol : oui, de petite section
- Strate arbustive : /
- Strate arborescente : 100 % épicéas
 - Age du peuplement : selon Walonmap (voir carte ci-dessous), jeune plantation (~10 ans ?) en 1971 -> ~60 ans en 2023.
 - Circonférences d'un échantillon de 20 arbres mesurées à hauteur d'homme :

Epicéas (cm)
108
115
120
134
90
104
118
108
111
115





Zone de chasse de M2



(Voir carte commune avec M10)

- Strate herbacée : sol nu ~5 %, bryophytes ~50 %, fougères sp. + myrtille commune ~45 %
- Bois mort au sol : oui, de petite section
- Strate arbustive : /
- Strate arborescente : peuplement équié d'épicéas
- Age du peuplement : mise à blanc ou très jeune plantation en 1971 -> environ 52 ans
- Circonférences d'un échantillon de 20 arbres mesurées à hauteur d'homme :

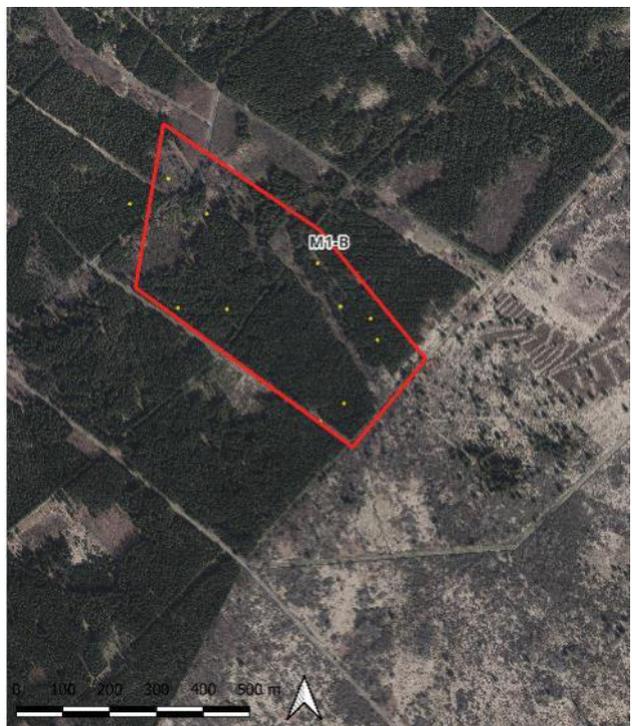
Epicéas (cm)
84
111
114
116
118
101
105
28
110
139

- Remarque : un arbre mort avec plusieurs morceaux d'écorce décollées (écart au tronc > 2 cm) -> abris potentiels pour des chauves-souris ?





Zones de chasse de M1



La caractérisation de ces deux terrains de chasse n'a pas encore été réalisée.

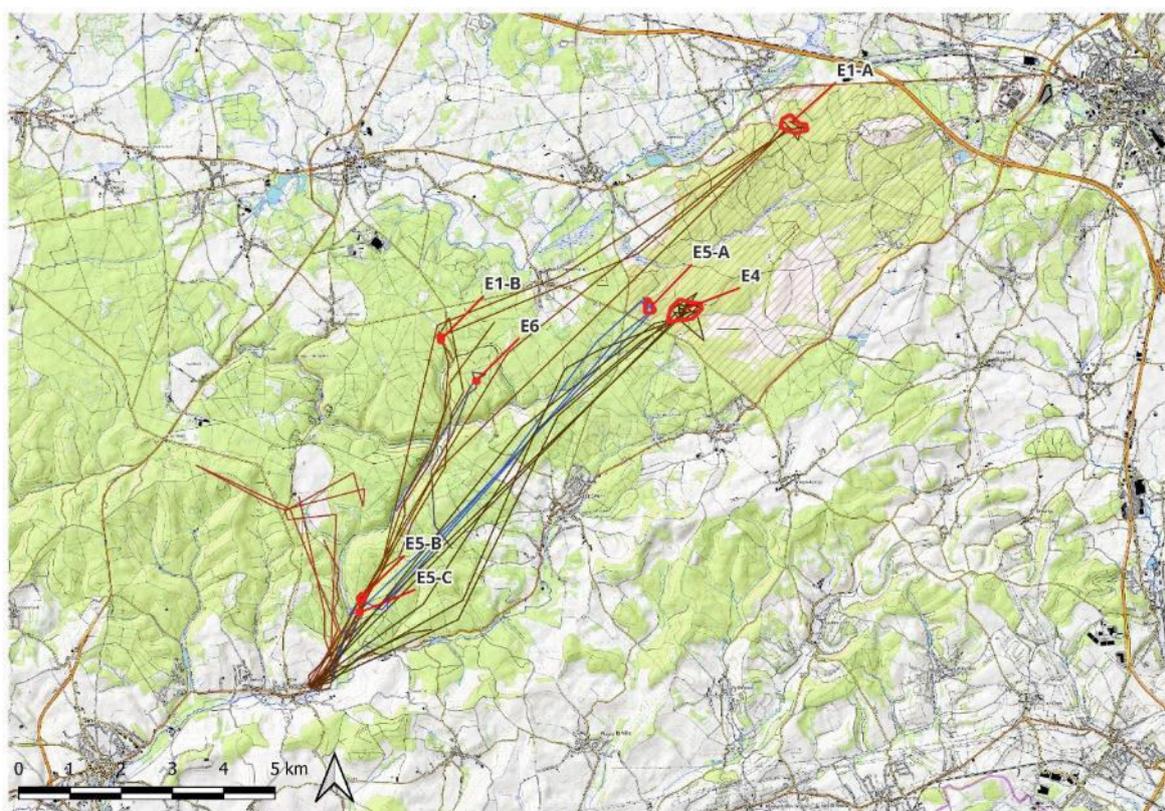
Caractérisation des principaux terrains de chasse utilisés par les femelles Grand Murin équipées de balises GPS à Ethe

Auteurs : Jean-François Godeau, Pierrette Nyssen et Ariane Meersschaert

Date des relevés : 08/11/2023 et 11/11/2023

Date du rapport : 28/10/2023

7 sites de chasse ont pu être localisés pour les individus de la colonie de Ethe grâce aux balises GPS : 2 sites pour l'individu E1, 1 site pour chacun des individus E4 et E6, 3 sites pour l'individu E5. Les données concernant l'individu E3 (qui exploite les zones directement au N de la colonie) n'ont pas vraiment permis d'identifier des sites de chasse clairs pour cet individu.



Vue générale des sites de chasse exploités par les individus de la colonie de Ethe, pour lesquels les balises GPS ont été récupérées

Zones de chasse de E1 : E1-A



d'homme :

Ce site se trouve au sein du camp militaire de Lagland. La forêt présente dans la zone de chasse est très hétérogène et présente une proportion feuillus/résineux très variable. On y retrouve

- des parcelles en pinèdes, dont certains arbres sont morts, d'autres noircis (par le feu vraisemblablement) jusqu'à mi-hauteur du tronc
- des parcelles à plus grande dominance feuillue
- des parcelles avec de gros résineux (sapin, épicéas, douglas) et un sol couvert de bryophytes
- une parcelle d'épicéas scolytés : petits arbres morts avec des écorces décollées

Description d'une parcelle de pinède (partie N-NO du site) :

- Strate arborescente de 20 m de haut, constituée en majorité de pins sylvestres avec quelques mélèzes et chênes.
- Strate arbustive : le sous-étage est relativement dense par endroits, constitué de sorbiers, bourdaine, épicéas, myrtille
- Circonférences d'un échantillon d'arbres mesurées à hauteur

Essence	Circonférence (cm)										
Betula pendula	90										
Larix decidua	89	93	94	103	107	117					
Pinus sylvestris	72	86	92	96	100	109	111	114	120	122	143
Quercus petraea	37	45									
Quercus robur	48										
Sorbus aucuparia	21	24									

Description d'une parcelle mixte feuillu-résineux (partie S-SE du site) :

- Strate arborescente assez dense, constituée en majorité d'épicéas (hétérogènes en taille) et de feuillus.
- Strate arbustive : /
- Circonférences d'un échantillon d'arbres mesurées à hauteur d'homme :

Essence	Circonférence (cm)													
Fagus sylvatica	11	23												
Picea abies	15	33 (mort)	33	34	48	58	71	86	88	186	192			
Pinus sylvestris	142													
Quercus sp.	62	85	88	94	97	101	105	106	111	111	116	120	120	122
Feuillu sp.	80 (mort)													





Zones de chasse de E1 : E1-B

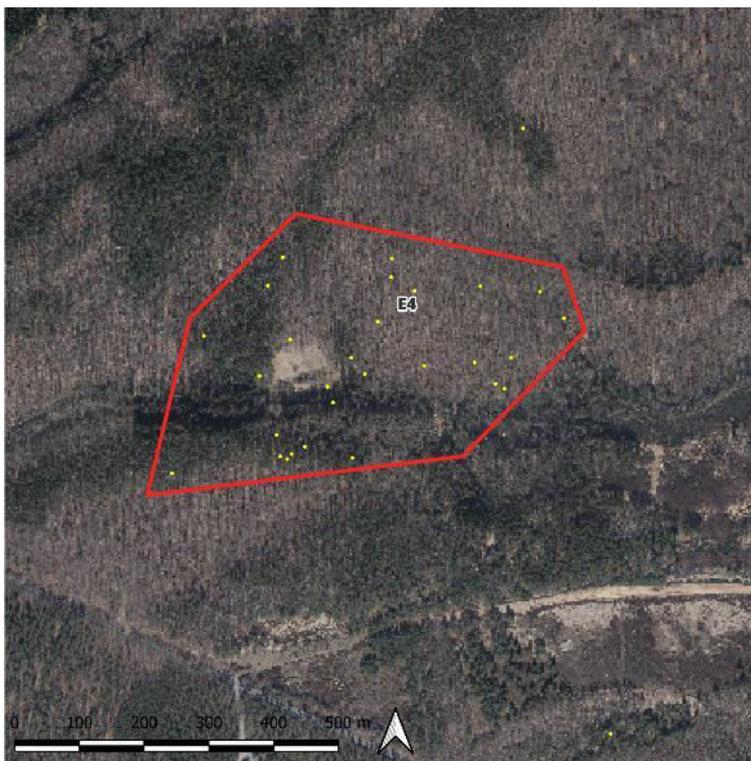


- Strate herbacée : couvert de bryophytes
- Strate arbustive : régénération naturelle d'écipéas (moins de 50 cm de haut) : 40 %
- Strate arborescente : 100 % écipéas – pessière équienne
- Circonférences d'un échantillon d'arbres mesurées à hauteur d'homme :

Ecipéas (cm)
78
95
96
98
100
101
102
103
109
110
111
113
114
118
119
119
123
125
129
131



Zone de chasse de E4



Ce site se trouve au sein du camp militaire de Lagland. Cette zone est hétérogène et est traversée par le ruisseau de Lagland dans sa partie sud. La présence de castors au niveau du ruisseau entraîne l'inondation du fond de vallée sur des surfaces localement assez conséquentes.

Un zone ouverte herbeuse (gagnage ?) occupe le milieu de la parcelle, une parcelle d'épicéas scolytés (morts) se trouve côté sud de la rivière.

Tout le reste est une forêt, majoritairement feuillue (même si la présence d'épicéa est plus importante côté sud de la rivière).

Description d'une parcelle feuillue représentative de l'ensemble :

- Strate arborescente : constituée principalement de gros chênes et de gros hêtres
- Strate arbustive : sous-étage diversifié, avec des bouleaux, pins, hêtres, chênes
- Strate herbacée : localement absente ou réduite, localement constituée de ronces et de fougères (dont la fougère aigle)
- Circonférences d'un échantillon d'arbres mesurées à hauteur d'homme :

Essence	Circonférence (cm)												
Carpinus betulus	22	22	33	41	47	61	74						
Fagus sylvatica	15	28	62	65	66	67	104	113					
Quercus petraea	19	33	40	82	123	147	174	180	181	200	216	229	246
Sorbus aucuparia	41												





Zones de chasse de E5 : E5-A



Ce site se trouve au sein du camp militaire de Lagland. Cette zone borde le ruisseau de Lagland.

- Strate arborescente : majoritairement feuillue, constituée de hêtres, chênes, noisetiers, bouleaux avec quelques pins et épicéas
- Strate arbustive : sous-étage diversifié
- Strate herbacée : localement absente ou réduite, localement plus dense (> 50%), constituée de myrtilles, graminées, etc
- Circonférences d'un échantillon d'arbres mesurées à hauteur d'homme :



Essence	Circonférence (cm)												
Betula sp.	21	24	29	48	59	96	103	129					
Fagus sylvatica	33	45	51										
Pinus sylvestris	109	110	118	124	140								
Quercus petraea	21	22	27	40	49	58	76	89	104	123	146	152	
Quercus robur	19	26											



Zones de chasse de E5 : E5-B et E5-C



E5-B



E5-B

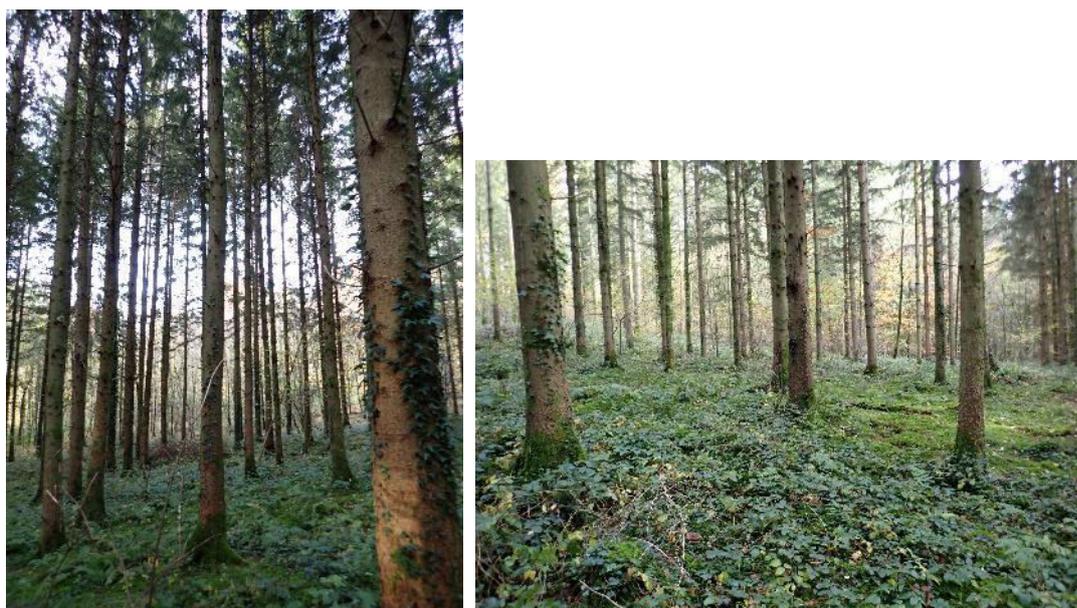
- Strate arborescente : pessière équienne
- Strate arbustive : / aucun sous étage
- Strate herbacée : 100 % de couverture de bryophytes, présence de quelques rares plantes en strate herbacées

E5-C

- Strate arborescente : pessière équienne
- Strate arbustive : sous étage absent avec toutefois la présence de quelques rares hêtres tout petits
- Strate herbacée : 100 % de couverture de bryophytes, présence d'une végétation herbacée avec un recouvrement d'environ 50% (lierre, fourgères, oxalis) de moins de 50 cm de haute
- Circonférences d'un échantillon d'arbres mesurées à hauteur d'homme :

E5-B Epicéas (cm)	E5-C Epicéas (cm)
67	37 (mort)
72	43
80	66
82	75
83	86
85	87
86	90
87	91
94	92
94	92
96	95
96	97
98	97
99	98
100	98
119	104
120	104
120	105
122	105
126	105
141	120

E5-C



Zone de chasse de E6



La caractérisation de ce terrain de chasse n'a pas encore été réalisée.