La trajectographie des chauves-souris Quelles sont les nouvelles avancées ? Et pour quelles applications ?

Fabien CLAIREAU *, Charlotte ROEMER ** & Julie PAUWELS ***

* Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation (UMR 7204 CESCO)
Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)
43 rue Buffon, CP 135, 75231 Paris cedex 05
Institute of Zoology and Museum
Ernst Moritz Arndt University, 17489 Greifswald, Germany
Naturalia Environnement
Site AGROPARC, 20 rue Lawrence Durrell, BP 31285, 84911 Avignon Cedex 9
f.claireau@naturalia-environnement.fr

** Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation (UMR 7204 CESCO)
Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)
43 rue Buffon, CP 135, 75231 Paris cedex 05
Biotope
22 boulevard du Maréchal Foch, 34140 Mèze
croemer@biotope.fr

*** Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation (UMR 7204 CESCO)
Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN)
43 rue Buffon, CP 135, 75231 Paris cedex 05
Auddicé – Airèle
5 rue des Molettes, 59286 Roost-Warendin
jul.pauwels@hotmail.com

Résumé. - Les chauves-souris étant des animaux petits, volants et nocturnes, leur suivi est parfois particulièrement difficile sur des questions écologiques précises. Depuis plusieurs années, il est apparu que le suivi des chauves-souris doit aller au-delà des indices d'activités, c'est-à-dire, comprendre leur comportement à une échelle spatiale plus fine que le radiotrack par exemple. Récemment, plusieurs axes de développement se sont ouverts tels que la trajectographie en une ou plusieurs dimensions, ainsi que le suivi par caméra thermique. Nous présentons ici l'avancée des recherches réalisées sur ces deux sujets ainsi que des exemples de cas d'études.

Mots-clés. - Acoustique, AFPR, caméra, méthodes, pollution lumineuse, routes, TOAD.

Introduction

La trajectographie des chauves-souris présente un énorme potentiel dans l'étude non-invasive du comportement de vol. C'est Aubauer, qui, en 1994, en fait la première application chez les Chiroptères. La trajectographie permet d'étudier les comportements individuels, par espèce et par objet d'étude. Cet outil pourrait aider à répondre à des questions telles que celle-ci : quel est le comportement de vol des chauves-souris sous et à proximité d'un réverbère en fonction de l'intensité lumineuse ?

Ainsi, la trajectographie a trouvé son sens pour divers types d'étude tels que pour les problématiques de collisions routières, ferroviaires et éoliennes ; pour évaluer le franchissement d'individus au-dessus et en dessous d'une infrastructure linéaire de transport ; et pour évaluer l'impact de l'éclairage artificiel.

Méthodologie des différents types de trajectographie

Trajectographie acoustique

Le concept de la trajectographie repose sur la possibilité de localiser les chauves-souris grâce aux cris d'écholocation qu'elles émettent. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser *a minima* deux micros. Plus il sera ajouté de micros, plus il y aura de dimensions et plus les trajectoires de vol des chauves-souris seront précises. Avec deux micros, on peut déterminer la direction de vol d'un individu. Avec trois micros, on peut recréer la trajectoire d'un individu dans un plan, c'est-à-dire sans information sur l'altitude de vol. A partir de quatre micros, on peut calculer la trajectoire de l'individu dans l'espace. Le principe repose sur le calcul de différence d'heure arrivée (Time Difference Of Arrival (TDOA) ou Time Of Arrival Difference (TOAD) dans la

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 33 06/03/20 09:28

littérature scientifique [Koblitz, 2018]) sur chacun des micros, cris par cris.

Pour deux micros, il est possible en fonction de la valeur négative ou positive du TDOA/TOAD de savoir de quel côté est arrivée la chauve-souris (*Figure 1*). En effet si le cri est enregistré au temps T1 par le micro 1 puis au temps T2 par le micro 2, la différence T2 – T1, qui correspond au TDOA/TOAD, sera positive et on pourra en déduire que la chauve-souris volait du micro 1 vers le micro 2. Cette méthode avec deux micros peut être appliquée pour étudier des problématiques de rupture de connectivités entre habitats (*Figure 1*) [Claireau *et al.*, 2019a, 2019b] et/ou de collisions avec des éoliennes [Roemer *et al.*, 2017].

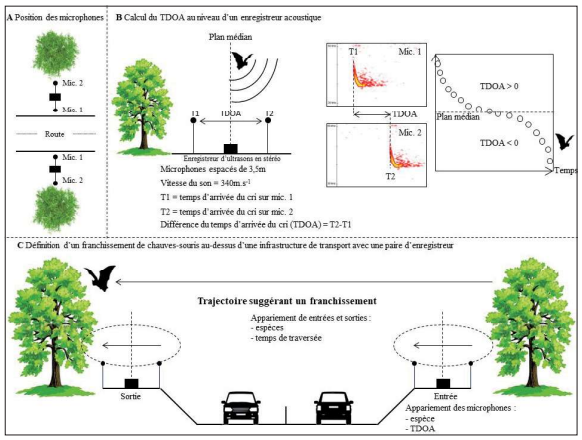


Figure 1. – Concept de la trajectographie (avec deux microphones par enregistreur) pour évaluer la connectivité entre habitats. A. Position des microphones : micro 1 sur le canal gauche (côté route) et micro 2 sur le canal droit (côté habitat) et selon un axe perpendiculaire à la route. B. Calcul du temps d'arrivée des cris d'écholocations sur les micros (TDOA). C. Il est défini un franchissement de chauves-souris quand une chauve-souris entre sur la route d'un côté et détectée comme sortant de la route de l'autre côté [CLAIREAU *et al.*, 2019a].

En utilisant quatre micros, il est possible d'avoir des trajectoires de chauves-souris en trois dimensions. Cette méthode peut s'appliquer aussi bien aux risques de collisions éoliens, routiers et aux problématiques d'éclairage artificiel. Le principe du calcul du TDOA/TOAD est le même mais avec quatre micros (*Figure 2*).

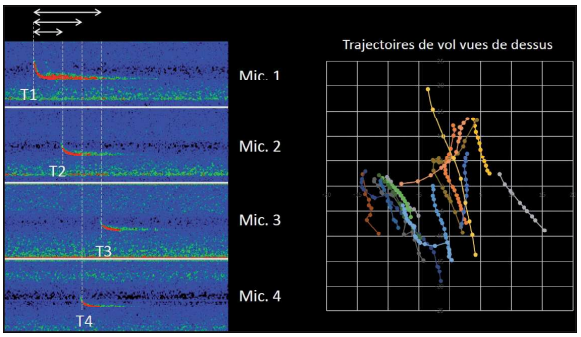


Figure 2. – Concept de la trajectographie et du calcul du TDOA/TOAD (avec quatre microphones). A gauche, un même cri de chauve-souris enregistré sur chacun des quatre micros de l'antenne de trajectographie. Le décalage dans le temps de l'arrivée du cri sur chaque micro permet de retrouver la position de l'individu dans l'espace par triangulation. A droite, un ensemble de trajectoire de chauves-souris vu du dessus.

Trajectographie à partir d'images thermiques

Cette méthodologie a un fort potentiel mais est pour l'instant en phase de développement. Plus chronophage et plus coûteuse (terrain et visionnage manuel), cette méthode ne s'applique qu'à des questions pour lesquelles on ne peut pas utiliser la trajectographie acoustique. Un travail est à faire pour mieux maîtriser et automatiser cette méthodologie afin qu'elle soit moins chronophage, moins coûteuse et pour minimiser les biais observateurs. Pour se faire, une série d'algorithmes a été développée pour détecter les contours des chauves-souris, lier ces contours entre eux pour en faire une trajectoire, extraire des caractéristiques précises, pour enfin les classifier (*Figure 3*) (cf. pages 273 à 284 [Claireau, 2018]).

Résultats obtenus grâce à cette méthodologie

Trajectographie acoustique

La trajectographie acoustique à deux micros a été utilisée pour évaluer l'apport des chiroptéroducs (ouvrages dédiés pour permettre le franchissement des chauves-souris au-dessus d'une route) à la connectivité des habitats de part et d'autre d'une route. L'étude a montré que lorsqu'ils sont placés sur un corridor écologique préalablement identifié (ici des boisements), ils ne sont

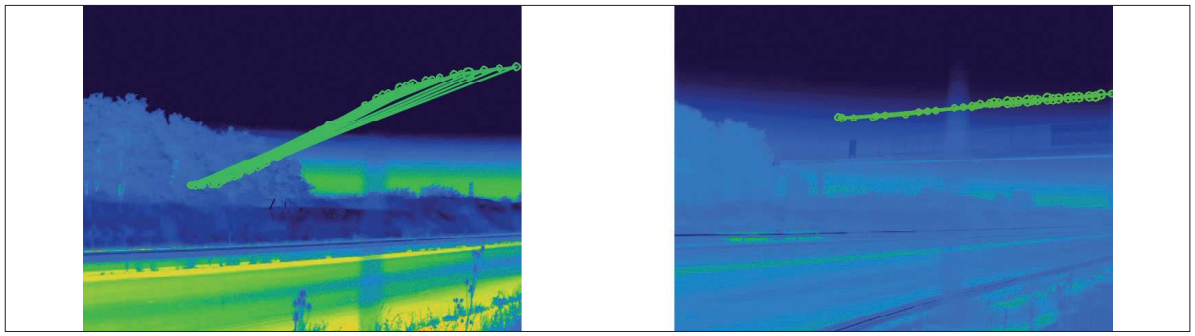


Figure 3. – Trajectoires de chauves-souris issues d'imagerie thermique [CLAIREAU, 2018].

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 34 06/03/20 09:28

utilisés pour traverser la route qu'au mieux par 50% des chauves-souris. De plus, lorsque les chiroptéroducs sont placés hors d'un corridor écologique, ils sont inefficaces [Claireau *et al.*, 2019b]. Une récente étude a démontré que lorsque ces ouvrages dédiés étaient placés au niveau d'une haie rompue par une infrastructure de transport, ils amélioraient significativement la connectivité entre les habitats [Claireau *et al.*, 2019a].

Concernant l'évaluation du risque de collision avec des éoliennes, cette technique, toujours à deux micros, a permis de démontrer que plus une chauves-souris vole haut, plus elle est sujette à risque de collision (*Figure 4*) [Roemer *et al.*, 2017].

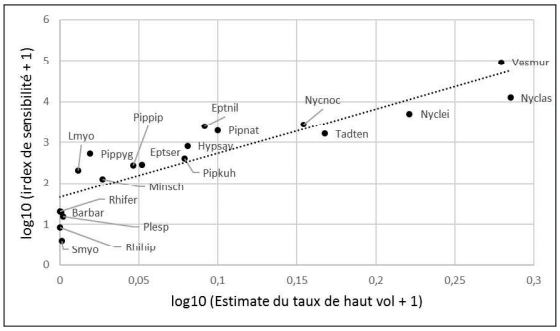


Figure 4. – Ratio du temps passé en hauteur en fonction de la susceptibilité d'être sujet à des collisions avec des éoliennes. [ROEMER *et al.*, 2017]

Trajectographie à partir d'images thermiques

Cette méthodologie a été appliquée pour déterminer si les chiroptéroducs permettent de surélever la hauteur de vol des chauves-souris. L'outil étant tout juste fini en 2018, l'analyse des images est en cours.

Discussion

Le choix entre trajectographie à deux ou quatre micros ou par imagerie thermique dépend de la question écologique que l'on pose et du cas d'étude. Par exemple pour une même thématique de travail, la rupture de connectivité par une route, suivant la question on sélectionnera une technique différente. L'utilisation de deux micros sera adaptée pour un contexte autoroutier. En effet la largeur d'une autoroute ne permet pas l'utilisation de la trajectographie à quatre micros. On peut aussi utiliser l'imagerie thermique, qui à terme, pourrait permettre d'avoir plus d'information sur la trajectoire que la simple information de la directionnalité donnée par la trajectographie à deux micros. Dans le contexte d'une 2x1 voie, la trajectographie a quatre micros est préférable car elle permet d'obtenir de l'information sur la directionnalité mais aussi sur la hauteur de vol. En recréant les trajectoires en entier on pourra de plus déterminer si les individus font demi-tour devant l'obstacle.

Références bibliographiques

Claireau F., 2018. - *Évaluation des impacts de la fragmentation du paysage par une autoroute sur les chauves-souris à différentes échelles spatio-temporelles.* Thèse de Doctorat. Muséum national d'Histoire naturelle, Greifswald University, Paris, 355 p.

Claireau F., Bas Y., Julien J.-F., Machon N., Allegrini B., Puechmaille S.J. & Kerbiriou C., 2019a. - Bat overpasses as an alternative solution to restore habitat connectivity in the context of road requalification. *Ecological engineering*, 131 : 34–38. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.02.011

Claireau F., Bas Y., Puechmaille S.J., Julien J.-F., Allegrini B. & Kerbiriou C., 2019b. - Bat overpasses: An insufficient solution to restore habitat connectivity across roads. *Journal of Applied Ecology*, 56 : 573–584. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13288

Koblitz J.C., 2018. - Arrayvolution: using microphone arrays to study bats in the field. *Canadian Journal of Zoology*, 96 : 933–938. https://doi.org/10.1139/cjz-2017-0187

Roemer C., Disca T., Coulon A. & Bas Y., 2017. - Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological conservation*, 215 : 116–122. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 35 06/03/20 09:28