

# Utilisation de balises GPS pour étudier l'écologie de la Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) : retours d'expériences

Yannick BEUCHER\*, Thomas DARNIS\*\*, Vincent PARMIN\*\*

\* EXEN,  
Le Coustat, 12310 Vimenet  
*ybeucher@exen.pro*

\*\* ONF, Agence Montagnes d'Auvergne  
98, rue Léon Blum, 15 000 Aurillac  
*thomas.darnis@onf.fr*

**Résumé.** - L'écologie de vol de la Grande noctule et globalement l'ensemble des comportements de son activité nocturne sont largement méconnus en France. Ces lacunes sont un enjeu de conservation majeur pour une espèce considérée comme sensible à certaines menaces parfois fortes localement (exploitation forestière, éolien...). Depuis 2017, pour compenser ces lacunes, les chiroptérologues d'EXEN et de l'ONF testent et adaptent l'utilisation de la technologie GPS sur différentes populations connues de Grandes noctules. Le type de balise et leur mode de mise en œuvre pour cette espèce ont déjà évolué et permettent aujourd'hui le recueil de données précieuses pour préciser les zones de chasse, les hauteurs de vol, les domaines vitaux, le rythme d'activité... Les premiers résultats permettent de percevoir l'extraordinaire aptitude de l'espèce à exploiter des zones de chasse parfois très éloignées des gîtes et parfois très hautes, ce qui remet en question la notion de ségrégation sexuelle en phase d'activité, de colonies pourtant distantes de plusieurs dizaines de kilomètres. Ils témoignent de plusieurs stratégies de recherche alimentaire selon les individus (prospections aléatoires ou prédictives). Ils traduisent d'étonnantes capacités de mémorisation spatiale et interrogent sur les raisons de longues séquences de vol à des niveaux de plateaux de haute altitude localisés dans l'espace. Ces résultats confirment l'intérêt évident de cette technologie pour compléter les connaissances à l'échelle de l'espèce mais aussi de façon plus appliquée à l'échelle d'une population. A terme, la miniaturisation des balises devrait ouvrir une nouvelle page des techniques de chiroptérologie.

**Mots clés.** - Grande noctule, GPS, VHF, télémétrie, accéléromètre, aéroécologie

## INTRODUCTION

La Grande noctule reste une espèce mal connue en France car difficile à suivre du fait d'une mobilité et de hauteurs de vol exceptionnelles et de ses changements réguliers de gîtes arboricoles. Les méthodes classiques d'étude des chauves-souris en phase d'activité (acoustique, capture, télémétrie...) fournissent alors des résultats partiels, limitant la perception générale de son écologie. Ces méconnaissances sont problématiques pour une espèce au statut de conservation défavorable et exposée à des menaces supposées fortes (exploitation forestière, éolien, dégradation des habitats ou de la ressource alimentaire...). Suite à la découverte de nouveaux bastions de populations en France cette dernière décennie, d'autres méthodes de suivis doivent être développées pour améliorer les connaissances sur l'activité de ces colonies (domaines vitaux, technique de chasse, comportements sociaux, migrations...) et sur les menaces qui pèsent sur elles.

L'utilisation de puces GPS pour suivre les mouvements de la faune sauvage présente de nombreux intérêts

tant pour des raisons logistiques de recueil de données que pour la précision des résultats. Leur miniaturisation progressive ouvre de nouvelles perspectives sur les micro-Chiroptères. Mais cette nouvelle technologie impose une prise en main et des adaptations particulières pour des espèces nocturnes aussi petites. Depuis 2017, les équipes de chiroptérologues d'EXEN et de l'ONF ont testé et adapté cette technologie à l'étude de l'activité nocturne de la Grande noctule sur plusieurs colonies. Notre présentation propose un retour d'expériences sur ses modalités de mise en œuvre pour cette espèce, sur le matériel, son paramétrage, ses limites et sur les premiers résultats exploitables.

## ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES POPULATIONS DE GRANDE NOCTULE EN FRANCE FIN 2020

La Grande noctule est classée « Vulnérable » au niveau des listes rouges nationales UICN par manque de connaissance de son écologie et de ses populations. Bien étudiée en Espagne depuis la fin des années 1990, elle était historiquement censée se reproduire uniquement

dans les plaines chaudes du sud du pays [POPA LISSEANU, 2007] et donc considérée comme une espèce plutôt méditerranéenne.

En France (Figure 1), l'espèce a d'abord été suivie en Corse depuis 2004-2005 [BEUNEUX, COURTOIS, & RIST, 2010], confirmant ce caractère méditerranéen. Mais l'espèce a quitté l'île de beauté au début des années 2010. Avant 2010, quelques gîtes d'individus non reproducteurs sont découverts dans les Landes [FOUERT & GONZALEZ, 2011] et sur l'Aubrac Lozérien [SANÉ, 2007]. Les premières preuves de reproduction en France interviennent avec les premières colonies de mise bas découvertes en juin 2012 sur les reliefs des Combrailles (63) [BEUCHER, ALBESPY, & MOUGNOT, 2012] et sur le plateau du Lévezou (12) [DUBOURG-SAVAGE, BEC, & GACHES, 2013]. Ces découvertes confirment la reproduction de l'espèce en France et remettent aussi en question le caractère méditerranéen de cette espèce.

Depuis, avec la démocratisation des techniques de bioacoustique et de méthodes spécifiques de recherches de gîtes (poursuites au petit matin), de nouveaux groupes ont pu être identifiés régulièrement dans le Massif central, dans les Pyrénées et dans les Landes, témoignant de types de populations et statuts biologiques variés selon le genre, l'âge des individus, et la fonctionnalité écologique du site. Fin 2020, une quinzaine de noyaux de populations sont ainsi identifiés en France, majoritairement dans de vieilles forêts du grand Massif central. Environ la moitié d'entre eux correspond à des populations reproductrices (femelles ou mâles séparés en dehors de la période d'accouplement).

Si ces découvertes permettent des avancées sur son aire de répartition, la Grande noctule reste mal connue en France. D'autres bastions de populations restent à

découvrir si on se réfère aux données d'activité acoustique. Les liens entre les différents groupes sexués ou mixtes, à l'échelle locale, régionale voire internationale sont difficiles à mettre en évidence sans une évolution des techniques de suivi (marquage individuel, études génétiques...). Les préférences écologiques, mœurs sociales, comportements de reproduction et phases d'hivernage restent quasi méconnus. Du fait de l'extraordinaire mobilité de l'espèce, les méthodes classiques de télémétrie par triangulation sont difficiles à utiliser et des lacunes majeures demeurent sur les stratégies de chasse, les caractéristiques de vols, l'activité migratoire...

- 2004 Corse : premiers gîtes arboricoles de l'espèce de France découverts en forêts Corse, population de mâles [BEUNEUX, COURTOIS, & RIST, 2010],
- 2006 Aubrac : gîtes d'individus non reproducteurs découverts en Lozère [SANÉ, 2007]
- 2008 Landes : premier gîte dans les Landes (40), femelle non reproductrice [FOUERT & GONZALEZ, 2011]
- 2012 Combrailles : premier gîte de mise-bas (femelles reproductrices), Puy-de Dôme (63) [BEUCHER, ALBESPY, & MOUGNOT, 2012]
- 2012 Lévezou : colonie de mise-bas du Lévezou, Aveyron (12) [DUBOURG-SAVAGE, GACHE, BEC, & BEUCHER, 2014],
- 2014 Combrailles : découverte de groupes de mâles satellites autour de la colonie de mise-bas (63), première mention de colonie mixte [BEUCHER & GAGER, 2017]
- 2016 Haute Vallée du Lot : première population de mâles reproducteurs découverte en Aveyron

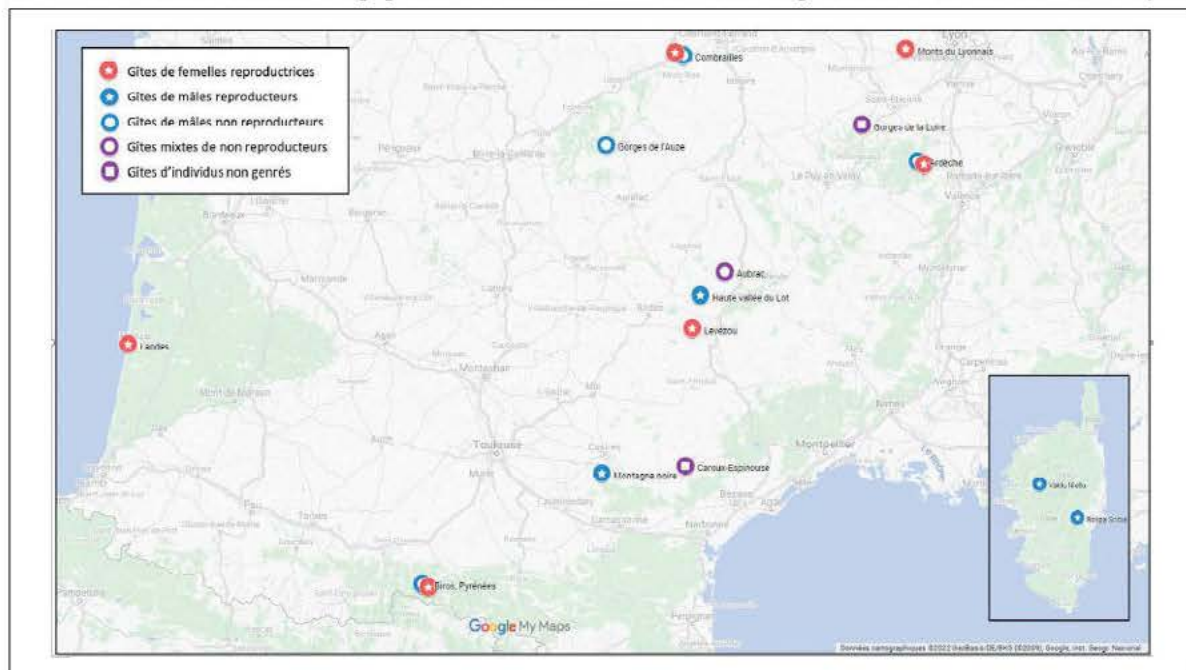


Figure 1. - Synthèse historique des découvertes de colonies de grandes Noctules en France (fin 2020)

- [BEUCHER, 2016],
- 2016 Espinouse : gîte d'individus non genrés dans l'Hérault (ONF, comm. pers.),
  - 2017 Gorges de l'Auze : population de mâles dans les gorges de la Dordogne [DARNIS, 2019],
  - 2017 Monts du Lyonnais : nouvelle colonie de mise-bas (femelles et jeunes) [GIACOMO, DEFERNEZ, GIRARD-CLAUDON, & RIBATTO, 2018],
  - 2018 Biros, Pyrénées : nouvelle population mixte découverte en Ariège [BAILLAT, *et al.*, 2018],
  - 2019 Ardèche : nouvelle population mixte [DEANA, 2019],
  - 2019 Gorges de la Loire : nouvelle population en Haute-Loire (Chauve-souris Auvergne 2019, comm. pers.),
  - 2020 Montagne noire : nouvelle population de mâles reproducteurs [BEUCHER, 2020]

LA TECHNOLOGIE GPS :  
QUELS INTÉRÊTS POUR LA GRANDE NOCTULE ?

L'utilisation de puces GPS pour suivre les déplacements de la faune sauvage intervient à la fin des années 1990, d'abord sur des espèces de grande taille (ongulés sauvages). Mais la miniaturisation progressive des puces autorise une exploitation sur des espèces plus petites, entraînant un bond dans la connaissance de l'écologie des espèces, souvent à l'échelle internationale (ex. caractéristiques de vols et migration des oiseaux, application sur la propagation du virus H5N1, amélioration des modes de vols des grands rapaces...). Il faudra attendre 2015 avant que cette technologie ne soit exploitée sur des chauves-souris en Europe, d'abord pour comparer les comportements de vols de *Noctules* communes (*Nyctalus noctula*) mâles et femelles proche de parcs éoliens allemands [ROELEKE, BLOHM, KRAMER-SCHADT, YOVEL, & VOIGT, 2016].

Les premières Grandes noctules équipées de balises GPS (2017) sont françaises. Pour limiter les risques perturbatoires, ce sont d'abord des mâles de la Haute-Vallée du Lot en Aveyron qui ont été choisis pour tester la technologie en dehors de la période de reproduction [THUROW, 2018]. Rapidement, ces nouveaux outils ont permis de comprendre combien notre perception initiale de la mobilité nocturne de l'espèce et ses hauteurs de vol étaient largement sous-évaluées [THUROW & BEUCHER, 2018]. Depuis, les modes d'utilisation du GPS ont progressé avec l'évolution des méthodes, du matériel et au travers de suivis portés par les équipes d'EXEN et de l'ONF et leurs partenaires associatifs (ANA, GCMP, Chauves-Souris Aveyron...) sur d'autres noyaux de populations.

L'amélioration rapide des connaissances sur l'activité nocturne de la Grande noctule présente un intérêt conservatoire évident pour une espèce aussi mal connue et aussi compliquée à étudier ; espèce arboricole, changeant de gîte régulièrement, très mobile, volant souvent hors de portée d'écholocation des récepteurs acoustiques, dans des secteurs difficiles d'accès via des méthodes de

tracking VHF classiques... L'utilisation du GPS pour appréhender finement les risques éoliens peut être une application adaptée voire nécessaire au vu de la sensibilité de l'espèce. Les données recueillies permettent tout autant une approche des risques et des préconisations de gestion forestière favorable.

MATÉRIEL ET PARAMÉTRAGE

*Principe de base*

L'exploitation des puces GPS pour les chauves-souris est contrainte par la taille des espèces (miniaturisation nécessaire), par les limites d'autonomie qui en découlent et par l'activité nocturne qui ne permet pas une valorisation de l'énergie solaire. La récupération à distance des données n'est pas possible à ce jour ; la balise doit être récupérée pour recueillir les données. Les individus ainsi équipés doivent donc être quotidiennement suivis par émetteur VHF pour retrouver la puce et les données acquises en fin de suivi. Ce recueil de données est alors possible soit par recapture de l'animal équipé, soit par recherche de la balise tombée seule dans l'arbre à gîte (ou ailleurs...). Ces contraintes de base conditionnent le choix du matériel et les méthodes d'utilisation de cette technologie pour étudier la Grande noctule ...

*Matériels GPS utilisés*

Trois modèles de balises GPS ont pu être testés. Le fournisseur (Lotek) propose des modèles avec ou sans émetteur VHF intégré. Le choix du type de modèle dépend de contraintes logistiques, de la marge de temps disponible et du mode de récupération de la balise et / ou des données en fin de session.

- Les modèles les plus simples présentent uniquement le module GPS (« PinPoint SOB Store-On-Board », 1 seule antenne). Ce sont les plus légers mais imposent l'utilisation complémentaire d'un émetteur VHF classique (préalablement collé sur la balise GPS) pour le suivi de la bête équipée et la récupération des données en fin de suivi. Le paramétrage consiste en la programmation des dates et heures de relevés GPS. L'intérêt de ces modèles réside dans le fait que les relevés GPS et les émissions VHF exploitent deux batteries séparées dont l'usage et le paramétrage sont distincts. Si le niveau de batterie est très faible en fin de session pour le GPS, la balise VHF émet toujours dans de bonnes conditions pour garantir sa recherche. Ce type de modèle n'intègre pas d'accéléromètre.
- Les modèles couplés balise GPS / émetteur VHF (« PinPoint Beacon », 2 antennes) présentent l'avantage d'une gestion distincte des paramétrages des relevés GPS (nocturnes pour les phases d'activité) et des émissions du signal VHF (diurnes, pour les phases de repos au gîte). Il s'agit alors de paramétrer les dates et heures de relevés GPS et les dates et heures d'émission VHF en anticipant et organisant la période de suivi de l'individu équipé. Par contre, les

deux technologies exploitent une seule et même batterie, conditionnant la durée de la période de suivi. Il s'agit donc d'optimiser autant que possible les phases de relevés de données et les heures de suivis VHF pour économiser la batterie et faire en sorte qu'elle ne se vide pas complètement. Si le niveau de batterie devient critique en fin de suivi, la capacité de suivis VHF nécessaire pour retrouver la balise et récupérer les données est limitée. Un programme Lotek permet de simuler l'effet des choix des paramétrages sur la gestion de l'énergie disponible. Cette anticipation reste toutefois dépendante d'une diversité de facteurs d'influence (types de données recueillies, niveau d'activité de l'individu, niveau de réception satellitaire, conditions climatiques...). Ces dernières années, ce type de modèle intègre la possibilité de récupérer des données d'accélération, permettant donc de détecter aussi l'arrêt d'activité (chute de la balise en fin de session ou mort de l'animal), voire de relever la présence de balises actives dans l'entourage. L'accéléromètre facilite l'optimisation des relevés en paramétrant son déclenchement uniquement lorsque l'animal est actif. Cela permet d'éviter des relevés GPS inutiles pour un individu qui reste immobile au gîte.

- Les modèles mixtes GPS / VHF plus récents (« Pin-Point VHF », 2 antennes) correspondent aux modèles PinPoint GPS Beacon avec en plus, l'option intéressante de récupérer les données à quelques dizaines de mètres de l'individu une fois l'arbre à gîte de l'individu équipé identifié. L'opération nécessite l'utilisation d'un récepteur VHF spécifique (« VHF commander »). Cela permet de sécuriser le recueil de données pendant la phase de suivi ou en fin de suivi lorsque la phase de récupération de la balise est difficile (balise encore collée sur le dos de l'animal, risques de per-

turbation d'une colonie par recapture, balise tombée mais impossible à récupérer dans un tronc creux ...). Le recueil de données via le VHF commander se fait rapidement avec une faible consommation d'énergie tant que seuls les points GPS sont téléchargés (données d'accélération plus lourdes). Ce type de modèle GPS intègre l'accéléromètre et un capteur de température.

**Paramétrages et limites pour suivre l'activité de la Grande noctule**

Les modèles testés par EXEN et l'ONF depuis 2017 pour étudier l'activité nocturne de la Grande noctule disposent d'une batterie de 50 mA et permettent un échantillon de relevés d'environ 300 points géographiques (latitude, longitude, altitude). Si les relevés sont réalisés avec un réseau satellitaire insuffisant, ils sont inexploitable (« invalides »).

Selon les suivis réalisés, les intervalles de temps testés ont été de 8, 10 ou 20 min. Pour cette capacité de batterie et ces intervalles, les 300 points couvrent une durée de l'ordre de trois à une douzaine de nuits successives par individu selon la durée de la nuit et le niveau d'activité de l'individu. La durée à cibler dépend donc de l'objectif recherché, de la période de l'année, du mode de récupération de données envisagé, mais aussi du bon paramétrage des horaires de début et de fin de suivi pour éviter autant que possible que les relevés soient réalisés lorsque l'individu est immobile au gîte. Car au-delà du fait que ces relevés au gîte gaspillent le potentiel disponible de relevés d'activité de vol, ils correspondent aussi pour beaucoup à des mesures invalides. Les gîtes sont en effet souvent localisés dans des secteurs encaissés à faible capacité de localisation satellitaire. Pour les suivis menés en Aveyron sur les premières années de test (Figure 2), le taux de points valides est très variable (10 à 70 %), avec une

	Année	2017	2018				2018	2019		2019	Totaux
	Mois	Septembre	Mai-mai				Juillet	Fin mai		Juillet	
Echantillon suivi	Objectif	1 <sup>er</sup> test GPS chiros	Comparaisons inter-individus				1 <sup>er</sup> tests femelle	Comparaisons inter-individus		Comparaisons intra et inter-groupes sexuels	14
	Nb d'individus équipés	1	3				1	2		7	
	Sexe / Statut	Jeune ad. mâle non sex. actif	Mâles adultes non sex. Actif		Vieux mâle	Femelle adulte	Mâles adultes		4 mâles   3 femelles		
	Identifiant	M1-17	M2-18	M3-18	M4-18	F1-18	M3-19	M4-19			
Données GPS	Nb de GPS récupérés	1	2				1	2		6	
	Mode de récupération	Recapture	Recapture + gîte				Au gîte	Recapture + gîte			
	Nb de nuits suivies / individu	3	5				12	9			
	Nb de nuits suivies tot.	3	10				12	18			
	Nb points enregistrés	93	298		297	398	270	273	7,25		
	Nb points valides satellites	65	112		79	187	78	77			43
	Pourcentage points valides	70%	38%		10%	46%	10%	12%			28%
Paramétrage	1 / 20 min	1 / 8 min				1 / 20 min	1 / 20 min		1 / 20 min		
Suivi des individus équipés	Poids individu à la capture	50	48	52	47		47	49			
	Heure capture	2h45	23h40	23h19	23h30		22h50	23h00			
	Pourcentage poids GPS	6,0%	6,3%	5,8%	6,4%		6,4%	6,1%			
	Nb de jours équipé	3	12	11	12		8	8			
	Poids individu à la recapture	47	39		47		47,5	46			
	Heure recapture	22h30	22h00		01h45		3h40	23h00			
Evolution du poids (%)	-6	-19		0		1	-6				

Figure 2. Synthèse des données de suivis GPS et des individus équipés en Aveyron entre 2017 et 2019 (EXEN, Chauves Souris Aveyron, GCMP)

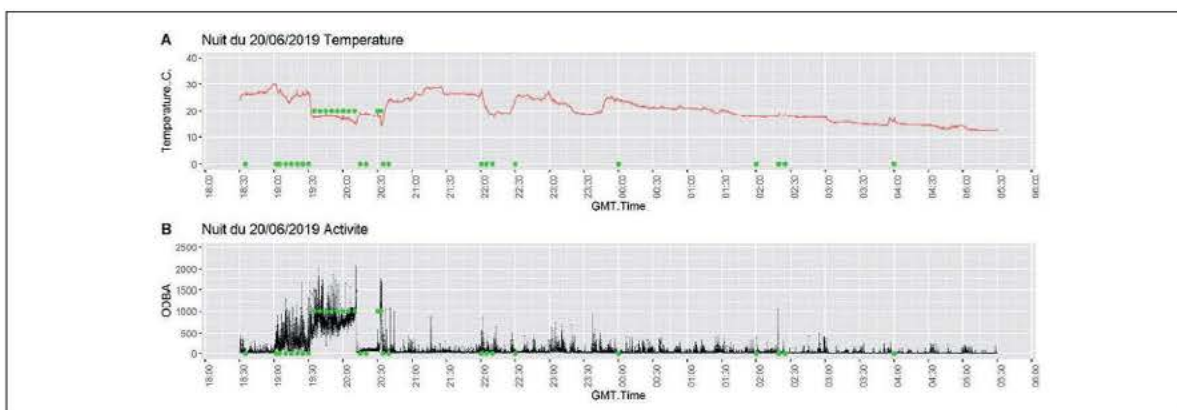


Figure 3. - Exemple de relevés de données de l'accéléromètre et de points GPS (ONF, Ariège 2019)

moyenne à 28 %, soit moins d'une centaine de relevés de positionnement réellement exploitables en moyenne par individu équipé. Ce faible taux serait fortement amélioré à l'aide d'un paramétrage adapté de l'accéléromètre aujourd'hui disponible.

Au-delà de l'intérêt de l'accéléromètre pour optimiser le début de la phase de relevés GPS (PinPoint Beacon, PinPointVHF), les mesures recueillies peuvent aussi être exploitées pour préciser des notions d'activité de l'individu équipé. La mesure de base est une la valeur OBDA (Overall Dynamic Body Acceleration) correspondant à une synthèse échantillonnée toutes les 2s de données triaxiales collectées à une fréquence élevée (10Hz). Cette valeur traduit une notion de dépense énergétique de l'animal. Les premiers tests menés par l'ONF évoquent un seuil OBDA de l'ordre 500, pertinent pour différencier une Grande noctule active au gîte (<500) ou en vol (>500). Ce seuil est donc à retenir comme paramètre d'optimisation de la prise de mesures géographiques. La Figure 3 confirme que les relevés GPS (points verts) interviennent surtout pour les phases d'activité, d'abord au sein du gîte (OBDA <500, T° élevée) puis en vol (OBDA >500, T° plus faible). Au sein du gîte, les mesures OBDA per-

mettent donc aussi de distinguer des phases d'activité ou de repos de l'animal.

L'analyse comparée de l'évolution des relevés OBDA, de la température et des données GPS devrait permettre à terme d'interpréter plus finement les comportements de l'individu (techniques de vol, de chasse, de prise d'altitude...) et de gestion de l'énergie dans différentes situations.

#### MÉTHODE DE MISE EN ŒUVRE DU SUIVI

Concrètement, le suivi débute par la phase de capture et d'équipement des individus sélectionnés. Pour EXEN et l'ONF, les captures sont réalisées à l'aide de filets canopés positionnés dans les secteurs d'activité ou de gîtes connus [DARNIS T., 2014] sous la strate arborescente, en forêt. L'utilisation maîtrisée d'un leurre acoustique via l'émission ultrasonore de cris sociaux préenregistrés (Batlure) est particulièrement efficace pour attirer les individus qui passent à portée de signaux. (Figure 4)

Suite aux relevés biométriques, les balises GPS sont collées sur les individus sélectionnés dans les mêmes conditions que pour la pose d'émetteurs VHF (colle



Figure 4. - Schéma et clichés de la méthode de capture

chirurgicale, inter-omoplates...). La méthode d'encollage conditionne la durée du suivi. S'il s'agit de privilégier le recueil des données par récupération de la balise tombée seule plutôt que la recapture de l'animal, le volume du point de colle est réduit, en évitant d'écarter les poils pour que la colle soit au minimum en contact avec la peau. Des conditions climatiques humides limitent la durée de fixation.

Une fois relâchés, les individus équipés sont suivis quotidiennement à distance par télémétrie VHF (selon les modalités de paramétrages de l'émetteur VHF). Les comptages en sorties de gîtes permettent d'estimer la taille des groupes des individus équipés. Pour des suivis longs (plusieurs semaines) menés avec des balises PinPoint VHF, un recueil intermédiaire des premières données à distance est sécurisé via le PinPoint commander.

Pour un mode de recueil des données par recapture, cette dernière est pratiquée soit à l'aide d'un harp-trap arboricole positionné à l'entrée du gîte de l'individu, soit par filet de canopée positionné dans l'entourage de l'arbre-gîte. Selon le niveau de fixation résiduel, la balise peut être détachée de l'animal à l'aide d'une pince à épiler. Si le décollage est trop compliqué (fixation forte, conditions de capture et de stress de l'animal...), les données sont récupérées sur le dos de l'animal avant d'être relâché. La balise tombera d'elle-même plus tard.

Le mode de recueil de données sans recapture intervient après vérification par suivi VHF que la balise est bien restée dans l'arbre suite à la sortie de gîte. Dès lors, la récupération de la balise peut être différée (en attendant par exemple un changement d'arbre-gîte par le groupe, fréquent pour la Grande noctule). Elle nécessite l'intervention de cordistes avec un endoscope, d'un aimant ou d'une pince télescopique. Ce mode de récupération est moins intrusif, mais impose une forte disponibilité logistique et du temps en fin de session.

Pour les individus recapturés après avoir perdu leur balise, aucune blessure n'a été constatée sur l'ex-zone d'encollage jusqu'à présent. La peau y est toutefois à nu. (Figure 5)

#### LIMITES

Les individus sélectionnés sont les plus lourds et les plus vaillants, pesant de l'ordre de 45 à 60g en sortie de gîte. Dans ces conditions, le poids de la balise GPS+ VHF représente environ 5 à 6,5 % du poids de l'animal. Mais ce critère de proportion de poids comme mesure pertur-

batoire de l'animal est relatif car il dépend fortement de l'heure de la pesée. La prise de poids est rapide lors des premières phases de chasse ou d'abreuvement nocturne. En Aveyron, un même individu capturé 2 fois en début de nuit a pris plus de 22 % de son poids initial en une heure. Or la première capture pour équiper l'animal intervient souvent tard dans la nuit alors que les recaptures de fins de suivis interviennent généralement plus tôt (sortie de gîte de l'individu suivi par VHF). Cette prise de poids rapide des premières heures d'activité couvre donc largement les diminutions possibles du poids de l'animal mesurées au cours de la durée du suivi. Pour les premiers suivis réalisés en Aveyron depuis 2017 (Figure 2), pour 5 individus équipés et recapturés en fin de suivi, 2 n'ont pas perdu de poids, 2 ont perdu 6 % de leur poids et 1 a perdu 19 %. Pour ce dernier, le biais lié à l'heure de la mesure est évident, la capture initiale ayant été réalisée à 23h40 alors que la recapture est intervenue à 22h00. L'effet perturbatoire de la balise via ce critère de poids a été aussi analysé lors d'expériences plus récentes en Europe sur la Grande noctule, dont parfois avec des balises plus lourdes [VASENKOV, VASILIEV, SIDORCHUK, & ROZHNOV, 2020] [NAĐO, *et al.*, 2019]. Dans les deux cas, les auteurs concluent sur l'absence de perte de poids significative ou d'effet comportemental évident. D'autres facteurs perturbatoires pourraient être pris en compte (ex. gène du mode d'encollage, stress lié aux captures-recaptures...).

En 2018, la précision des relevés d'altitude a été testée par EXEN pour 2 balises GPS à l'aide d'un drone permettant des relevés très précis (Mavic pro DJI), sur la base de 10 points de relevés du drone équipés des balises. La comparaison des résultats a montré un delta de 64±27 mètres et de 57±22 mètres par rapport aux valeurs du drone. Ce biais dépend du réseau de satellites détectés mais aussi de la balise, ce qui suppose idéalement la réalisation de ce type de test pour chaque balise avant de l'utiliser.

La récupération des données ou des balises GPS n'est pas toujours possible, notamment pour une espèce aussi mobile que la Grande noctule. Il arrive que le contact VHF d'individus récemment équipés soit perdu dès le lendemain de la phase de capture. En juillet 2019, pour 7 individus équipés sur 2 populations séparées de plus de 20 km, tous les contacts ont été perdus simultanément après plusieurs nuits de suivis, probablement lié à un phénomène climatique (orage). Les suivis acoustiques témoignaient alors d'un abandon des sites par l'ensemble des colonies. Les recherches VHF sur de nombreuses journées



Figure 5. - Clichés d'individus équipés de différentes balises GPS et suite à la perte de la balise

successives et dans un rayon très large autour des sites sont restées vaines. Cette capacité de l'espèce à abandonner subrepticement un secteur de gîtes représente donc un risque de perte de données. Sur les 14 individus équipés entre 2017 et 2019 en Aveyron, moins de la moitié des balises a ainsi été retrouvée (6). Le phénomène de juillet 2019 doit toutefois être considéré comme exceptionnel. On estime plutôt à  $\frac{1}{4}$  le risque de non-récupération des données GPS sur l'ensemble des opérations menées par EXEN et l'ONF à ce jour.

L'ensemble des limites qui conditionnent l'utilisation de GPS pour suivre l'activité de la Grande noctule (paramétrage, facteurs climatiques, réception satellitaire, difficulté de recueil de données...) justifie d'équiper plusieurs individus à chaque capture pour espérer obtenir des résultats exploitables. Mais c'est aussi dans un objectif de représentativité statistique des résultats vis-à-vis de la population étudiée que l'équipement de plusieurs individus est justifié.

#### PREMIERS RÉSULTATS

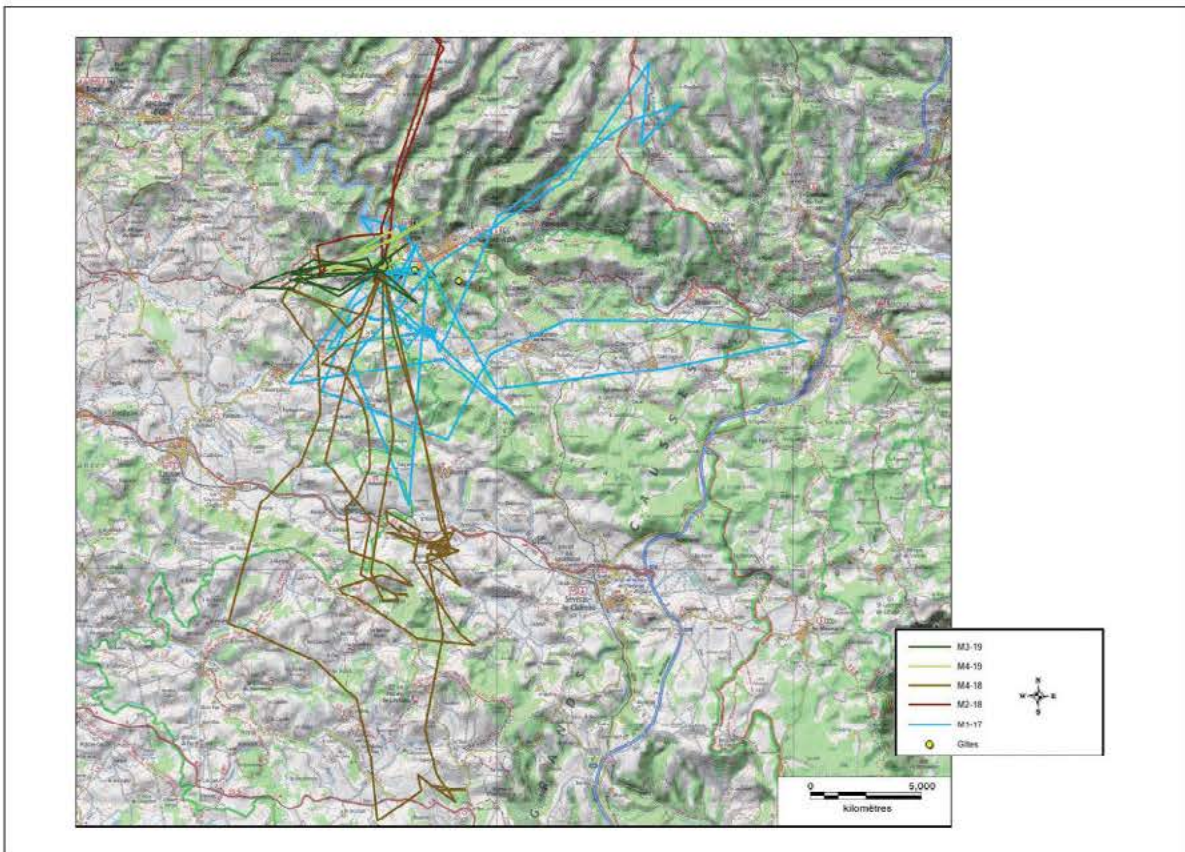
Pour la Grande noctule et en comparaison aux autres méthodes, la principale motivation de l'utilisation de la technologie GPS est celle d'une amélioration des connaissances à la fois rapide et précise sur des thèmes variés

tels que :

- Les zones d'activité, les distances aux gîtes, les habitats et reliefs survolés, les domaines vitaux,
- Les stratégies de chasse, comportements de vols, hauteurs de vols, vitesses de vols,
- L'identification du réseau de gîtes diurnes, voire nocturnes, et son exploitation inter-journalière par un même individu,
- Le rythme d'activité nocturne, voire diurne, l'effet des conditions climatiques...
- L'approche comparée des comportements, que ce soit
  - entre individus d'un même noyau de population ou entre individus de groupes différents (noyaux de populations, mâles et femelles...) sur une même période, avec recherche éventuelle de liens entre populations distinctes,
  - ou bien pour les mêmes groupes d'individus mais sur différentes périodes du cycle biologique ou conditions climatiques,

L'exploitation des données géographiques de base (coordonnées géographiques, altitudes à heures GMT) permettent les analyses de la plupart des objectifs précités.

La carte de la *Figure 6* synthétise les trajectoires de vols obtenues pour 5 mâles de la même population de la Haute vallée du Lot (12) suivis en septembre 2017 (1 individu pendant 3 nuits), mai 2018 (2 individus pen-



*Figure 6.* - Carte des résultats de suivis GPS de 5 mâles de la haute vallée du Lot (12) entre 2017 et 2019

dant 5 nuits chacun) et mai 2019 (2 individus pendant 9 nuits). Elles témoignent d'une diversité de trajectoires en distance et en orientation entre les individus et les campagnes de suivi.

Pour un même individu, d'une nuit à l'autre, les zones d'activité peuvent être assez variées (cas du mâle de septembre 2017). Mais on note une certaine tendance d'orientation des vols vers une même direction générale entre plusieurs nuits. C'est le cas pour les relevés de mai 2018, avec un individu qui exploite pendant 5 nuits une vaste zone située au sud du secteur de gîtes alors que

l'autre exploite à l'inverse les contreforts de l'Aubrac au nord. Cela traduit une mémorisation géographique de l'activité des nuits précédentes et donc une certaine organisation prédictive de l'orientation des vols par individu.

Cette fidélité d'orientation inter-nocturne est flagrante pour les résultats de suivis d'une femelle du plateau du Lévézou en juillet 2018 (Figure 7) qui se dirige systématiquement à l'est du secteur de gîtes et longe les gorges du Tarn vers un site de chasse très localisé à plus de 50 km. Ces données confirment la stratégie de

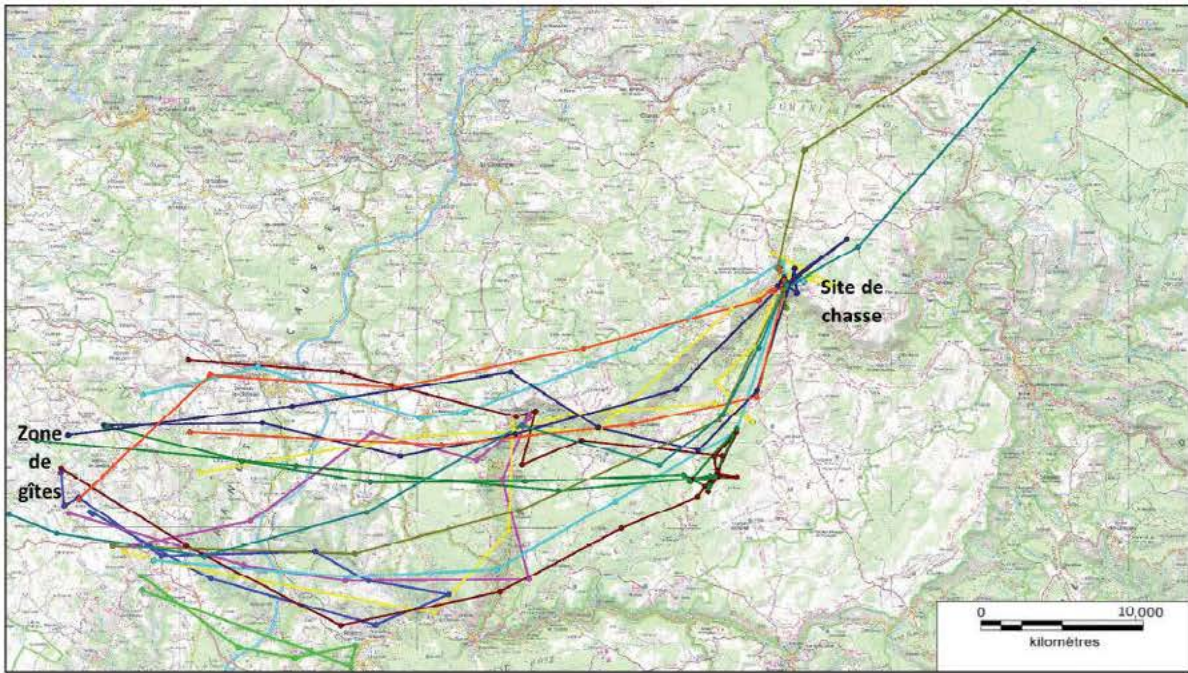


Figure 7. - Carte des résultats de suivis GPS d'une femelle de la colonie du Lévézou (12) en juillet 2018

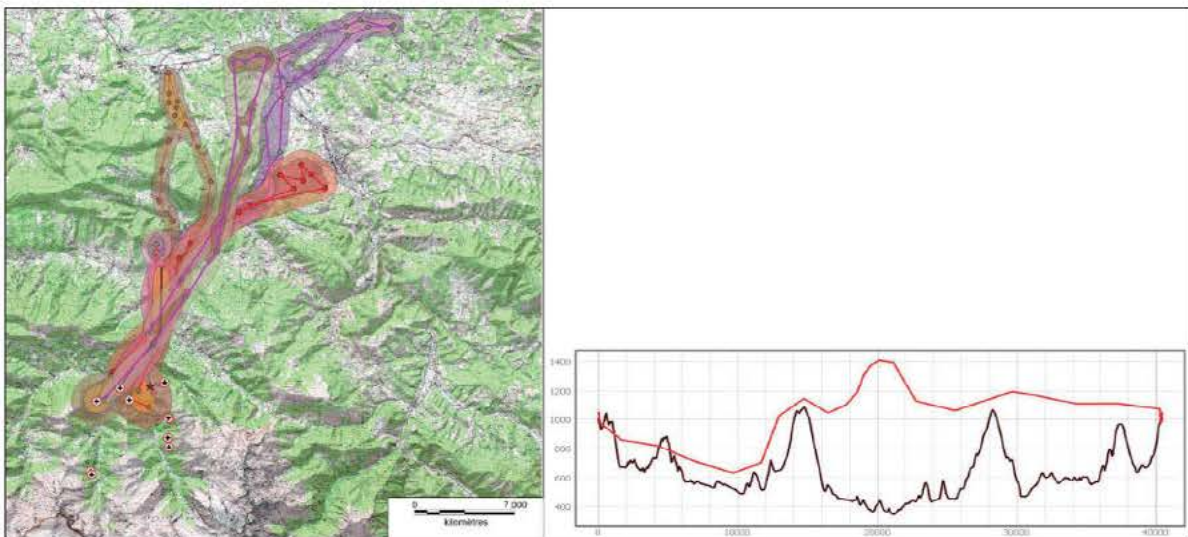


Figure 8. - Carte des trajectoires et hauteurs de vol d'individus de la colonie Ariégeoise (09) suivis par GPS en 2019

recherche alimentaire basée sur une ressource identifiée et prévisible, et donc une mémorisation spatiale, ici à très large échelle (probablement plus de 150 km aller-retour en tenant compte du biais de l'intervalle de 20min entre chaque point).

En Ariège, (Figure 8) l'orientation globale des trajectoires de vol de 3 individus suivis en parallèle est globalement la même dans les premières phases de vols, structurée sur le relief. Mais elle se sépare ensuite au niveau des zones de chasse supposées.

Une analyse plus fine des trajectoires de vol des mâles de mai 2018 (5 nuits, relevés toutes les 8 min) permet de distinguer des séquences de vol sur les critères de hauteurs (avec biais de mesures intégrés) et de vitesses (comparaison de moyennes non-paramétriques par tests de Wilcoxon), mettant en évidence des phases de transits (aller / retour) et des phases de chasse (Figure 10). Le mâle le plus actif se dirige chaque nuit vers le sud et survole le plateau du Lézérou. A l'image de l'analyse caractéristique de la troisième nuit, il réalise un trajet global de 80 km, décomposé et interprété au niveau de la Figure 9.

#### DISCUSSION

Concernant l'activité nocturne de la Grande noctule et sa stratégie de chasse, les premiers résultats laissent penser qu'elle organise son activité nocturne de façon plutôt solitaire au moins au niveau des zones de chasse, même si l'émergence depuis les gîtes peut parfois suivre des orientations communes. On suppose donc une stratégie de chasse différenciée par individu (hypothèse à confirmer avec des suivis en parallèle de plusieurs individus).

La stratégie de chasse semble alterner entre des phases de prospections aléatoires à la recherche d'une ressource alimentaire et des comportements de vols prédictifs pour retourner exploiter ces opportunités lorsqu'elles sont identifiées, même très loin des gîtes. Il est possible que ces stratégies varient selon les individus, selon leur sexe, leur statut biologique, l'évolution des opportunités alimentaires, les conditions climatiques...

Les premières données précises d'activité confirment aussi les extraordinaires capacités de vol de la Grande noctule, aussi bien à grande distance des gîtes qu'à très

haute altitude pendant plusieurs heures. De telles conditions de vols sollicitent des facultés particulières d'orientation et de mémorisation spatiale tant vers la recherche d'une ressource prédictible que pour les vols de retour très rapides aux gîtes depuis plusieurs dizaines de kilomètres de distance.

On peut s'interroger sur des longues phases d'activité à un palier localisé de très haute altitude. L'hypothèse de l'exploitation par les chauves-souris de phénomènes d'essaimage ou de migrations d'insectes à des altitudes comparables a pu être validée pour d'autres espèces à l'étranger [Mc CRACKEN, *et al.*, 2008]. L'influence de facteurs d'aérodynamique liés aux reliefs, à la température et aux vents peuvent aussi expliquer la prise d'altitude d'insectes mais aussi de chauves-souris [O'MARA, *et al.*, 2020]. Or la Grande noctule est aussi connue pour chasser ponctuellement des passereaux migrateurs nocturnes à de telles altitudes [POPA LISSEANU, 2007]. Sur les données Aveyronnaise, la période (fin mai) ne correspond toutefois pas avec des pics migratoires d'oiseaux. L'hypothèse d'une opportunité d'insectes serait privilégiée. Mais, ces vols d'altitude pourraient aussi éventuellement être en rapport avec des comportements sociaux liés à la colonie de femelles du Lézérou ; sur la Figure 10, la trajectoire de vol du mâle survole en effet la colonie de femelles. On imagine que les femelles peuvent aussi exploiter de telles altitudes. Cela remet alors en question la notion de ségrégation des populations reproductrices de mâles et femelles séparées de plusieurs dizaines de kilomètres.

#### CONCLUSION

Les premières expériences de valorisation de la technologie GPS pour étudier l'activité nocturne de la Grande noctule sont convaincantes. Elles montrent toutefois le besoin de faire des choix stratégiques de matériel et de paramétrage pour limiter des contraintes logistiques et de coût. Il s'agit aussi de tenir compte de limites et de biais variés, qu'ils soient matériels, climatiques, ou liés à l'adaptation de la technologie aux spécificités du mode de vie de la Grande noctule. Pour autant, en quelques années et en parallèle de l'évolution du matériel (miniaturisation, accéléromètre, récupération des données à distance...), nous

Phase séquentielle	Description	Interprétation comportementale
Transit aller	Vol rectiligne, grande distance (>25 km), pendant environ 1h30, vitesse moyenne (20 km/h), ascension assez rapide	Transit actif potentiellement couplé à une recherche alimentaire, plus ou moins aléatoire mais vers une orientation et une hauteur générale globalement prédéfinies
Phase intermédiaire principale	Longue séquence (4h) à très haute altitude (800-1390m au-dessus du relief), très localisée dans l'espace, faible variation d'altitude, faible vitesse (<10 km/h)	Exploitation possible d'une ressource alimentaire concentrée sur un palier spécifique d'altitude, mais autres hypothèses non exclues (raisons sociale, physiologique...)
Transit retour	Très courte phase de vol rapide (35 km/h), rectiligne, grande distance (>25 km)	Retour au gîte, direct, très ciblé même à grande distance et très rapide

Figure 9. - Tableau d'interprétation de la décomposition séquentielle de vols des mâles (groupe de la haute vallée du Lot, mai 2018)

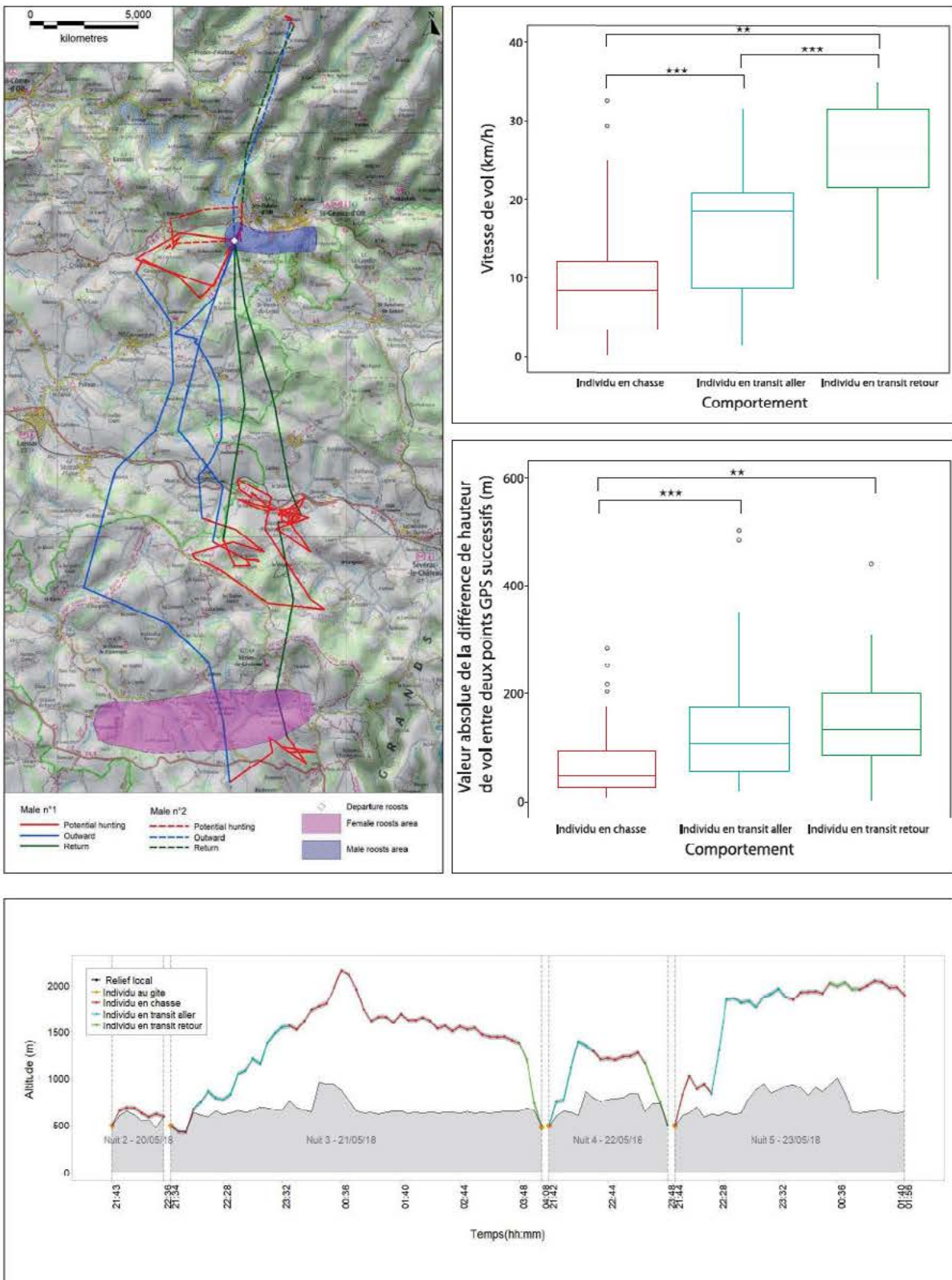


Figure 10. - Graphiques de décomposition séquentielle de vols des mâles (groupe de la haute vallée du Lot, 5 nuits mai 2018) sur des critères de hauteur et de vitesse de vols

avons pu déjà faire évoluer le mode opératoire tant pour limiter le stress des animaux que pour optimiser la qualité du jeu de données récoltées. Avec ces nouveaux outils, la Grande noctule confirme alors déjà des capacités de vol extraordinaires et nous invite à pénétrer le domaine passionnant de l'aéroécologie. Cela invite à renouveler l'expérience sur un échantillonnage d'individus plus représentatif, que ce soit pour caractériser la diversité des comportements de l'espèce, ou vers une application conservatoire à l'échelle de certaines populations menacées (éolien, exploitation forestière...). Plus largement, ces expériences confirment l'intérêt de la technologie en chiroptérologie et laisse présager rapidement de nouvelles applications pour faire un bond dans la connaissances d'autres espèces.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement les organisateurs des rencontres nationales Chiroptères pour cette tribune, dont Michèle Lemaire et Laurent Arthur (pour l'ensemble de leur œuvre...), mais aussi et surtout les équipes EXEN et ONF et l'ensemble des personnes salariées, bénévoles et associations qui ont contribué à ouvrir cette nouvelle.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAILLAT, B., CUYPERS, T., BOURRAQSUI-SARRE, L., GONZALEZ, R.-M., LOUSTALOT-FOREST, F., PARMAIN, V., ET AL., 2018. Découverte d'une populations de Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) dans le département de l'Ariège (09). *Rencontres Chiroptères Grand Sud*, (p. Poster). Teich (33).
- BEUCHER Y., B. T. (2013, SEPTEMBRE). Reproduction de la Grande noctule certifiée dans le Puy de Dôme. *L'Envol des chiros* n° 15 : 6-7.
- BEUCHER, Y. (2016, OCTOBRE). Découverte d'une nouvelle population de grandes noctules en Aveyron. *L'Envol des Chiros* (21).
- BEUCHER, Y., 2020. *Enjeux liés à la Grande noctule (Nyctalus lasiopterus) en Montagne noire, et dans l'entourage du projet éolien d'Escoussens*. Complément d'étude d'impacts ciblé sur la Grande noctule. EXEN.
- BEUCHER, Y., 2015. - La Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) dans le Puy de Dôme : 3 années de suivi des colonies de mise-bas... vers une remise en question de l'écologie de l'espèce. Dans L. V. 2016 (Éd.), *Actes des Rencontres chauves-souris Grand Sud 18-19 avril 2015*, (p. 9). Piedicorte-Di-Gaggio (20).
- BEUCHER, Y., & BERNARD, T., 2016. - La Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) dans le Puy de Dôme : découverte d'une colonie de mise-bas et suivi d'activité par une méthode sans capture. Dans Symbioses (Éd.), *Actes des XV<sup>e</sup> rencontres Nationales Chauves-Souris de la S.F.E.P.M., mars 2014*, n°34, pp. 9-13. Bourges: Rémuce (Réseau des muséums de la région Centre).
- BEUCHER, Y., & CUYPERS, T., 2019. - La Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) : état des lieux des connaissances en Occitanie. *Premières Rencontres naturalistes d'Occitanie*. Gruissan.
- BEUCHER, Y., & GAGER, Y., 2017. - The Giant noctule (*Nyctalus lasiopterus*) in the middle of southern France (Puy de Dôme): a five-year study of breeding colonies brings new insights on the ecology of the species. *5th International Berlin Meeting : Are bats special ?*, (p. 128). Berlin, Germany.
- BEUCHER, Y., ALBESPY, F., & MOUGNOT, J., 2012. - *Projet éolien de Gelles et Heume l'Eglise (63). Focus sur la Grande noctule (Nyctalus lasiopterus). Prospections complémentaires visant la localisation de gîtes et la précision des enjeux*. EXEN.
- BEUNEUX, G., COURTOIS, J.-Y., & RIST, D., 2010. - La Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) en milieu forestier en Corse : bilan des connaissances sur les arbres-gîtes et les territoires de chasse fréquentés. *Actes des Rencontres Nationales Chauves-Souris de la SFEPM* (pp. 1-10). Bourges: REMUCE.
- BODIN, J., 2011. - *Les chauves-souris de Midi-Pyrénées. Répartition. Ecologie. Conservation*. Toulouse: CREN.
- DARNIS T., M. F. (2014, SEPTEMBRE). - Le filet de canopée : une technique simple et efficace pour la capture des chauves-souris évoluant dans la strate arborescente des forêts. *L'Evol des Chiros*, n°16 : 12-13.
- DARNIS, T., 2019. - *Etude de la Grande noctule, Forêt domaniale de Miers (Cantal)*. Office National des Forêts (ONF), Réseau «Mammifères».
- DEANA, T., 2019, AUTOMNE. - Découverte de la reproduction de la grande noctule en Ardèche. *LPO info Drôme-Ardèche*, pp. 18-19.
- DUBOURG-SAVAGE, M.-J., GACHES, L., BEC, J., & BEUCHER, Y., 2014. - The Greater noctule (*Nyctalus lasiopterus*) in France : distribution, ecology and conservation. *XIII<sup>e</sup> European Bat Research Symposium*. Sibenik, Croatia.
- DUBOURG-SAVAGE, BEC, & GACHES., 2013. - First roosts of *Nyctalus lasiopterus* breeding females in France. *Barbustella*, pp. 44-50.
- EXEN., 2014. - *Projet éolien Labruguière, Cuxac Cabardès et Les Martyrs (81). Synthèse des expertises écologiques de l'étude d'impact sur l'environnement et évaluation d'incidences au titre de Natura 2000*. 152 p.
- FOUERT, J., & GONZALEZ, R.-M. (2011, MAI). - Radiopistage d'une Grande noctule dans les Landes. *L'Envol des Chiros*, 10 : 7-8.
- GIACOMO, C., DEFERNEZ, L., GIRARD-CLAUDON, J., & RIBATTO, E., 2018. - *Caractérisation des arbres-gîtes de grandes noctules (Nyctalus lasiopterus) et suivi de leur occupation dans les monts du lyonnais*. LPO coordination Auvergne-Rhône-Alpes, Pont d'Ain.
- MCCRACKEN, G. F., GILLAM, E. H., K, J., WESTBROOK, LEE, Y.-F., JENSEN, M. L., ET AL., 2008. - Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis* : Molossidae, Chiroptera) at high altitude : links to migratory insect populations. *From the symposium "Aeroecology: Probing and Modeling the Atmosphere - The Next Frontier"* (pp. 107-118). Oxford University Press on behalf of the Society for Integrative and Comparative Biology.

- NAĐO, L., LÖBBOVÁ, D., HAPL, E., CEEUCH, M., UHRIN, M., ŠARA, M., *ET AL.* (2019, JULY 20). - Highly selective roosting of the giant noctule bat and its astonishing foraging activity by GPS tracking in a mountain environment. *Mammal research* (64), pp. 587-594.
- NERI, F., 2018. - *Recherche des chauves-souris, amphibiens et reptiles sur une partie de la Montagne Noire tarnaise du Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc*. CEN MP.
- O'MARA, T., F., A., M., S., MCCracken, G., SAFI, K., MATA, V., *ET AL.*, 2020. - Bats use topography and nocturnal updrafts to fly high and fast. *Current Biology*.
- POPA LISSEANU, A. G., 2007. - *Roosting behaviour, foraging ecology and the enigmatic dietary habits of the aerial-hawking bat Nyctalus lasiopterus*. PhD Thesis, Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain.
- POPA-LISSEANU, A., BONTADINA, F., MORA, O., & IBANEZ, C., 2008. - Highly structured fission-fusion societies in an aerial-hawking, carnivorous bat. *Animal behaviour*, 75(2) : 471-482.
- ROELEKE, M., BLOHM, T., KRAMER-SCHADT, S., YOVEL, Y., & VOIGT, C. C., 2016. - Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific reports*, 1-9.
- ROEMER, C., DISCA, T., COULON, A., & BAS, Y., 2017. - Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. (Elsevier, Éd.) *Biological Conservation* (215), pp. 116-122.
- SANÉ, F., 2007. - La Grande noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780) en Lozère : Résultats d'une semaine de suivi radio-téléométrique. *Le Vespère*, pp. 24-35.
- THUROW, A., 2018. - *Nouvelles découvertes sur les activités nocturnes de la plus grande chauve-souris d'Europe, la Grande noctule (Nyctalus lasiopterus)*. Mémoire de stage de Master 1, Biologie Ecologie Evolution. Spécialité Ingénierie en Ecologie et en Gestion de la Biodiversité, EXEN.
- THUROW, A., & BEUCHER, Y., 2018. - Foraging flights of the Greater Noctule (*Nyctalus lasiopterus*). New insights based on the GPS tracking technology. *7th SECEMU Conference*. Gibraltar.
- VASENKOV, D., VASILIEV, N., SIDORCHUK, N., & ROZHNOV, V., 2020. - Use of GPS-GSM Trackers in Studying the Biology of the Greater Noctule *Nyctalus lasiopterus* in Russia. (I. A. Nauk, Éd.) *Seriya Biologicheskaya* (6), pp. 665-672.
- VIÉLET, C., ALBESPY, F., & BEUCHER, Y., 2018. - *Projet éolien d'Escoussens (81). Etude d'impact sur l'environnement. Volet Chiroptères*. 176 p.

