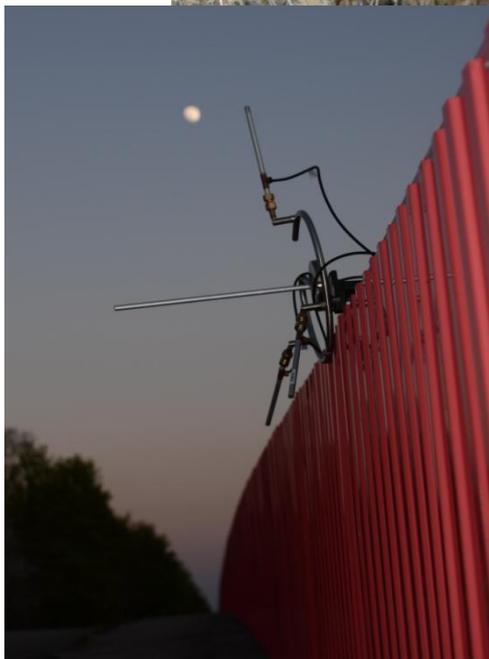


Utilisation d'un aménagement de type passerelle par les Chiroptères du genre *Rhinolophus*

Laurie Burette

Maître de stage : Laurent Arthur



mus@um
D'HISTOIRE NATURELLE
BOURGES

Gyberio
Distributed Sensing Intelligence

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps toute l'équipe du Muséum de Bourges pour son accueil, sa disponibilité et sa bonne humeur, notamment Nathalie pour son aide dans les recherches bibliographiques et Olivier pour les réparations de l'antenne-prototype. Ensuite, je remercie Nicolas, partenaire de travail durant le stage pour ses avis et son soutien, Morgan, doctorant au sein de l'entreprise Cyberio pour sa détermination et sa pédagogie. Enfin, je tiens à remercier chaleureusement Laurent Arthur et Michèle Lemaire pour leur encadrement, leur générosité, merci de m'avoir immergé dans le monde passionnant des chauves-souris et transmis ce virus que je compte bien propager.

Sommaire

Introduction.....	4
Matériel & méthodes	7
1- Contexte général	7
1.1 Site d'étude	7
1.2 Période d'échantillonnage.....	7
1.3 Paramètres environnementaux.....	7
2- Flux des Rhinolophes par Anabat	8
3- Directions des Rhinolophes par antenne de trajectographie	10
Résultats.....	13
1- Flux des Rhinolophidés sur la passerelle	13
1.1 Effets de la luminosité nocturne sur les flux des Rhinolophes.....	13
1.2 Effets des plaques pare-phares sur les flux des Rhinolophes	14
2- Utilisation de la passerelle par les Rhinolophidés.....	15
2.1 Direction des Rhinolophidés sur la passerelle.....	15
2.2 Positionnement des Rhinolophes sur la passerelle.....	16
Discussion.....	17
1- Effet de la luminosité nocturne sur les Rhinolophes.....	17
2- Effets des plaques pare-phares sur les Rhinolophes.....	17
3- Utilisation de la passerelle par les Rhinolophes.....	18
4- Trames Vertes, Bleues et « Noires »	19
5- Conclusion	20
Résumé.....	22
Abstract	22
Bibliographie.....	23
Annexes	25

Introduction

Les chauves-souris constituent un groupe essentiel au bon fonctionnement des écosystèmes. Certaines espèces Sommaire frugivores (Pteropodidae par exemple) participent aux successions écologiques des forêts tropicales par la dispersion des graines d'arbres de canopée (Muscarella & Fleming, 2007). D'autres chauves-souris insectivores permettent la régulation des populations d'insectes notamment des ravageurs de culture (Boyles et al., 2011), ils représentent donc de bons alliés des Hommes. De nombreuses espèces de microchiroptères de nos régions cohabitent d'ailleurs avec l'Homme depuis des milliers d'années (Arthur & Lemaire, 2009).

Dépourvues de comportement constructeur, les chauves-souris ont besoin d'abris naturels (arbres creux, cavités naturelles) ou bien artificiels, bâtis par l'Homme. Des colonies sont recensées dans les greniers, les caves, les églises, les anciennes carrières d'extraction de matériaux, les ponts, etc. Les constructions humaines peuvent donc offrir de grandes possibilités de colonisation et d'implantation des chiroptères mais dans certains cas, l'aménagement de l'environnement nuit à la pérennité des animaux. La destruction des gîtes, des terrains de chasse, la fragmentation des paysages par les infrastructures routières comptent parmi les principales menaces pesant sur les populations (Hutson et al., 2001). Une prise en compte des chiroptères par les acteurs concernés (entreprises de chantier, politiques, habitants, etc.) ainsi que des mesures de protection doivent par conséquent être menées pour préserver les espèces.

Pour cela, les chauves-souris bénéficient de statuts de protection et de conservation nationaux, européens et internationaux (Arrêté du 23 avril 2007, Directive Habitat Faune Flore, Convention de Bonn, Berne, etc.). De plus, la France s'est engagée, suite au Grenelle de l'Environnement, à assurer un état de conservation favorable des espèces listées dans les annexes des conventions internationales qu'elle a ratifiées (DREAL Centre, 2013). À ce titre, elle s'engage à mettre en œuvre des plans d'actions en faveur des espèces concernées. Un plan national de restauration des chiroptères a donc été rédigé en 2007 pour la période de 2008-2012 (Godineau & Pain, 2007). Les 34 espèces de chauves-souris présentes en France métropolitaine sont visées. Les objectifs sont de mettre en œuvre des mesures de conservation en faveur des populations de chiroptères, améliorer les connaissances sur ce groupe et sensibiliser les acteurs impliqués ainsi que le public. Le plan se décline en 26 actions parmi

lesquelles deux sont pilotées par le SETRA (Service d'Étude des Transports des Routes et de leurs Aménagements ; Action 6 et 7, cf. Annexes 1). Cet organisme est chargé de financer et réaliser une dizaine d'études sur des sites tests en collaboration avec d'autres acteurs dont la SFPEM (Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères) afin de faire le point sur le comportement des espèces face aux infrastructures routières et de proposer des recommandations pour les futurs projets (Nowicki et al., 2008 ; 2009).

Le site de la rocade-est de Bourges est l'une des zones identifiées par le Plan. Un tronçon de cette rocade sépare les carrières du Château, site classé en Natura 2000 (FR2400516) et représentant un des plus grands sites d'hibernation de chiroptères national avec plus de 5000 individus de 14 espèces différentes. On y recense par exemple des Petits et Grands rhinolophes, des Grands murins, des Murins à oreilles échancrées, etc. (Biotopie & Muséum de Bourges, 2005). Ce site présente un fort intérêt pour les chiroptères : sa superficie de 20 hectares offre un milieu tamponné avec une grande stabilité des conditions climatologiques mais aussi des secteurs variés offrant des conditions optimales pour chaque espèce (Muséum de Bourges, 1991 ; Arthur et al., 2010). Les études antérieures démontrent que la passerelle agricole passant au dessus des voies routières serait un linéaire de transit pour les bêtes, évitant ainsi la traversée des routes (Morin, 2003 ; Jaouen, 2010 ; Barbotte, 2010 ; Goumy, 2012). Parmi les chauves-souris utilisant l'ouvrage, le Petit et le Grand rhinolophe ont été identifiés.

Ces deux Rhinolophidés sont protégés au même titre que les autres espèces et sont aussi classés dans l'Annexe II de la Directive Habitat. On les qualifie donc d'intérêt communautaire. Ils sont également inscrits dans la liste des espèces proposées pour l'ajustement nationale des Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE) (Sordello et al., 2011). Ces derniers représentent les volets régionaux des Trames Vertes et Bleues (TVB) découlant du Grenelle de l'Environnement, le but étant de ralentir le déclin de la biodiversité au travers de la préservation et de la restauration des continuités écologiques (Centre de ressources TVB, 2013). Les corridors écologiques et plus précisément les linéaires boisés sont essentiels pour le transit et la chasse des Rhinolophes (Ransome et al., 2000 ; Motte & Libois, 2001 ; Billington & Rawlinson, 2006). Il est donc très indiqué d'utiliser ces deux espèces pour la définition, la mise en œuvre et le suivi des SRCE.

Le Grand rhinolophe, *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774), recherche des habitats semi-ouverts, bien structurés et dans l'idéal, entourés de haies connectées entre elles. Le

réseau de linéaire boisé les guide à l'abri des prédateurs et de la lumière à travers le terrain de chasse (Billington & Rawlinson, 2006). Il a aussi été mis en évidence que les individus utilisent des « routes de vol » à chaque sortie de gîte c'est-à-dire qu'ils empruntent les mêmes chemins, généralement le long d'une haie, d'un alignement d'arbre ou d'un élément d'architecture. La présence des corridors est donc primordiale autour des gîtes des colonies (Barataud, 1993 ; Duvergé, 1996 ; Arthur & Lemaire, 1999). En 1993, Bright classa d'ailleurs le Grand rhinolophe parmi les espèces les plus vulnérables à la fragmentation du paysage.

Le Petit rhinolophe, *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800) a été retenu en région Centre pour l'identification et le suivi des Trames Vertes et Bleues (Sordello et al., 2011). En effet, son signal acoustique le distingue de toutes les autres espèces par sa fréquence d'émission élevée et constante. De plus, cette espèce n'est audible, par les appareils, qu'à une distance inférieure à 5 m (Barataud, 1993 ; 2012), confirmant ainsi sa présence, collé au corridor écologique. La précision d'enregistrement à proximité d'une haie par exemple est donc fiable. De plus, il chasse dans un rayon de 2 à 3 kilomètres autour du gîte, la présence de trames est également indispensable pour cette espèce. Il utilise lui aussi des « routes de vol » et privilégie les déplacements à faible altitude dans un paysage maillé, à proximité de ripisylves, de vieux massifs caducifoliés (Schofield, 2008 ; Arthur & Lemaire, 2009). Enfin, le caractère lucifuge de cette espèce permet d'appuyer l'efficacité des trames.

Les objectifs de cette étude sont de déterminer comment les Rhinolophidés appréhendent et utilisent la passerelle agricole au dessus de la rocade-est de Bourges. Les flux, le sens, la direction, l'altitude et le motif de vol sont autant de paramètres étudiés grâce à un enregistreur Anabat SD1 et une antenne de trajectographie, outil novateur en matière d'étude des chiroptères et testé durant ce projet.

Matériel & méthodes

1- Contexte général

1.1 Site d'étude

Il s'agit d'une passerelle (N 47°3'37.7058'' ; E 2°25'51.636'') destinée à la circulation d'engins agricoles au dessus de la rocade-est de Bourges (RD2076), en sortie d'agglomération (cf. Annexe 2). Elle a été équipée de part et d'autre en 2011 d'une palissade en bois de 15 m de long et 2 m de haut et d'une jeune haie plantée. En janvier 2013, des panneaux anti-phares ont été installés. Ces aménagements ont pour but de guider, canaliser les animaux en transit à l'écart du trafic routier provenant de la ville, des carrières du Château ou du polygone de tir.

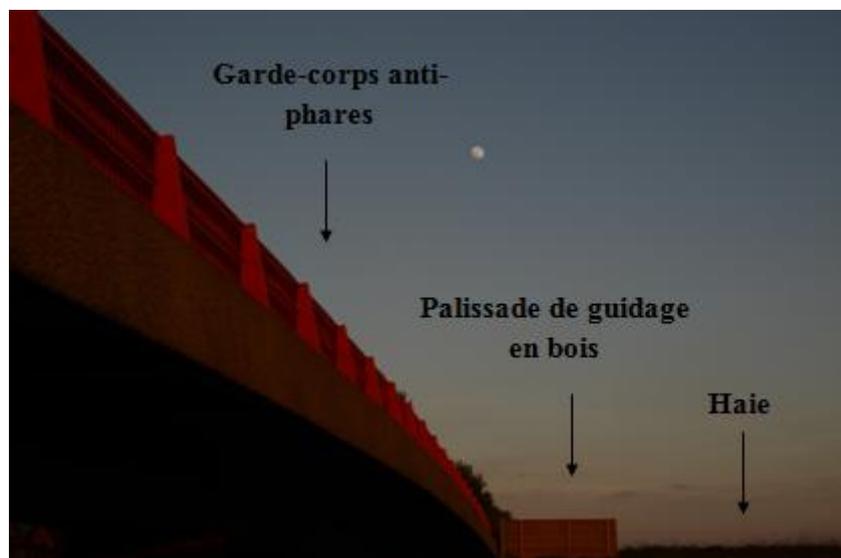


Figure 1: Emplacements des aménagements sur la passerelle

1.2 Période d'échantillonnage

Les relevés de cette étude se font à partir de mi-avril, période durant laquelle les espèces sortent d'hibernation. Sur le site d'étude, une part des Rhinolophes hibernant dans les carrières utilisent la passerelle une seule fois pour rejoindre rapidement leurs lieux d'estivage. Toutefois, des populations non répertoriées aux alentours sont également susceptibles de passer par cet aménagement allant de leurs gîtes d'été vers leurs terrains de chasse.

1.3 Paramètres environnementaux

Pour mettre en application les deux protocoles, il est nécessaire d'avoir de bonnes conditions climatiques, cela permet d'optimiser les chances de collecte de données. En effet, les chauves-

souris sortent préférentiellement par temps sec, peu venteux et à partir d'une température relativement douce (supérieure à 7°C, com. pers. Laurent Arthur). Les insectes y sont plus abondants et les conditions de vol sont meilleures. Pour chaque sortie, il a été rempli une fiche pour caractériser les conditions environnementales au moment des relevés (températures, météo, etc., cf. Annexe 3). Notons également que la phase lunaire a une influence sur l'activité des chiroptères. Les espèces lucifuges en particulier chercheraient des zones plus obscures pour se déplacer les nuits de pleine lune (Le Gouil, 2012).

Cette étude se décompose en deux phases, l'une est basée sur l'étude des flux des chiroptères à l'aide d'un enregistreur Anabat et la seconde vise à déterminer les directions des Rhinolophidés sur la passerelle grâce à un dispositif d'antenne de trajectographie.

2- Flux des Rhinolophes par Anabat

Au préalable, une étude traitant l'effet de la luminosité lunaire sur le transit des Rhinolophidés a été engagée. Elle s'inscrit dans la continuité d'un travail antérieur (Le Gouil, 2012) visant la même problématique. Pour cela, une moyenne, sur la récolte des données 2012 et 2013, du nombre de contacts de Rhinolophidés par nuit et pour chaque phase lunaire, a été calculée. Cinq catégories lumineuses ont été identifiées : lune noire (0) ; premier quartier de lune (1) ; demi-lune (2) ; trois-quart de lune (3) et pleine lune (4). Un test statistique de corrélation a ensuite été appliqué à l'aide du logiciel R.

L'un des objectifs principaux de cette étude est de comparer les flux des chiroptères sur la passerelle avec les années précédentes. Des panneaux anti-phares ont été posés récemment, il est donc intéressant d'identifier son potentiel effet sur les animaux. Les données enregistrées ont une double fonction, elles servent à évaluer les flux des différentes espèces de chiroptères sur la passerelle et à croiser les résultats obtenus avec les enregistrements de l'antenne (enregistrement d'un même contact par les deux outils par exemple).

Pour cela, les enregistrements des flux des espèces de chiroptères ont été réalisés à l'aide d'un enregistreur automatique Anabat SD1 à carte Flash (analyse en division de fréquence) sur un point d'écoute fixe. Ce détecteur d'ultrasons enregistre chaque contact de chauves-souris, référencé par la date et l'heure d'enregistrement. L'appareil capte les cris à une distance variant selon la puissance d'émission des espèces. Les fichiers collectés sont analysés par ordinateur à l'aide du logiciel Analook qui permet d'obtenir des sonogrammes et ainsi de déterminer les espèces présentes.

Dans l'état actuel des connaissances, les méthodes acoustiques permettraient d'identifier 26 espèces sur les 34 françaises. Cependant, le système Anabat ne permet pas de séparer les cris d'écholocation de certaines espèces c'est pourquoi certaines déterminations sont rassemblées en groupe d'espèces, pour le genre *Myotis* par exemple.

Comme toutes les espèces du genre, le Petit et Grand rhinolophe émettent des impulsions en fréquence constante (FC). Ces dernières sont souvent précédées et terminées par une fréquence modulée descendante (FM). Le Petit rhinolophe émet sur une gamme de 102,5 à 113 kHz selon les individus (moyenne de 107-110 kHz). Les impulsions FC du Grand rhinolophe se situent entre 76 et 85 kHz avec une majorité des émissions entre 80 et 84 kHz. Des harmoniques peuvent être perçues pour les deux espèces, aux environs de 55 et 40 kHz (Barataud, 1993 ; Haquart, 2009 ; Barataud 2012).

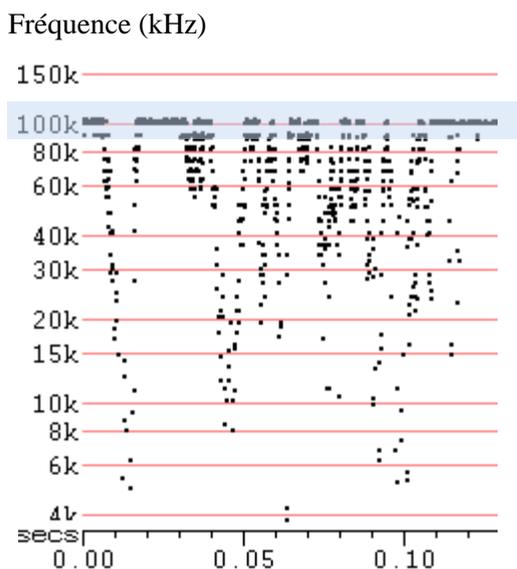


Figure 2: Sonogramme d'un Petit rhinolophe

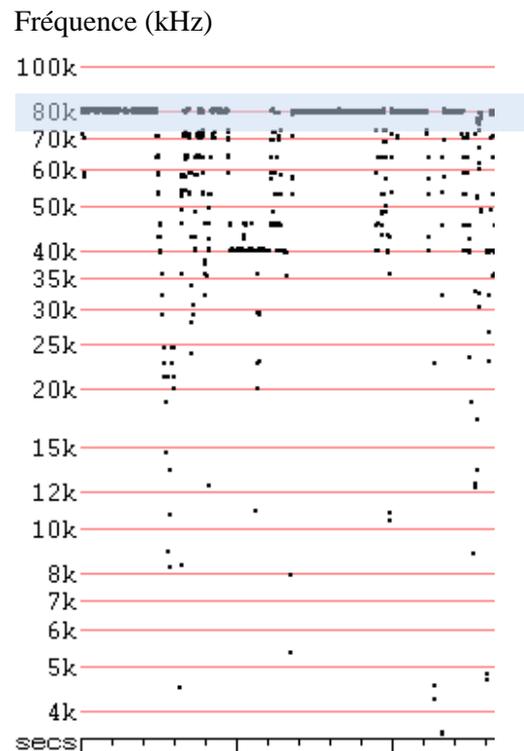


Figure 3: Sonogramme d'un Grand rhinolophe

Protocole : La collecte de données des années précédentes était ciblée sur le côté droit de la passerelle, il est donc cohérent de poursuivre les enregistrements sur ce tronçon pour comparer les flux des chiroptères. Après avoir déterminé les jours de sortie favorables (données météorologiques), un appareil Anabat était déposé dans un logement prévu à cet effet au milieu de la passerelle sur le côté droit, micro orienté vers le centre de l'ouvrage. Il

fut installé une demi-heure avant le coucher du soleil puis, récupéré le lendemain après le lever du soleil. Les données étaient ensuite extraites de la carte flash, ventilées puis analysées.

Deux tests de comparaisons de moyennes ont été appliqués: test de Student pour les données paramétriques ou test de Mann Whitney lorsqu'elles ne le sont pas.

3- Directions des Rhinolophes par antenne de trajectographie

Le dernier objectif de l'étude vise à définir la manière dont la passerelle est utilisée par les Rhinolophes et plus précisément la façon dont ils franchissent l'aménagement et dans quelle direction, le système Anabat en étant incapable.

Pour cela, un prototype d'antenne de trajectographie a été expérimenté. Il provient de l'entreprise grenobloise Cyberio dans le cadre d'une collaboration avec le Muséum de Bourges. Cet organisme de bioacoustique développe des méthodes et outils pour épauler les spécialistes de la faune ultrasonore. L'objectif de ce partenariat est de tester une technique novatrice en matière d'étude des trajectoires des chiroptères.

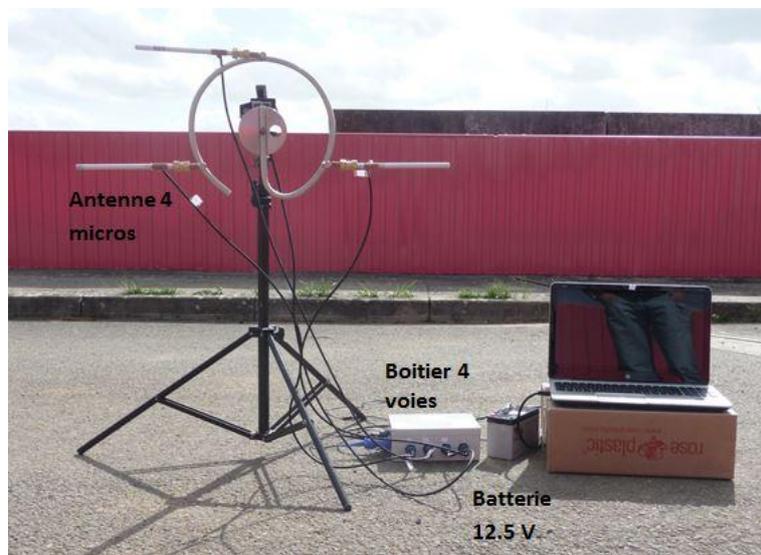


Figure 4: Matériel de trajectographie

Munie de quatre micros et relié à un boîtier quatre voies comprenant une carte électronique, le dispositif géolocalise chaque cri émis par un chiroptère à une distance dépendant de la puissance du signal. Cet instrument permet de détecter et enregistrer des espèces « murmurantes » telles que les Rhinolophes quand ils passent à moins de 5 m. Pour être autonome sur le terrain, le boîtier est alimenté par une batterie 12,6V. L'observateur contrôle directement la sélection des signaux et leurs enregistrements (de 4 secondes) via un

ordinateur, relié au boîtier quatre voies par un câble Ethernet de 10 m. Les logiciels utilisés, EcoViewer et EcoRecorder, sont également des prototypes fournis par Cyberio. Le premier permet d'enregistrer les signaux ultrasonores en temps réel et le second permet d'enregistrer des cris pouvant ne pas être captés lors de la procédure de sauvegarde sur l'ordinateur.

Protocole : Dans un premier temps, il fut important de placer l'antenne sur l'ouvrage de façon à ne pas troubler les transits des animaux. Ces derniers pourraient être soit perturbés par le matériel et par conséquent dévier leurs trajectoires soit tout simplement être curieux et « tourner » autour pour l'analyser. Le choix de son emplacement s'est porté au début de la passerelle afin de prendre en compte l'effet de guidage de la palissade en bois. L'antenne était installée sur un trépied derrière les plaques anti-phares à trois mètres du début de la passerelle côté droit (cf. Figure 5). Le cadre multicapteur dépasse vers l'intérieur de l'aménagement. Les voies furent ensuite placées en configuration ouverte. Elles doivent former une « pyramide » pour retranscrire les trajectoires dans un environnement en 3Dimensions. Les distances intercapteurs sont de 67cm aboutissant ainsi à un triangle équilatéral avec un microphone 2 dépassant largement au centre de la figure (37,5cm). Le dispositif était utilisé simultanément avec l'Anabat.



Figure 5: Emplacement de l'antenne sur la passerelle

Les enregistrements débutaient quelques minutes avant le coucher du soleil pour se terminer deux heures plus tard. Le choix de cette tranche horaire correspond au premier pic d'activité des chiroptères (Hayes, 1997). Chaque série de signaux est enregistrée à l'aide d'EcoViewer et EcoRecorder. Ensuite, les données sont exploitées sous le logiciel Audacity. Les résultats

des quatre micros sont ouverts conjointement (pour chaque enregistrement). Il est possible de déterminer les espèces ou groupes d'espèces mais aussi de définir la direction prise par les individus en observant le décalage de prise des premiers cris par les micros (en tenant compte de la position des capteurs dans la configuration).

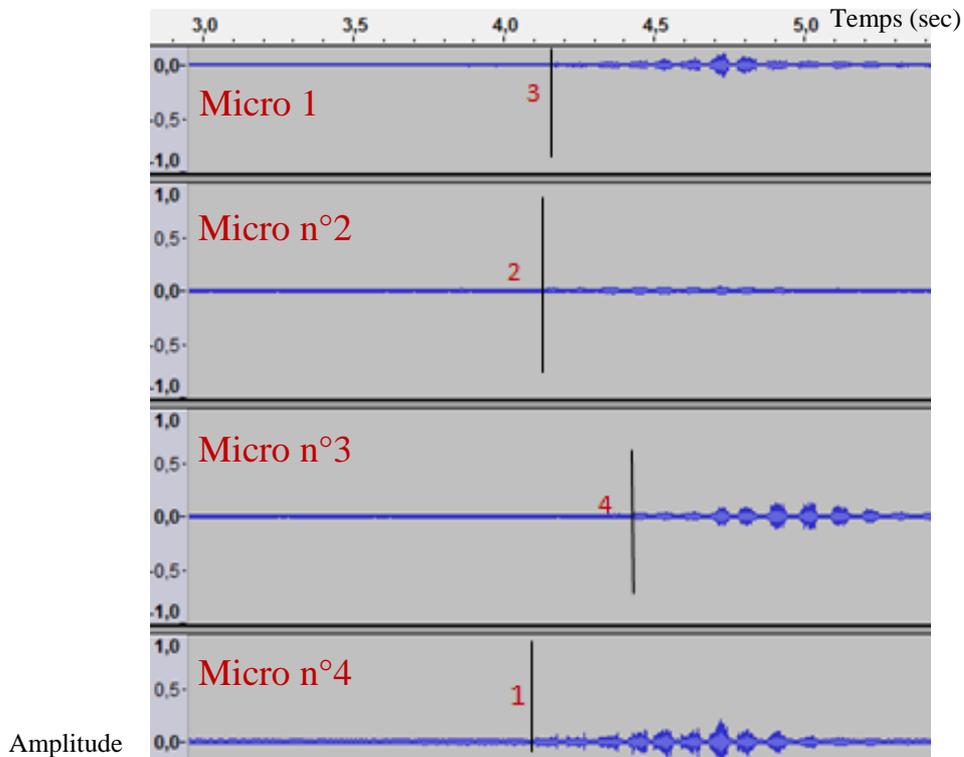


Figure 6 : Détermination de la direction d'un Petit rhinolophe sous Audacity

Le quatrième micro enregistre en premier et suivent le deuxième micro, le premier et le troisième. Ce Petit rhinolophe vole donc en direction du champ.

L'amplitude des signaux indique également la proximité de l'animal par rapport à l'antenne et il est possible d'appréhender l'altitude de vol d'individus dans certains cas par la réaction des microphones. L'enregistrement très fort d'un microphone orienté vers le haut de la passerelle par exemple indique que la bête est passée au dessus de l'antenne.

Un test statistique de comparaison de moyenne a été utilisé pour traiter les résultats : le test de Mann Whitney (données non paramétriques).

Résultats

Les calculs pour l'étude des flux ont été réalisés à partir de 10 nuits sur le terrain (5 en 2012 et 5 en 2013). L'effectif total de Rhinolophes est de 74 individus comprenant 41 Petits et 33 Grands rhinolophes. Les résultats pour l'étude sur la direction étaient issus de 6 sorties de 2h avec un effectif total de 17 Rhinolophes (5 Grands et 12 Petits rhinolophes).

1- Flux des Rhinolophidés sur la passerelle

1.1 Effets de la luminosité nocturne sur les flux des Rhinolophes

Ho : Il n'y a pas de différence de flux des Rhinolophidés en fonction des phases lunaires.

H1 : Il y a une différence de flux des Rhinolophidés en fonction des phases lunaires.

Les résultats suivent une loi normale (test de Shapiro, $p > 0,05$) et les variances des deux modalités (test de Fisher, $p > 0,05$) sont homogènes, ils sont donc paramétriques. Le test de corrélation de Pearson atteste la significativité des données ($t = -3.2009$, $ddl = 3$, **p-value = 0.0493 < 0.05**). L'hypothèse nulle est par conséquent rejetée, il y a une différence de flux des Rhinolophidés en fonction des phases lunaires. Il existe une corrélation négative entre la luminosité nocturne et les flux.

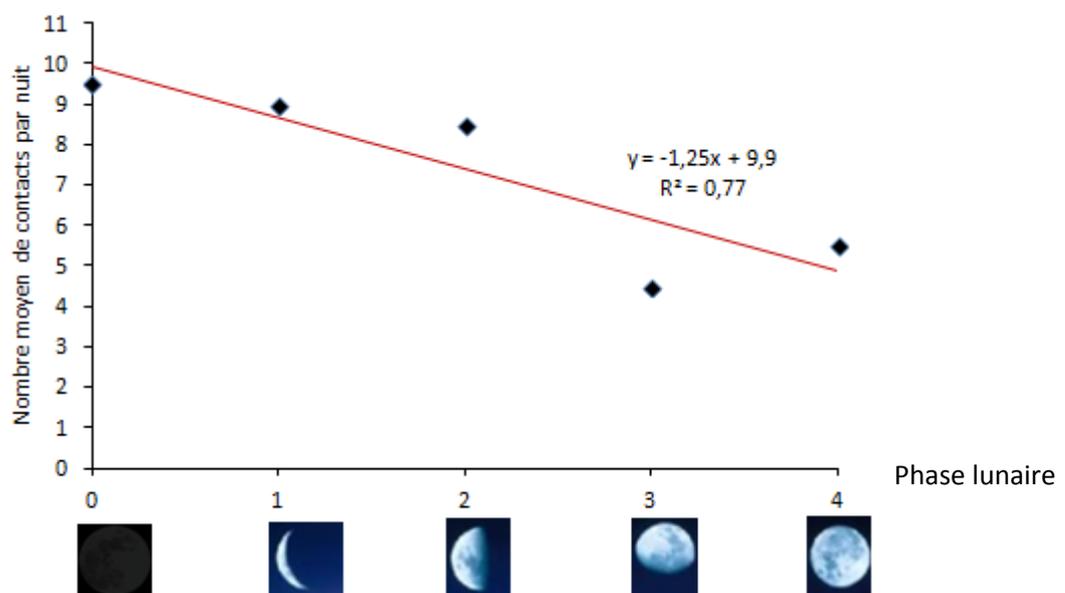


Figure 7: Nombre moyen de contacts de Rhinolophes par nuit selon les phases lunaires

D'après la figure 7, le nombre de contacts par nuit diminue lorsque l'éclairage lunaire augmente. Par nuit claire, le nombre de passages est quasiment réduit de moitié. Cette constatation est appuyée par un coefficient de corrélation ($R^2=0,77$) indiquant que le transit des individus décroît avec la forte luminosité nocturne.

1.2 Effets des plaques pare-phares sur les flux des Rhinolophes

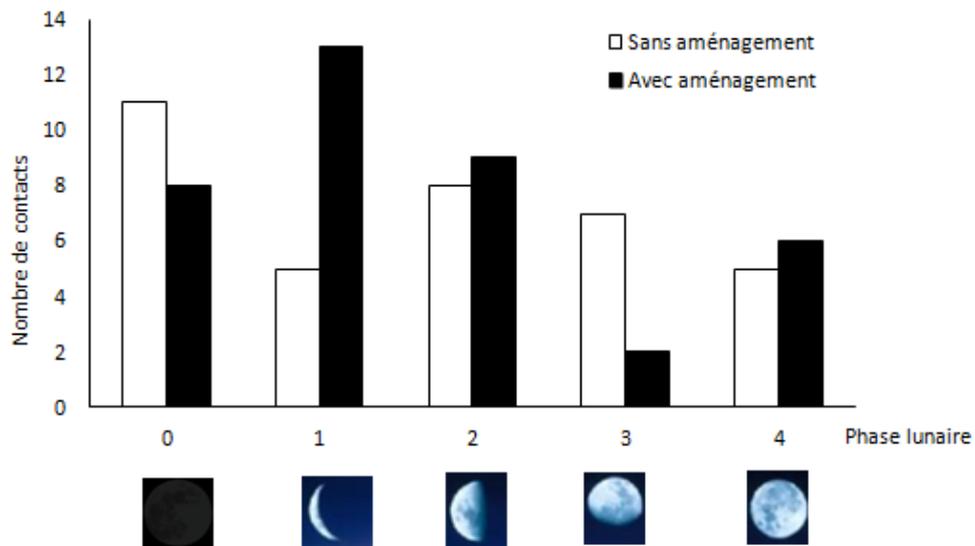


Figure 8: Comparaison des flux de Rhinolophes avec et sans aménagement

Le nombre de contacts diminue lorsque la luminosité nocturne augmente. Le flux s'accroît légèrement pour trois phases lunaires avec l'aménagement dont celle de la pleine lune (cf. Figure 8).

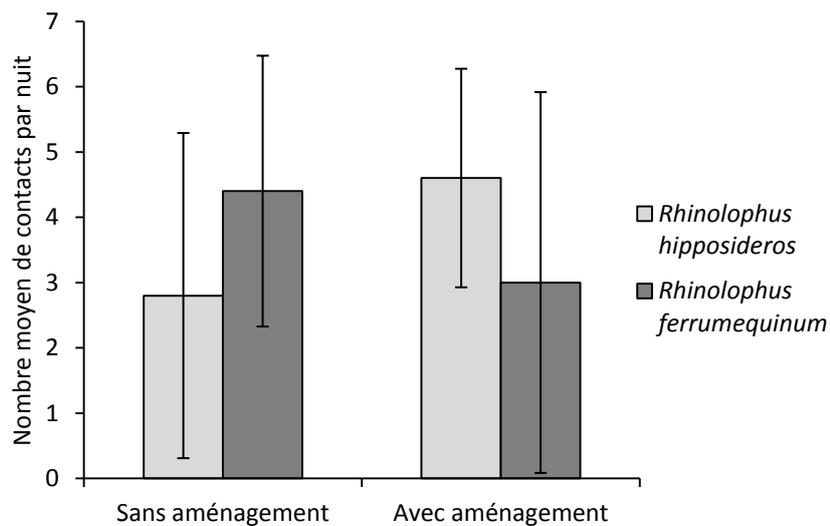


Figure 9: Comparaison du nombre moyen de contacts de *R. hipposideros* et *R. ferrumequinum* par nuit avec et sans aménagement

En observant la Figure 9, il semblerait que le nombre moyen de contacts de Petit rhinolophe (*R. hipposideros*) augmente avec l'installation des plaques pare-phares et la tendance s'inverserait pour le Grand rhinolophe. Cependant, les résultats sont à prendre avec précaution car les écartypes sont très élevés.

Test statistique :

Ho : Il n'y a pas de différence de flux des Rhinolophidés avec la pose des panneaux anti-phares.

H1 : Il y a une différence de flux des Rhinolophidés avec la pose des panneaux anti-phares.

Les données suivent une loi normale (test de Shapiro $p > 0,05$) et l'homogénéité des variances est vérifiée (test de Fisher, $p > 0,05$), elles sont par conséquent paramétriques. Le test de Student indique que les résultats ne sont pas significatifs ($t = 0.19$, $df = 6.66$, **p-value = 0.856** > 0.05). Ho est acceptée, les flux ne diffèrent pas significativement avec la pose des plaques pare-phares. Ce test statistique ne permet pas de démontrer la réelle efficacité des garde-corps anti-phares. Même si le nombre de passages n'augmente pas significativement, l'étude du positionnement des individus confirme qu'ils s'approprient l'aménagement (cf. Partie 3, Discussion). La récolte de données sur plusieurs années sera nécessaire pour démontrer statistiquement que les panneaux anti-phares ont un effet positif sur le transit des bêtes.

2- Utilisation de la passerelle par les Rhinolophidés

2.1 Direction des Rhinolophidés sur la passerelle

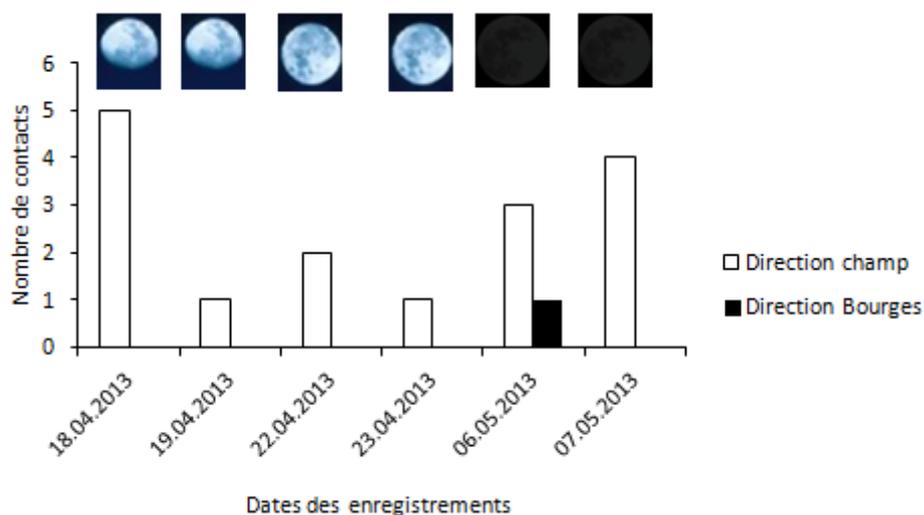


Figure 10: Directions des contacts de Rhinolophes par date d'enregistrement

Sur les six sorties, seize des dix-sept Rhinolophes quittent leurs gîtes pour aller vers le champ. Le nombre de contacts est également moins abondant lorsque la luminosité nocturne s'accroît.

Test statistique :

Ho : Il n'y a pas de direction privilégiée sur la passerelle par les Rhinolophidés.

H1 : Il y a une direction privilégiée sur la passerelle par les Rhinolophidés.

Les données (par modalités) ne suivent pas la loi Normale (test de Shapiro, $p < 0,05$ pour la direction Bourges) Les variances des deux modalités ne sont pas homogènes (test de Fisher, $p < 0,05$). Les résultats sont donc non paramétriques. Le test de Mann Whitney est utilisé, il atteste la significativité des données (test de Mann Whitney, $W = 1$, **p-value = 0,005 < 0,05**). L'hypothèse nulle est par conséquent rejetée, les Rhinolophidés utilisent une direction privilégiée, à savoir vers le champ, au nord-ouest de la passerelle.

2.2 Positionnement des Rhinolophes sur la passerelle

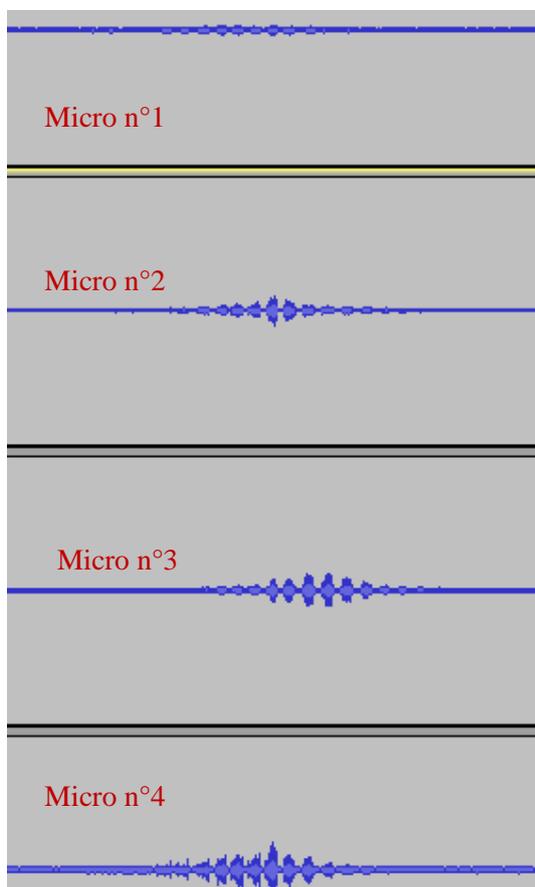


Figure 12 : Exemple des différences d'amplitudes du signal selon les micros en prise simultanée sur les quatre voies

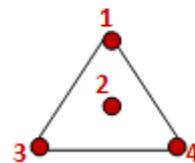


Figure 11: Position des micros sur l'antenne

L'analyse de l'amplitude des signaux acoustiques pour chaque microphone (sur tous les enregistrements) révèle que les deux micros positionnés en bas de l'antenne captent plus fort que les autres en général. Ce résultat s'est confirmé pour 13 des 17 enregistrements. La figure 12 illustre ce propos: l'amplitude des signaux est plus élevée sur les voies 4 et 3 à l'inverse de la voie 1, dirigée vers le ciel, qui capte très peu.

Discussion

Les espèces du genre *Rhinolophus* ont rarement été observées dans des habitats ouverts (Barataud, 1993). Elles privilégient et utilisent les structures linéaires du paysage pour se déplacer. La fragmentation des habitats représente donc une menace pour ces chiroptères d'où la nécessité de maintenir les connexions entre les milieux.

1- Effet de la luminosité nocturne sur les Rhinolophes

Les trames permettent également aux chauves-souris lucifuges d'éviter l'exposition aux zones claires. L'étude de Le Gouil (2012) et de cette année, confirment l'effet des phases lunaires sur les déplacements des Petits et Grands rhinolophes. Les flux diminuent considérablement lors des nuits de pleine lune. Selon Ciechanowski (2007), les risques de prédation augmenteraient potentiellement durant les nuits claires. Les espèces au vol lent plus sujettes aux captures de prédateurs adapteraient donc leurs comportements pour minimiser l'exposition. Une autre étude réalisée en 2007 par Stone et son équipe, a conclu que le Petit rhinolophe réduit de façon spectaculaire son comportement de déplacement en présence d'éclairage le long de sa route de vol ou retarde sa période d'activité. Aucune preuve d'accoutumance n'a d'ailleurs été identifiée. La luminosité nocturne et la pollution lumineuse, des voies publiques notamment, peuvent donc avoir des effets négatifs significatifs sur la sélection des itinéraires de vol des chiroptères lucifuges. La passerelle de la rocade, dépourvue d'éclairage, semble être l'une de ces routes de vol privilégiée dans le périmètre étudié.

2- Effets des plaques pare-phares sur les Rhinolophes

Des plaques pare-phares sur la passerelle ont été posées dans le but de faciliter le transit des espèces lucifuges.

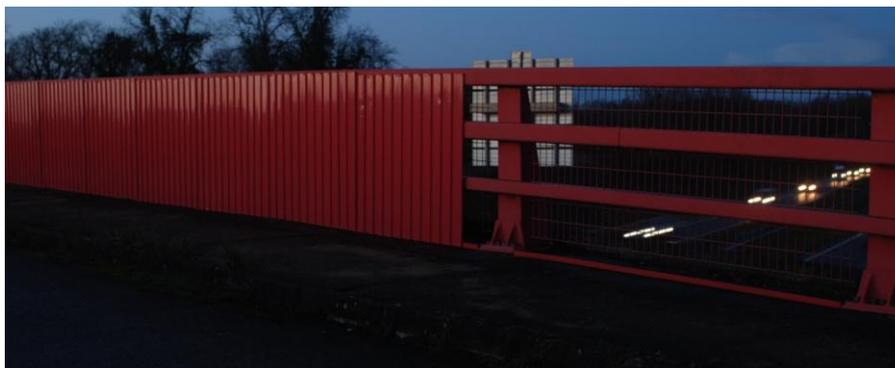


Figure 13 : Comparaison de l'effet de la lumière provenant de la route avec et sans garde-corps

En effet, cet aménagement bloque les photons en provenance de la route (phares de véhicules) et provoque de chaque côté des rambardes un cône d'ombre. Ce dernier dépend cependant de la position de la lune. Le cône d'ombre s'est par exemple intensifié du côté droit lors des phases de pleine lune et s'est reporté de l'autre côté pour les phases gibbeuses. Il est possible que les espèces fuyant la lumière, telles que les Rhinolophes, adaptent leur comportement et privilégient les zones d'ombre sur la passerelle en alternant les passages droite/gauche. A l'avenir, il serait donc intéressant de placer deux enregistreurs Anabat de part et d'autre de la passerelle pour étudier cette hypothèse. Cette proposition est appuyée par la mise en place de deux appareils sur l'ouvrage pendant une nuit qui a démontré que la pose d'un seul outil sous-estime l'utilisation de la passerelle par les chiroptères. En effet, en une nuit douze passages de Grands rhinolophes ont été captés côté nord contre deux côté sud (zone de pose habituelle de l'Anabat). Vingt quatre passages de Rhinolophes ont été recensés cette même nuit alors que la moyenne sur le seul côté sud est d'environ six contacts par nuit.

La comparaison des flux avec et sans aménagement n'est pas concluante, aucune tendance statistique de flux ne se dégage. Il semblerait tout de même que le nombre de passages de Petits rhinolophes augmente mais le manque de données ne permet pas d'affirmer cette constatation. Des relevés supplémentaires à la sortie d'hibernation (avril-mai) et au retour des gîtes d'hiver (septembre-octobre) ainsi que le recul sur plusieurs années permettront de juger l'efficacité des panneaux anti-phares. Le suivi des flux des autres chiroptères lucifuges comme les Myotis serait également judicieuse.

3- Utilisation de la passerelle par les Rhinolophes

Tous les individus enregistrés à l'aide de l'antenne, à l'exception d'un Petit rhinolophe, prennent la passerelle en direction du champ après le coucher du soleil. Ils proviennent donc du nord-ouest du site d'étude autrement dit de la ville de Bourges et de ses alentours.

Fin avril, les Rhinolophes hibernant dans les Carrières du Château ont généralement tous quitté ce gîte d'hiver (com. pers. Gunther Capo, 2013). Les flux quotidiens ne proviennent donc pas des sites souterrains. Des populations, de Petit rhinolophe notamment, peuvent être établies dans le centre ville durant la saison estivale. Cette hypothèse est appuyée par l'enregistrement de cinq Rhinolophes (dont trois Petits) longeant la haie de l'allée cavalière en direction de la passerelle. D'autres groupes ou bêtes solitaires peuvent être installés dans les bâtiments militaires en périphérie de Bourges. Quelques individus y ont déjà été signalés (com. pers. Rollin, 2013) et les conditions d'accueil sont favorables pour les chiroptères.

Compte tenu de l'importance des flux et de cette direction privilégiée, cette passerelle représente une route de vol permettant de rejoindre des terrains de chasse. Les zones militaires en périphérie de Bourges semblent favorables pour les bêtes : haies, prairies, bosquets abritent de multiples cortèges d'arthropodes.

Grâce à l'analyse de l'amplitude des signaux acoustiques des Rhinolophes, nous pouvons affirmer que les individus passent, pour la plupart, en rase motte sous l'antenne (cf. figure 14). En effet, l'amplitude des cris est très élevée pour les deux micros situés en bas de l'antenne. Les capteurs sont placés à 90 cm du sol, les deux espèces se déplacent donc à une altitude inférieure ou égale à cette hauteur. Ainsi, les transits se font le long des plaques pare-phares, à l'abri de la lumière provenant de la route.

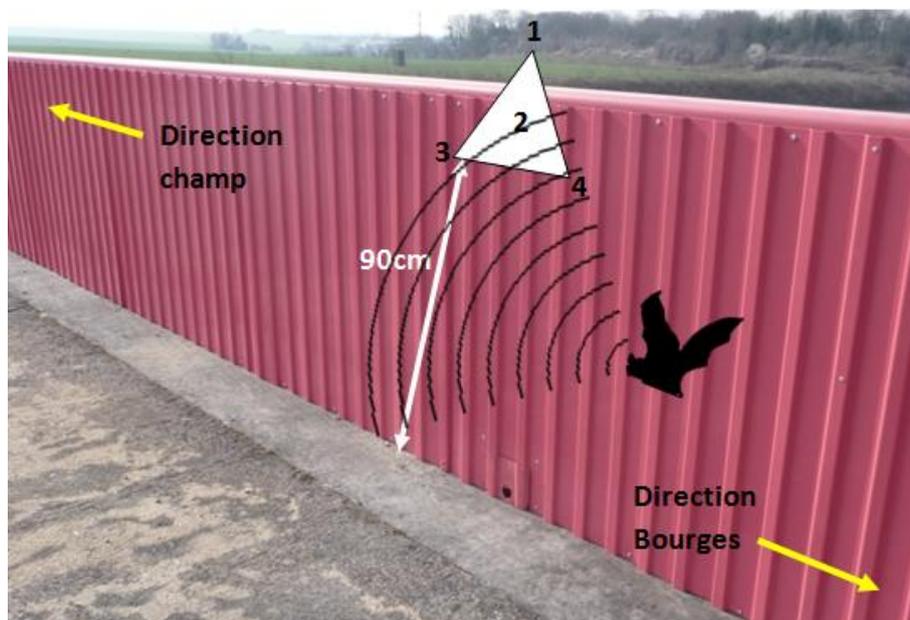


Figure 14: Position et direction d'un Rhinolophe sur la passerelle

Notons également que les palissades en bois destinées à guider les chiroptères vers la passerelle fonctionnent pour les Rhinolophidés. L'effet entonnoir est confirmé avec l'antenne de trajectographie disposée à proximité de celles-ci.

4- Trames Vertes, Bleues et « Noires »

Les espèces murmurantes telles que les Rhinolophes sont de bons indicateurs pour la détermination et l'évaluation des trames. Leurs identifications acoustiques sont aisées, de faible portée et de nombreuses publications ont démontré que ces espèces longent les structures pendant leurs transits (Duvergé, 1996 ; Billington & Rawlinson, 2006). De plus, la famille des Rhinolophidés compte parmi les chiroptères les plus lucifuges (Arthur & Lemaire,

2009). Ce caractère renforce leur intérêt d'indicateurs de bonne efficacité des trames pour toutes les autres chauves-souris voire l'ensemble des espèces nocturnes. Nous pouvons les qualifier d'espèces « parapluies » : en appliquant des mesures pour ces deux espèces, de nombreux autres taxons en bénéficient également. Dans ce contexte, il est nécessaire de prendre en compte et préserver les « trames noires ». L'idée de ces trames nocturnes a été lancée sous l'impulsion du Muséum de Bourges en 2009 et vise à protéger, préserver et améliorer durablement la « qualité » de la nuit dans les espaces identifiés, et au-delà des zones protégées. Le concept des TVB n'est effectivement pas suffisant pour les animaux nocturnes dans la mesure où les nuisances lumineuses persistent. Le 20 mars 2012, deux conventions ont d'ailleurs été signées entre l'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement (ANPCE) et la fédération des Parcs Naturels Régionaux (PNR) et Parcs Nationaux de France (PNF). Ces deux textes visent à promouvoir cette trame noire, qui s'ajouterait aux trames vertes et bleues mise en place par la loi Grenelle 2 (espaces-naturels.info, 2012).

Le Petit rhinolophe, *Rhinolophus hipposideros* peut être l'une des espèces permettant la définition et les plans à mettre en œuvre pour les trames noires. Déjà listée déterminante pour la définition des Schémas de Cohérence Ecologique, elle est bien répartie à l'échelle du territoire (mise à part l'extrême nord du pays, Arthur & Lemaire, 2009) et représente l'une des chauves-souris les plus lucifuges.

L'antenne de Cyberio expérimentée durant le stage (accompagnée du logiciel d'exploitation des données) pourrait devenir l'outil permettant d'étudier les Rhinolophes le long des trames. Grâce à la visualisation des trajectoires des individus dans l'espace, il sera possible de juger l'efficacité des trames noires et des aménagements périphériques favorables à la faune.

5- Conclusion

La passerelle agricole passant au dessus de la rocade-est de Bourges peut être qualifiée de trame verte et plus particulièrement de trame noire. En effet, les chiroptères lucifuges tels que les Rhinolophes utilisent quotidiennement l'ouvrage à l'abri des nuisances lumineuses provenant de la route depuis la pose des plaques pare-phares. Néanmoins, l'effet de la lune agit sur les transits des animaux. L'antenne de trajectographie a permis de démontrer que les Rhinolophes s'approprient bel et bien l'ouvrage pour rejoindre les terrains de chasse sur les zones militaires en dehors de la ville après le coucher du soleil.

Les trames noires sont fondamentales pour les espèces nocturnes. La nécessité de les préserver et de les rétablir, dans le cas de dégradation ou de photopollution, est capitale. L'identification d'espèces indicatrices se révèle donc indispensable pour quantifier la qualité des trames, le Petit rhinolophe serait le représentant par excellence.

Résumé

Depuis plusieurs années, le Muséum de Bourges étudie les flux des chiroptères sur la passerelle agricole passant au dessus de la rocade-est de la ville. En effet, cet ouvrage constitue un linéaire de transit pour les bêtes évitant ainsi la traversée des voies routières. Plusieurs aménagements de l'infrastructure ont d'ailleurs été réalisés en leur faveur : palissades de guidage, plantation d'une haie et récemment la pose de garde-corps anti-phares. Ces derniers ont pour vocation de permettre aux chauves-souris lucifuges, comme les espèces du genre *Rhinolophus*, de se déplacer à l'abri de la photopollution de la route. L'objectif de cette étude a donc été de comprendre comment *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800) et *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) appréhendent et utilisent cette passerelle aménagée. L'effet de la luminosité lunaire sur les transits de ces deux espèces a également été vérifié. Pour cela, des appareils Anabat SD1 ont permis d'enregistrer les flux des chiroptères et une antenne de trajectographie fournie par la société Cyberio a été expérimentée pour la détermination des trajectoires.

Malgré l'effet de la luminosité lunaire sur les déplacements des Rhinolophes, les individus s'approprient l'ouvrage en longeant les garde-corps à l'abri des nuisances lumineuses provenant de la route. Ils longent l'infrastructure, après le coucher du soleil, pour rejoindre des terrains de chasse à l'extérieur de la ville. Nous pouvons donc qualifier la passerelle de Trame noire. Cette dernière est fondamentale pour les espèces nocturnes. L'identification de taxon indicateur est donc indispensable pour évaluer la qualité des trames. Compte tenu de son abondance, de son comportement de transit le long des linéaires et de son signal acoustique particulier, le Petit rhinolophe pourrait être le représentant par excellence.

Mots clés : Rhinolophes, lucifuge, transit, trame noire, direction

Abstract

For several years, the Museum of Bourges is studying bat flows on an agricultural bridge passing over the east ring road of the city. Indeed, this infrastructure is a linear for animal transit avoiding crossing roadways. Many layouts have also been tested in the surroundings for those species: guiding fences and hedgerows and recently the installation of anti-headlights panelling designed to allow to lucifugous bats, as the genus *Rhinolophus*, to avoid the light pollution of the road. The objective of this study was to understand how *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800) and *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) will use this modified bridge. The effect of the lunar luminosity on transits on those two species has also been verified. For this, Anabat SD1 bat detectors and a three dimensional antenna, provided by the company Cyberio, was tested to determine trajectories.

Despite the effect of lunar light on the displacements of Horseshoe bats, individuals used the bridge along the anti-headlights panels away from light pollution of the road. They follow the infrastructure, after sunset, to reach hunting areas outside the city. We can therefore describe this bridge like a « black corridor », essential for nocturnal species. The identification of indicator taxa is therefore fundamental to assess the quality of this kind of nocturnal ecological corridor. The Lesser horseshoe, with its specific acoustic signal and flight behaviour, could be a most useful specie to highline the quality of such “black corridors”.

Keywords: Horseshoe bats, lucifugous, black corridor, transit, direction

Bibliographie

Arthur L. et Lemaire M. 1999. Les chauves-souris maîtresses de la nuit. Description, mœurs, observation, protection. Delachaux et Niestlé, 272p.

Arthur L. et Lemaire M. 2009. Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénope), Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 544p.

Arthur L., Lemaire M., Barbotte Q., Jaouen M. 2010. Étude du franchissement des voies routières par les chiroptères en transit. Synthèse 2010, Muséum d'histoire naturelle de Bourges, 25p.

Barataud, M., 1993. L'activité crépusculaire et nocturne de 18 espèces de chiroptères, révélée par marquage luminescent et suivi acoustique. *Le Rhinolophe*, 9 : 23-58.

Barataud M., 2012. Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze (Collection Inventaires et biodiversité), Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 344p.

Barbotte Q., 2010. Etude du franchissement des voies routières par les chiroptères en transit. Rapport de première année de Master, Université de Lille 1, 29p.

Biotope & Muséum de Bourges, 2005. Documents d'Objectifs du Site d'Importance Communautaire FR2400516 « Carrières de Bourges », Tome 1, 153p.

Boyles J.G., Cryan P. M., G.F. Mc Cracken and Kunz T.H., 2011. Economic Importance of Bats in Agriculture. Vol. 332 no. 6025 pp. 41-42, DOI: 10.1126/science.1201366.

Ciechanowski M., Zając T., Bilas A., Dunajski R., 2007. Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics : effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Revue canadienne de zoologie*, 85(12): 1249-1263, 10.1139/Z07-090.

Godineau F. et Pain D., 2007. Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 – 2012. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 79p.

Goumy S., 2012. Etude des comportements de vol des chiroptères en phase de transit face aux structures anthropisées dans le Cher. Rapport de première année de Master, Université de Rennes 1, 17p.

Hayes J.P., 1997. Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy*, 78 :514-524.

Haquart A., 2009. Fiches acoustiques de Chiroptères de France et de Navarre. Document de travail, 29p.

Hutson A.M., Mickleburgh S.P., Racey P.A., (comp.), 2001. Microchiropteran bats, global status survey and conservation action plan. IUCN/SSC Chiroptera Specialist Group, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 258p.

Jaouen-Guillaume M., 2010. Etude du transit des chiroptères en fonction des aménagements routiers. Rapport de troisième année de Licence, Université d'Orléans, 18p.

Le Gouil C., 2012. Impact de la luminosité naturelle nocturne sur le comportement de transit des chiroptères (*Rhinolophus* et *Pipistrellus*). Rapport de première année de Master, Université de Paris 13, 11p.

Morin A., 2003. Étude du transit des chiroptères sur un tronçon de la rocade Est de la ville de Bourges en vue d'une proposition d'aménagement. Rapport de première année de Master, Université de Rennes 1, 19p.

Motte G. & Libois R., 2001. Conservation of the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros* Bechstein, 1800), (Mammalia: Chiroptera) in Belgium. A case study of feeding habitat requirements, Belg. J. Zool., 132 (1): 47-52.

Muscarella R. & Fleming T. H., 2007. The Role of Frugivorous Bats in Tropical Forest Succession. Cambridge Philosophical Society, DOI: 10.1111/j.1469-185X.2007.00026.x.

Muséum d'histoire naturelle de Bourges., 1991. Étude d'impact du tracé de la rocade Est de Bourges sur les carrières du Château, 45p.

Nowicki F., Dadu L., Carsignol J., Bretaud J.F. & Bielsa S., 2008. Routes et Chiroptères, état des connaissances, Rapport bibliographique. Les rapports, SETRA, 253p.

Nowicki F., Dadu L., Carsignol J., Bretaud J.F. & Bielsa S., 2009. Chiroptères et infrastructures de transports terrestres ; Menaces et actions de préservation, 21p.

Ransome R.D., Hutson A.M., 2000. Action plan for the Conservation of the Greater Horseshoe Bat in Europe (*Rhinolophus ferrumequinum*). Council of Europe Publishing, Nature and environment, No 109, 37p.

Sordello R., Comolet-Tirman J., De Massary J.C., Dupont P., Haffner P., Rogeon G., Sibley J.P., Touroult J., Trouvilliez J., 2011. Trame verte et bleue – Critères nationaux de cohérence – Contribution à la définition du critère sur les espèces. Rapport MNHN-SPN, 57 p.

Stone E.L., Jones G. & Harris S., 2007. Street Lighting Disturbs Commuting Bats. University of Bristol, Current Biology, DOI:10.1016/j.cub.2009.05.058.

Sites internet :

<http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/trame-verte-et-bleue-r100.html>

<http://www.espaces-naturels.info/node/1078/actu>

<http://www.trameverteetbleue.fr/>

Les deux photographies en page de garde et celles en page 7 et 17 sont de Laurent Arthur.

Annexes

Annexe 1 : Actions 6 et 7 du Plan National d'Actions Chiroptères

Annexe 2 : Localisation du site d'étude

Annexe 3 : Fiche de terrain : trajectographie des chiroptères

Annexe 1

Actions 6 et 7 du Plan National d'Actions Chiroptères

Fiche action 6 : Elaborer et mettre en œuvre une méthodologie pour la prise en compte des chiroptères lors de la construction et de l'entretien d'infrastructures et autres ouvrages d'art	
Axe de travail :	Protéger / Informer et sensibiliser
Calendrier de réalisation :	2008-2010
Degré de priorité :	1
Objectif de l'action :	Fournir à travers un document synthétique et spécifique aux chiroptères tous les éléments nécessaires aux organismes réalisant des infrastructures et constructions (routes, lignes ferroviaires, ponts), pour limiter la mortalité.
Méthode :	<p>Synthétiser et mettre à jour les connaissances scientifiques et celles de l'état de l'art dans ce domaine, sur la base des documents existants.</p> <p>Ce document, ayant pour but de limiter la mortalité et de prendre en compte les chauves-souris, proposera une méthodologie pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'étude des chiroptères lors des projets de conception d'infrastructures - la réalisation et le suivi (fiche 7) des ouvrages de protection des espèces et de leurs habitats - les éléments spécifiques à prendre en compte lors de la réalisation et la restauration des ouvrages d'art en favorisant l'accueil des chauves-souris le cas échéant <p>Ce travail nécessitera au préalable une analyse de la bibliographie, une évaluation avec les experts du contenu des documents scientifiques et techniques existants, notamment ceux de l'Équipement, un suivi de sites de collisions et de sites bénéficiant de mesures de réduction d'impact.</p> <p>Préparer un plan de diffusion et diffuser ces compléments auprès des services techniques concernés</p>
Indicateurs de suivi :	Éditions des documents Nombre de destinataires
Régions concernées :	Action de niveau national basée sur des expériences régionales
Espèces prioritaires :	
Espèces ciblées :	Toutes les espèces
Évaluation financière :	Non précisée
Pilote de l'action :	SETRA
Partenaires potentiels :	Opérateur, Ministère chargé de l'environnement, Ministère chargé de l'équipement, collectivités territoriales, experts, chiroptérologues, CETE, sociétés d'autoroutes, RFF, Direction Interdépartementale des Routes, Service de Maîtrise d'Ouvrage, VNF

Fiche action 7 : Evaluer l'efficacité de systèmes de réduction d'impact des infrastructures de transport	
Axe de travail :	Protéger / Améliorer les connaissances
Calendrier de réalisation :	2008 à 2010
Degré de priorité :	2
Objectif de l'action :	Améliorer les connaissances sur la mortalité liée aux infrastructures de transport et les mesures permettant de la réduire
Méthode :	<p>Rassembler les données concernant les systèmes de réduction d'impact en France</p> <p>Sélectionner quelques sites bénéficiant d'un tel système, ainsi que des sites témoins</p> <p>Etablir un protocole de suivi des sites et une fiche de suivi.</p> <p>Collecter les données et les rassembler dans une même base de données auprès des organismes locaux qui seront chargés de la surveillance</p> <p>Analyser régulièrement les résultats</p>
Indicateurs de suivi :	Nombre et type de systèmes de réduction d'impact mis en place et suivis Bilan rédigé
Régions concernées :	Toutes les régions
Espèces prioritaires :	
Espèces ciblées :	Toutes les espèces
Evaluation financière :	Non précisée
Pilote de l'action :	SETRA
Partenaires potentiels :	Opérateur, chiroptérologues, DIREN, bureaux d'études, RFF, Muséum de Bourges, MNHN, collectivités territoriales, sociétés d'autoroutes, CETE, groupe de travail Eurobats.

Annexe 2

Localisation du site d'étude



Annexe 3

Fiche de terrain : trajectographie des chiroptères



Fiche terrain : Trajectographie des Chiroptères



<p>Date d'observation :</p> <p>JJ/MM/AA : ____/____/____</p>	<p>Noms des observateurs :</p> <p>Lieu :</p>
---	---

Conditions climatiques :

Heure du coucher du soleil : ____ Heure du lever du soleil : ____
 Température à 21h : ____°C Température à 23h : ____°C

Vent :

- Nul
- Faible
- Moyen
- Fort

Temps :

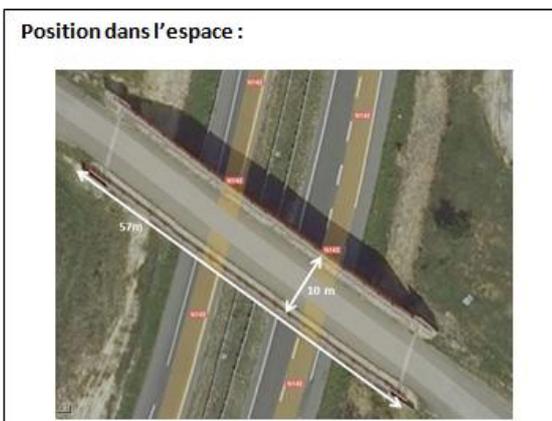
-
-
-
-

Phase lunaire :

-
-
-
-
-

Configuration de l'antenne :

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Voies :					



Remarque (s) :