



RAPPORT
Retour d'expérience
spécifique : Suivis
d'ouvrages expérimentaux
dédiés aux chiroptères

TABLE DES ILLUSTRATIONS	3
INTRODUCTION	4
SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	6
Chauves-souris et routes : des relations dangereuses	6
Méthodologies d'évaluation des mesures d'atténuation	6
Cas des écoponts	8
Cas des ouvrages dédiés aux chauves-souris : les chiroducs	12
Les chiroducs de l'A89	12
Suivis de 2014 à 2017	13
Suivis spécifiques acoustiques de 2016	16
Le chiroduc de l'A83	16
Les chiroducs : que retenir ?	20
Les ouvrages dédiés : préconisations de suivi	20
BIBLIOGRAPHIE	23

Les résultats ici présentés, ciblés sur un type d'ouvrage et un groupe d'espèces, font partie d'un ensemble d'études réalisées dans le cadre de suivis de passage à faune présentés dans un rapport général intitulé « Retour d'expérience n°2 des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroutes, 2023 ».

Ce document est également disponible dans une version traduite en anglais :
« *Specific feedback on experience: Monitoring of experimental structures for bats, 2023* ».

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES :

Figure 1 : Suivi acoustique au niveau du portique	7
Figure 2 : Suivis à la caméra thermique	7
Figure 3 : Schématisation du protocole mise en place pour le suivi acoustique	7
Figure 4 : Reconstitutions automatisées de trajectoires de chauves-souris	8
Figure 5 : Écopont situé sur l'A89	9
Figure 6 : Écopont situé sur l'A64	9
Figure 7 : Localisation des points d'observation (caméra thermique) et d'écoute (SM2Bat+) réalisés sur l'écopont de Peyreharasse (A64)	9
Figure 8 : Localisation des points d'observation (caméra thermique) et d'écoute (SM2Bat+) réalisés sur l'écopont de Boucaud (A89)	10
Figure 9 : Trajectoire de chauve-souris reconstituée par le Bat Tracking Toolbox, au-dessus d'une palissade	11
Figure 10 : PGF de Ronzière	12
Figure 11 : Chiroduc de Moulin-Paris	12
Figure 12 : Tremplin vert	12
Figure 13 : OHA de Gand	12
Figure 14 : Localisation des points d'enregistrement à la caméra thermique	13
Figure 15 : Nombre de franchissements de chauves-souris par nuit (données brutes), par paires d'enregistreurs acoustiques et par ouvrage dédié	17
Figure 16 : A. Localisation du site d'étude. B. Plan d'échantillonnage : enregistreurs acoustiques (carré jaune) et ouvrage dédié (ligne bleu). C. Photographie de l'ouvrage dédié. D. Photographie du site d'étude avant ouvrage dédié. E. Dessin technique de l'ouvrage dédié. (Source: Naturalia-Environnement/CESCO-MNHN/Greifswald University, Institut national de l'information géographique et forestière, Koox-production/Vinci-autoroutes).	17
Figure 17 : Localisation des points d'observation à la caméra thermique (A83).	18
Figure 18 : Ouvrage dédié avec une grille dimensionnée pour une meilleure perception de cet ouvrage par les chauves-souris	18
Figure 19 : Plantation d'arbres de haut-jet au plus proche du portique	18
Figure 20 : Hauteur de vol de chauve-souris par rapport à la route avant et après la mise en place de l'ouvrage dédié	19

TABLEAUX :

Tableau 1 : Nombre de traversées de chauves-souris au niveau des écoponts et des témoins en fonction du degré de sensibilité au risque de collisions pour les chauves-souris	10
Tableau 2 : Comportement de vol des chauves-souris au niveau des écoponts	11
Tableau 3 : Synthèse du suivi Chiroptères via suivis acoustiques réalisés en 2014, 2015 et 2017 sur les ouvrages de l'A89	14
Tableau 4 : Synthèse du suivi Chiroptères via suivis visuels réalisés en 2014, 2015 et 2017 sur les ouvrages supérieurs de l'A89	15

INTRODUCTION



Suivi acoustique sur le chirodoc du Millonnais sur l'autoroute A89

Coordination et rédaction : Fabien CLAIREAU

Relecture : Célia LHÉRONDEL

Crédits photographiques : L'ensemble des photographies présentées dans le présent document, sauf mentions contraires, ont été réalisées par l'équipe de Naturalia-Environnement, dans le cadre des prospections relatives à l'étude du projet susmentionné.

Observations sur l'utilisation du rapport : Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de de Naturalia-Environnement ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

Naturalia-Environnement est chargé de réaliser, pour le compte de **VINCI Autoroutes réseau ASF, la rédaction d'une synthèse des résultats de suivi des chiroptères regroupant les études suivantes :**

- Suivi d'un ouvrage expérimental dédié aux chiroptères type « portique standard » sur l'autoroute A83 :
 - ▶ Suivis acoustiques (trajectographie)
 - ▶ Suivis visuels par caméra thermique

- Suivi de deux écoponts sur les autoroutes A64 et A89 :
 - ▶ Suivis acoustiques (trajectographie)
 - ▶ Suivis visuels par caméra thermique

- Suivi sur trois années de deux chiroducts, expérimentaux sur l'autoroute A89 :
 - ▶ Suivis acoustiques (suivis classiques)
 - ▶ Suivis visuels par caméra thermique
 - ▶ Un lien sera réalisé, avec le suivi acoustique réalisé au niveau des autres ouvrages de l'autoroute A89 (passage à faune, tremplin vert...)

- Suivi sur une année, dans le cadre de la thèse de Fabien Claireau, de deux chiroducts sur l'autoroute A89 :
 - ▶ Suivis acoustiques (trajectographie)

Le tableau ci-après résume les plans d'échantillonnage et le type de suivi en fonction des ouvrages :

Ouvrage	Année de suivi	Design expérimental	Type de suivi	Distinction entre espèce	Résultats attendus
« Portique standard modifié » de l'A83	2016 à 2018	Before-After / Control-Impact	Acoustique	Oui	Nombre de traversées de chauves-souris
		Before-After	Visuel	Non	Hauteur de vol des chauves-souris
Écoponts de l'A64 (Peyreharasse) et A89 (Boucaud)	2017 à 2019	After / Control-Impact	Acoustique	Oui	Nombre de traversées de chauves-souris
		After	Visuel	Non	Hauteur de vol des chauves-souris
Chiroducts de l'A89 (Millonnais et Moulin-Paris)	2014 à 2017	After	Acoustique	Oui	Indice d'activité
		After	Visuel	Non	Hauteur de vol des chauves-souris
	2016	After / Control-Impact	Acoustique	Oui	Nombre de traversées de chauves-souris

La rédaction proposée s'articule autour d'un tronc commun à l'ensemble des études (suivis acoustiques et suivis visuels par caméra thermique), ainsi que d'un focus axé sur la spécificité propre à chacune de ces études.

CHAUVES-SOURIS ET ROUTES : DES RELATIONS DANGEREUSES

Les chauves-souris, ou chiroptères, utilisent principalement des éléments linéaires (haies notamment) pour se déplacer. Ces éléments linéaires, une fois rompus, empêchent les chauves-souris de traverser les autoroutes [qui plus est, lorsqu'elles sont soumises à des perturbations sonores (bruit occasionné par le passage de véhicules) et lumineuses (éclairages induits par les phares des véhicules)]. Une étude récente a démontré pour le grand rhinolophe *Rhinolophus ferrumequinum*, qu'en cas de ruptures d'éléments linéaires supérieures à 38 mètres (équivalant à une largeur d'autoroute), la probabilité de franchissement baisse de 50 % (Pinaud *et al.*, 2018). La construction d'une autoroute a également des effets directs, tels que la mortalité et/ou la perte de territoires de chasse, et indirects, tels que, par exemple, la zone d'effet des autoroutes (« road-effect zone ») sur l'activité de chasse et de transit des chauves-souris jusqu'à cinq kilomètres (Claireau *et al.*, 2019b) pouvant amener à une baisse du domaine vital des chauves-souris. Ces effets directs et indirects peuvent avoir de profonds impacts sur les populations (fitness notamment) (Altringham and Kerth, 2016).

Pour réduire cet effet barrière, des mesures d'atténuation des impacts sur la biodiversité (mesures « R » de la séquence « Éviter, Réduire et Compenser ») peuvent être mises en œuvre, telles que des passages supérieurs (passage à faune, écopont), un meilleur dimensionnement des passages inférieurs (ouvrages hydrauliques, ouvrages agricoles), la réduction de la vitesse, la dissuasion et le détournement (par exemple, la plantation de haies vers un ouvrage de franchissement). La littérature suggère que les passages à faune et les ouvrages sous-routiers sont les meilleures solutions pour rétablir les

continuités écologiques.

Toutefois, lors de programmes de modernisation des autoroutes existantes, ces ouvrages inférieurs sont la plupart du temps difficiles, voire impossibles, à mettre en œuvre (contraintes de terrain, emprises insuffisantes, etc.). Il est alors plus aisé d'installer des ouvrages supérieurs classiques, comme les écoponts favorables aux chauves-souris et à d'autres vertébrés, et des ouvrages supérieurs de franchissement dédiés appelés « chiroduc ».

L'installation de ce type d'ouvrage dédié a pour objectifs d'améliorer la connectivité écologique pour les chauves-souris et de réduire les risques de collisions avec notamment les poids lourds.

MÉTHODOLOGIES D'ÉVALUATION DES MESURES D'ATTÉNUATION

Dans le cadre de différentes études menées par ASF, plusieurs expérimentations ont été réalisées, afin d'évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place. Durant ces expérimentations, ont été développées **deux méthodes innovantes** :

- des suivis acoustiques (Figures 1 et 3), par la pose d'enregistreurs d'ultrasons. Cette méthode, basée sur la trajectographie, permet de connaître le nombre de franchissements de l'infrastructure routière pour chaque espèce (Claireau *et al.*, 2019c). Un témoin peut également être suivi acoustiquement, pour juger de la potentielle évolution (baisse ou augmentation) du nombre de franchissements de l'autoroute par les chauves-souris, afin de différencier l'effet « année » de l'effet « localisation » (ouvrage / sans ouvrage). Ce témoin est assez proche, similaire et subissant les mêmes influences que le chiroduc ;
- des suivis visuels (Figures 2 et 4), par l'utilisation d'une caméra thermique. Cette

ILLUSTRATIONS DES MÉTHODES MISES EN PLACE



Figure 1 : Suivi acoustique au niveau du portique



Figure 2 : Suivi à la caméra thermique

DÉTAILS DES NOUVELLES MÉTHODES UTILISÉES : ACOUSTIQUE

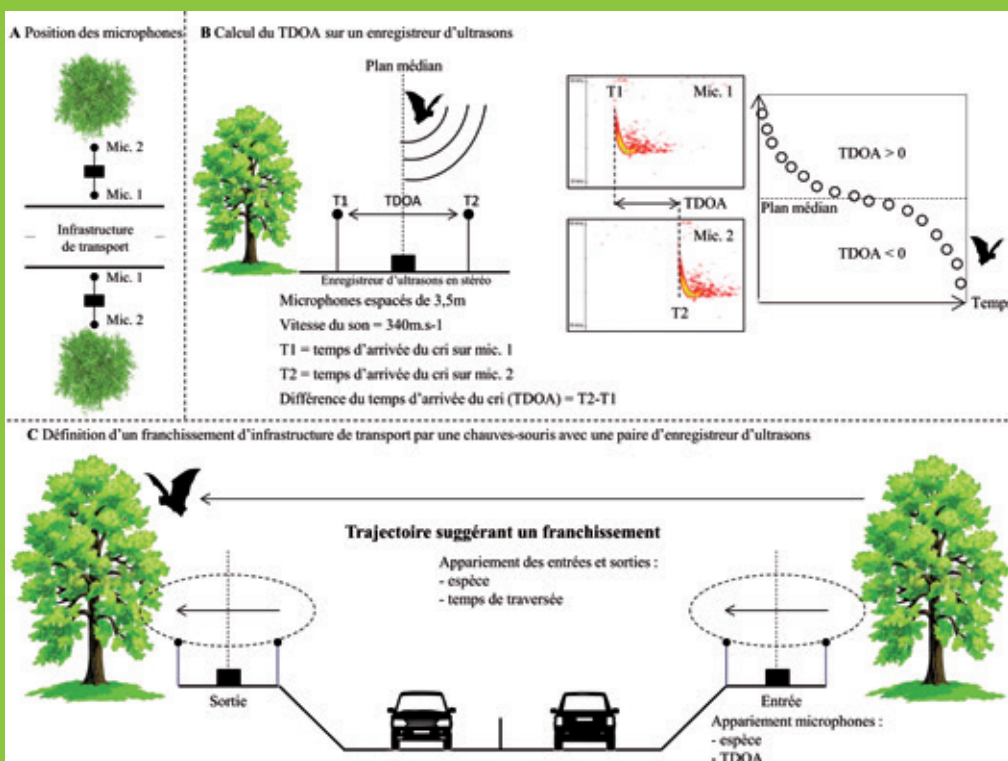


Figure 3: Schématisation du protocole mise en place pour le suivi acoustique

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'écholocation sur les micros (TDOA). C. Il est défini un franchissement de chauve-souris quand un individu entre sur la route d'un côté et est détecté comme sortant de la route de l'autre côté (Claireau *et al.*, 2019c).

DÉTAILS DES NOUVELLES MÉTHODES UTILISÉES : VISUEL

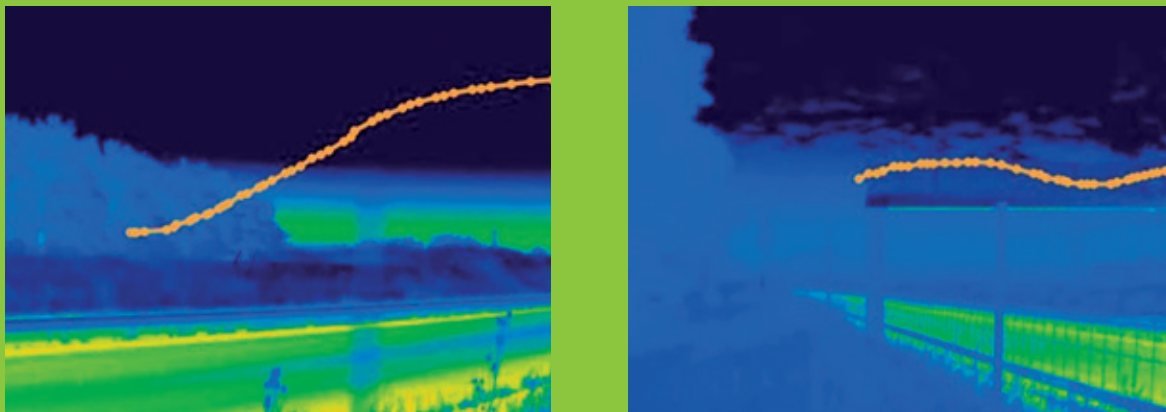


Figure 4 : Reconstitutions automatisées de trajectoires de chauves-souris (trait orange) (à gauche, sans ouvrage ; à droite, avec ouvrage)

Les images ont été obtenues à partir du Bat Tracking Toolbox développé par Naturalia-Environnement, le Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation (CESCO-MNHN) et l'Institut de Zoologie et Muséum de l'Université de Greifswald (Allemagne) (Claireau *et al.*, 2021). Le développement de cet outil dans le cadre de ces expérimentations constitue une avancée majeure dans le domaine car il permet de limiter les coûts de traitement, de comptabiliser plus de chauves-souris qu'à l'œil nu et d'uniformiser les biais (observateurs notamment).

méthode permet de mieux comprendre les comportements de vol des chauves-souris et leurs hauteurs de vol au-dessus de l'autoroute (Claireau *et al.*, 2021).

CAS DES ÉCOPONTS

Durant trois années, deux écoponts ont été suivis, à raison de trois nuits consécutives sur trois mois consécutifs (entre juin et août), par le bureau d'études Naturalia-Environnement (Naturalia-Environnement, 2019a, 2019b). Ces écoponts, localisés en milieux boisés, se situent

sur les autoroutes A89, sur la commune de Prondines (Puy-De-Dôme) (Figure 5), et A64, sur la commune de Saint-Cricq-du-Gave (Landes) (Figure 6).

Pour chacun d'eux, des suivis acoustiques en stéréo (i.e. avec deux micros par enregistreur) ont été réalisés simultanément au niveau de l'écopont et au niveau d'un témoin (quatre points de suivi au total). Les suivis à la caméra thermique ont été réalisés uniquement au niveau des écoponts sur trois localités (Figures 7 et 8).



Figure 5: Écopont situé sur l'autoroute A89



Figure 6: Écopont situé sur l'autoroute A64



Figure 7: Localisation des points d'observation (caméra thermique) et d'écoute (SM2Bat+) réalisés sur l'écopont de Peyreharasse (A64)



Figure 8: Localisation des points d'observation (caméra thermique) et d'écoute (SM2Bat+) réalisés sur l'écopont de Boucaud (autoroute A89)

Les résultats sont présentés dans les tableaux 1 et 2 ci-après:

Tableau 1: Nombre de traversées de chauves-souris au niveau des écoponts et des témoins en fonction du degré de sensibilité au risque de collisions pour les chauves-souris

Sensibilité au risque de collision*	Traversées de chauves-souris au niveau des écoponts		Traversées de chauves-souris au niveau des témoins	
	A89	A64	A89	A64
Très élevée	3	1	0	0
Moyenne à très élevée	15	15	11	0
Moyenne	109	92	201	8
Faible	216	56	51	13
Total	343	164	263	21

*: la notion de sensibilité au risque de collision est tirée du guide CEREMA de 2016: Chiroptères et infrastructure de transport

Tableau 2 : Comportement de vol des chauves-souris au niveau des écoponts

Comportement de vol		Traversées de chauves-souris au niveau des écoponts	
		A89	A64
Au-dessus de l'autoroute	Au-dessus de la palissade	1356	212
	En-dessous de la palissade	24	7
Le long des lisières		387	162
Total		1767	381

Les résultats montrent que 65% des traversées de chauves-souris sont réalisées au niveau des écoponts et que, pour 75% des espèces à moyen et très fort risque de collision, elles ne traversent l'autoroute qu'au niveau des écoponts (Tableau 1).

Par ailleurs, lorsque les chauves-souris empruntent les écoponts, 91% d'entre-elles transitent et ne chassent pas au niveau de l'ouvrage (Naturalia-Environnement, 2019a, 2019b). Les écoponts constitueraient alors un corridor privilégié. Par ailleurs, l'utilisation des palissades pour transiter n'a pas été prouvée dans le cadre de cette expérimentation (Tableau 2) (Figure 9).

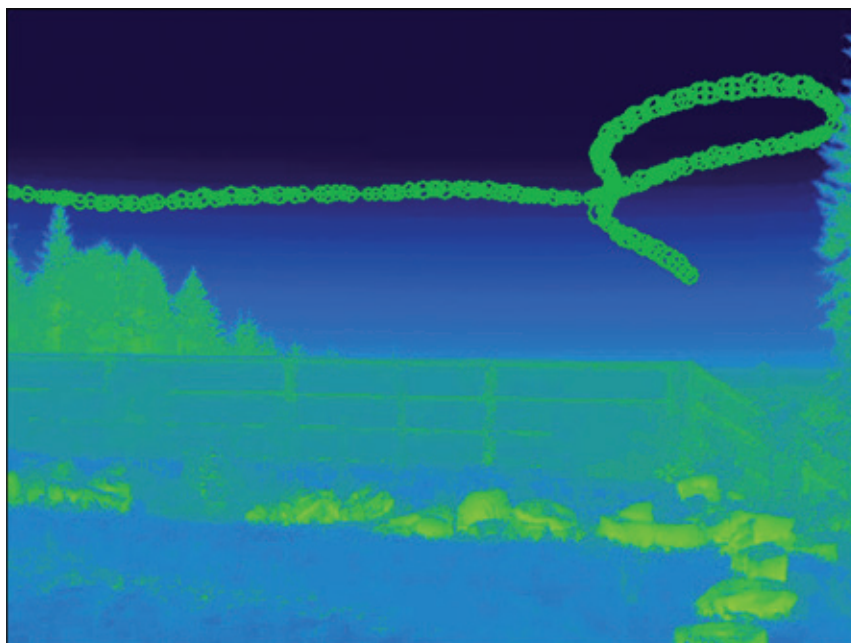


Figure 9 : Trajectoire de chauve-souris reconstituée par le Bat Tracking Toolbox, au-dessus d'un écopont.

CAS DES OUVRAGES DÉDIÉS AUX CHAUVES-SOURIS : LES CHIRODUCS

Dans les cas de requalification ou de modernisation du réseau autoroutier, l'installation d'ouvrage de franchissement pour la faune classique est très souvent impossible (contraintes techniques, foncier...), il est alors proposé pour réduire l'impact des autoroutes sur les chauves-souris la mise en place d'ouvrages dédiés appelés « chiroduc ».

En France, l'on dénombre cinq chiroduc dont trois sont sur le réseau ASF. Leur design est assez variable. Il peut s'agir de cordes tendues avec des boules de polystyrène, de structure métallique en forme de « U » ou cubique, ou encore des portiques de signalisation modifiés. Les chiroduc, dans leur principe théorique, sont perçus par les chauves-souris grâce à leurs cris d'écholocation, qui les guident comme un élément linéaire structurant le paysage (haies par exemple), dans le but de faire franchir les

chauves-souris en toute sécurité (c-à-d, au-dessus de cinq mètres de hauteur) et de rétablir la connectivité entre habitats. Néanmoins, le principe théorique n'a pas été éprouvé dans la pratique.

C'est pourquoi ASF a missionné différents intervenants afin de consolider les retours d'expériences.

LES CHIRODUCS DE L'A89

Dans le cadre de la construction de l'autoroute A89, de forts enjeux chiroptérologiques ont été identifiés. De nombreux ouvrages pour la faune classique ont été installés (inférieurs et supérieurs). Néanmoins, sur un secteur très vallonné, il a fallu, pour ASF, innover et trouver une solution pour réduire au mieux l'impact de l'A89 sur les chauves-souris. C'est ainsi qu'en 2012, deux chiroduc ont vu le jour, près de Balbigny (42), à l'ouest de Lyon (69). ASF a alors missionné Naturalia-Environnement et la FRAPNA-Loire pour suivre sept ouvrages de



Figure 10 : PGF de Ronzière



Figure 11 : Chiroduc de Moulin-Paris



Figure 12 : Tremplin vert



Figure 13 : OHA du Gand

franchissement : 3 passages à grande faune (PGF), 2 chiroducs, 1 tremplin vert et 1 ouvrage hydraulique aménagé (OHA) (Figures 10 à 13).

Suivis de 2014 à 2017

Des premiers suivis ont été réalisés par Naturalia-Environnement et la FRAPNA-Loire sur ces sept ouvrages, sur trois années, soit de 2014 à 2017. À cette époque, les techniques d'inventaires étaient non développées ; des suivis acoustiques

classiques (c-à-d, un seul micro) et des suivis visuels classiques (c-à-d, traitement des images manuellement) ont ainsi été réalisés (Figure 14). Les suivis acoustiques ont été réalisés sur une semaine chaque mois, entre mai et octobre de chaque année. Au total, ce sont 836 nuits d'enregistrements ultrasonores qui ont été effectuées. Les suivis visuels, quant à eux, ont été réalisés au niveau des deux chiroducs et du tremplin vert, comptabilisant 104,5 heures de vidéos.

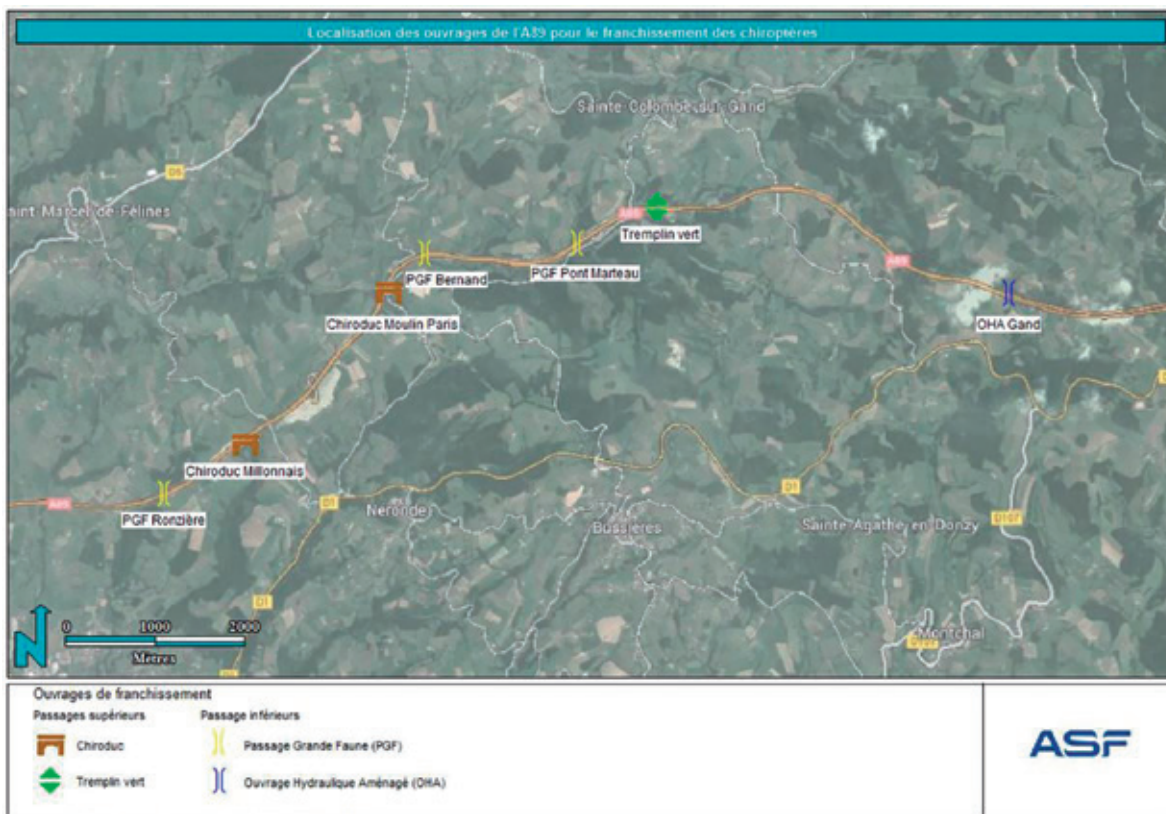


Figure 14 : Localisation des points d'enregistrement à la caméra thermique

Les résultats de ces suivis sont présentés et synthétisés dans les tableaux 3 et 4 suivants. Au terme de trois années de suivis acoustiques, il s'avère que l'ensemble des ouvrages aménagés sur l'A89 et leur environnement immédiat sont fréquentés par les chauves-souris (Tableau 3).

Tableau 3 : Synthèse du suivi chiroptères via suivis acoustiques réalisés en 2014, 2015 et 2017 sur les ouvrages de l'A89

Ouvrages	2014		2015		2017		Total sur les 3 années de suivi	
	Nb de contact	Proportion	Nb de contact	Proportion	Nb de contact	Proportion	Nb de contacts	Proportion
Chiroduc du Millonnais	5 649	3,63 %	2 491	3,16 %	11 373	3,11 %	19 513	3,25 %
Chiroduc de Moulin-Paris	17 758	11,41 %	9 895	12,54 %	48 142	13,16 %	75 795	12,63 %
OHA de Gand	55 284	35,54 %	21 604	27,37 %	118 310	32,34 %	195 198	32,52 %
PGF de Bernard	37 372	24,02 %	16 722	21,19 %	73 928	20,21 %	128 022	21,33 %
PGF de Pont Marteau	14 639	9,41 %	20 219	25,62 %	67 815	18,54 %	102 673	17,10 %
PGF de Ronzière	22 441	14,42 %	6 535	8,28 %	40 803	11,15 %	69 779	11,62 %
Tremplin vert	2 430	1,56 %	1 456	1,84 %	5 429	1,48 %	9 315	1,55 %
Total du nombre de contacts	155 573		78 922		365800		600 295	

Même si les ouvrages ne sont pas positionnés dans les mêmes configurations paysagères, l'une des hypothèses émises était que chaque ouvrage mis en place fonctionne de la même manière car ils répondent à une même question de rétablissement de connectivités écologiques. Autrement dit, que les chauves-souris sont indifférentes au type d'ouvrage mis en place pour leur permettre de traverser l'autoroute, sans risque de collision routière. S'il en était ainsi, chaque ouvrage concentrerait la même proportion de contacts de chauves-souris et, de ce fait, comptabiliserait à minima 14% de l'activité enregistrée (soit 1/7^e de l'activité observée), représentant un peu plus de 42% pour les ouvrages consacrés aux chiroptères (3/7^e) et environ 56% pour les ouvrages dits « inférieurs ».

Dans les faits, l'activité chiroptérologique observée tout au long des années de suivi, correspond aux activités attendues pour trois ouvrages sur sept et deux autres ouvrages approchant le seuil (un chiroduc et un PGF). Toutefois, les ouvrages spécifiques aux chiroptères (chiroduc et tremplin vert ensemble) ne comptabilisent que 17,43% de l'activité sur les 42% attendus. À l'inverse, les ouvrages inférieurs, eux, répondent bien aux objectifs attendus, en regroupant près de 82% de l'activité totale.

Tableau 4 : Synthèse du suivi chiroptères via suivis visuels réalisés en 2014, 2015 et 2017 sur les ouvrages supérieurs de l'A89

		Chiroduc du Millonnais			Chiroduc de Moulin Paris			Tremplin vert		
		2014	2015	2017	2014	2015	2017	2014	2015	2017
Nombre total d'individus observés		23	14	40	82	301	351	0	41	99
Traversées de chauves-souris	Nombre d'individus observés traversant sans utilisation de l'ouvrage	3	0	7	4	0	50	0	5	3
	Nombre d'individus observés traversant avec utilisation de l'ouvrage	1	3	2	27	15	10			

Concernant les trois années de suivis visuels à la caméra thermique au niveau des chiroducts, il est possible d'affirmer que les chauves-souris sont capables d'utiliser ce type d'ouvrage dédié (Tableau 4).

Concernant les chiroducts, sur les trois années de suivi, 50% des individus ayant traversé la route l'ont fait sans utiliser la structure (Tableau 4). Tout en écartant l'hypothèse qui aurait été que ces ouvrages spécifiques puissent repousser les chauves-souris, des améliorations de ces ouvrages pourraient être apportées afin d'optimiser leur perception par les chauves-souris, pour des effets directs à court terme. En

effet, la structure lisse de ces deux chiroducts n'est pas ce qui est le plus optimal en termes de rugosité et de réflexion des cris d'écholocation ; ce qui peut expliquer, en partie, la mauvaise perception par les chauves-souris. Par ailleurs, le positionnement des chiroducts pourrait jouer sur l'attractivité de ces ouvrages, c'est pourquoi ASF a voulu approfondir l'expérimentation.

Concernant le tremplin vert, l'on peut noter sa très faible utilisation pour franchir la route, au regard du nombre total d'individus observés : 5%. Les chauves-souris observées longeaient principalement les bords de l'autoroute.

Suivis spécifiques acoustiques de 2016

Afin de mieux comprendre les résultats des premiers suivis acoustiques et visuels classiques, ASF a engagé, avec Naturalia-Environnement, le Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (UMR7204-MNHN) et l'institut de zoologie (Université de Greifswald, Allemagne), un suivi scientifique des deux chiroduc.

Les questions posées ont été les suivantes : les chiroduc sont-ils attractifs ? et quels paramètres influencent les facteurs de réussite ? Afin de répondre à ces questions, des suivis acoustiques améliorés ont été mis en œuvre (Figure 15).

Au total, ce sont six paires d'enregistreurs acoustiques en stéréo (c-à-d, avec deux micros par enregistreur) qui ont été disposées aux abords des deux chiroduc de l'autoroute A89, sur cinq nuits consécutives durant l'été 2016. Une paire d'enregistreurs a été posée aux droits de chaque chiroduc ; une paire témoin dans les mêmes caractéristiques environnementales que les chiroduc ; une paire en zone agricole (réputée pour n'avoir que très peu d'activité chiroptérologique) ; et trois autres paires aux abords du chiroduc, le long de l'autoroute, là où avaient été identifiés les couloirs de déplacements de chauves-souris lors d'expertises chiroptérologique (Letscher, 2007; Letscher *et al.*, 2007). Toutes les paires ont été espacées de 50 mètres, afin d'éviter les doubles comptages de chauves-souris.

Les résultats de ces suivis démontrent que les chauves-souris peuvent franchir l'autoroute au niveau des chiroduc (paire « Overpass », Figure 15).

Il a été démontré, au travers de ces suivis, que l'utilisation des chiroduc est bien meilleure s'ils sont correctement placés au niveau d'un couloir de déplacement (i.e. corridor) identifié lors de l'étude d'impact. Ce qui est le cas

pour le chiroduc de Moulin-Paris, situé dans un boisement. Par ailleurs, l'attractivité de ce chiroduc, même correctement placé, reste faible en comparaison du nombre de traversées de chauves-souris comptabilisées dans le reste du corridor (paire « CR », Figure 15). En ce sens, il a été conclu que ces deux ouvrages sont une solution insuffisante pour rétablir la connectivité des habitats (Claireau *et al.*, 2019c).

Ces premières conclusions, affinant les premiers suivis réalisés, ont ainsi permis d'avoir les premiers retours d'expériences concrets sur ces ouvrages dédiés, quasi-inexistants jusqu'alors. Cette étude scientifique a ainsi mis en exergue la nécessité d'un protocole scientifique encore plus strict basé sur un protocole de « Avant/Après – Contrôle/Impact » (BACI design), afin de mieux connaître comment les sites sont fréquentés en amont de l'installation de ces ouvrages, tant sur la connectivité des habitats que sur la capacité des chiroduc à surélever la hauteur de vol des chauves-souris au-dessus de l'autoroute.

LE CHIRODUC DE L'A83

Cet ouvrage localisé sur la limite communale de Saint-Pompain (79) et de Benêt (85) sur l'autoroute A83 au niveau du PK 119,6 a fait l'objet de suivis acoustiques avec **une approche « avant/après – contrôle/impact »** (Figure 16) et visuels avec une approche « avant/après » (Figure 17). L'ouvrage a été suivi durant trois années, d'avril 2016 à mai 2018 : 25 jours sans le portique (année n) et 25 jours avec le portique et plantation (année n+1 et n+2) soit 50 jours au total.

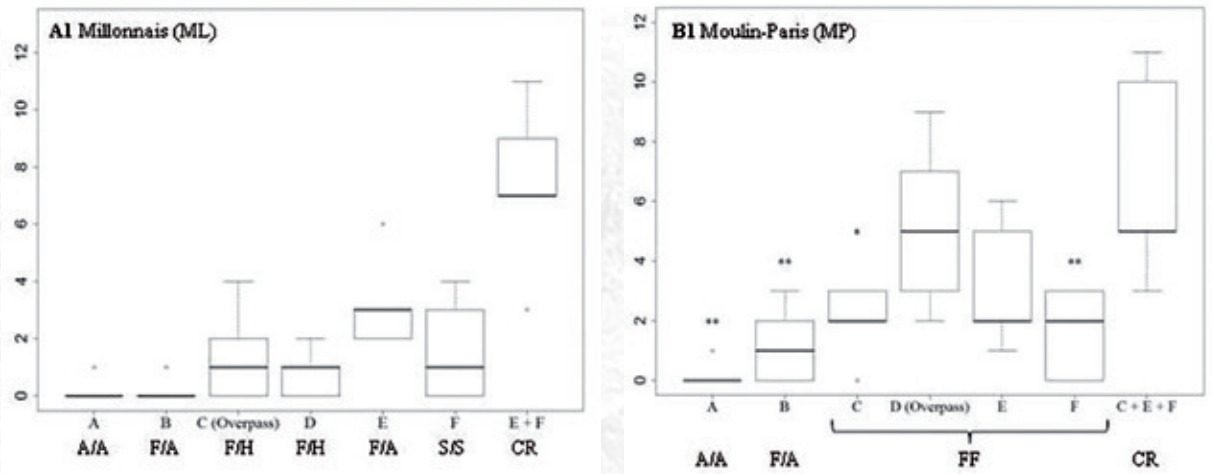


Figure 15: Nombre de franchissements de chauves-souris par nuit (données brutes), par paires d'enregistreurs acoustiques et par ouvrage dédié. Les types d'habitat sont spécifiés sous la lettre de chaque paire d'enregistreur (A: terres agricoles, F: forêts, H: haies, S: cours d'eau, CR: corridor). Les franchissements de chauves-souris au niveau de l'ouvrage dédié ont été utilisés comme référence (c.-à-d., intercept) dans chaque modèle (**, $P < 0,001$; **, $P < 0,01$; *, $P < 0,05$).

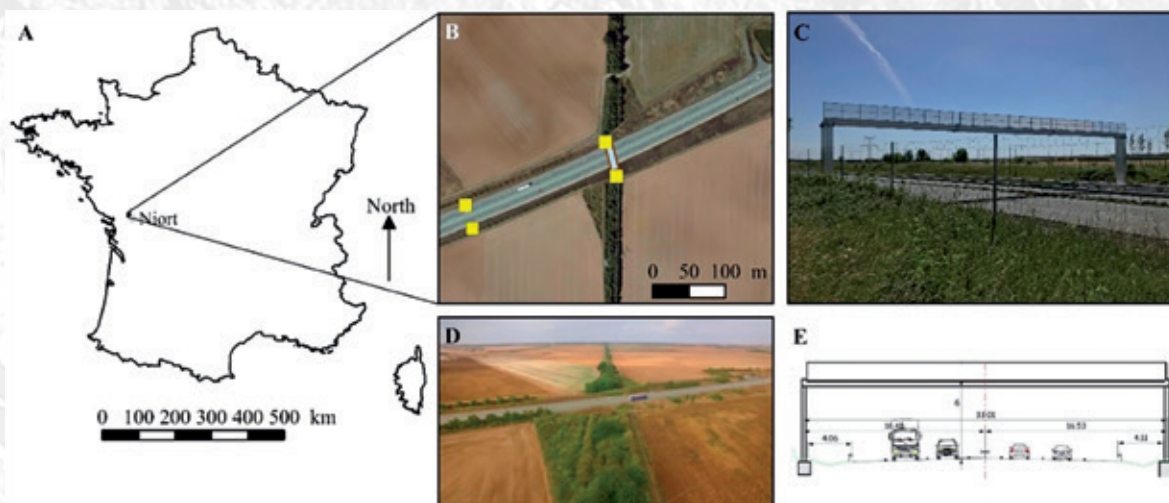


Figure 16: A. Localisation du site d'étude. B. Plan d'échantillonnage : enregistreurs acoustiques (carré jaune) et ouvrage dédié (ligne bleu). C. Photographie de l'ouvrage dédié. D. Photographie du site d'étude avant ouvrage dédié. E. Dessin technique de l'ouvrage dédié. (Source: Naturalia-Environnement/CESCO-MNHN/Greifswald University, Institut national de l'information géographique et forestière, Koox-production/Vinci-autoroutes).

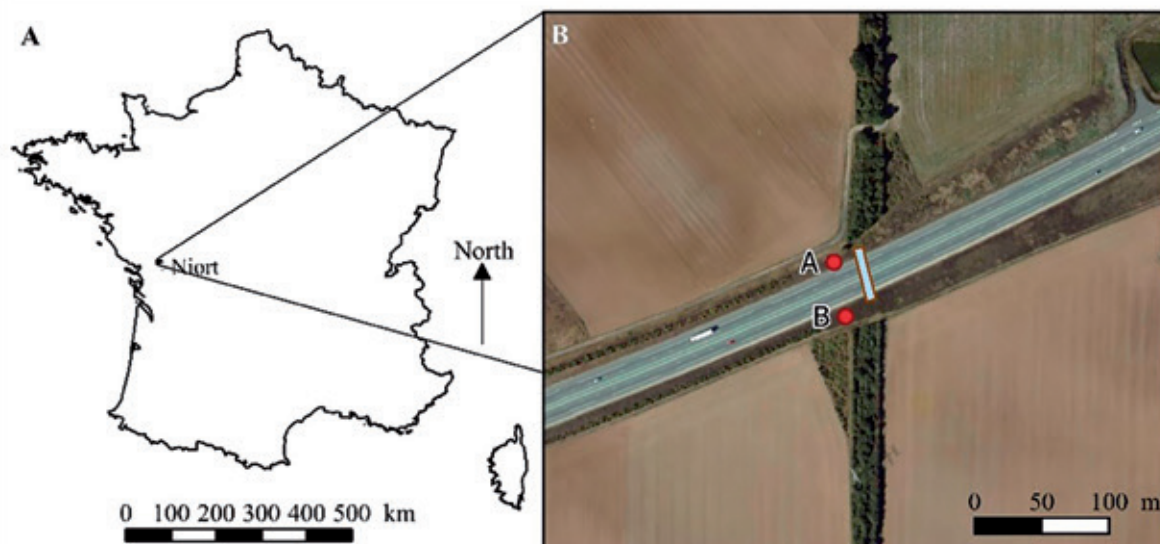


Figure 17: Localisation des points d'observation à la caméra thermique (Autoroute A83).

FICHE DE DÉTAILS DE L'OUVRAGE EXPÉRIMENTAL

L'ouvrage dédié s'apparente à un portique (type portique de signalisation) dont la longueur est de 31,5 m et d'une hauteur de six mètres. En lieu et place des panneaux de signalisation, une grille dont la maille est de 4,13 X 1,3 cm a été installée sur toute la longueur (Figure 18). Ce maillage spécifique permet aux chauves-souris de détecter la structure par cris d'écholocation. Par ailleurs, les poutres originales présentent des formes non-arrondies, permettant une meilleure détection par les chauves-souris. Vingt arbres de hauts-jets de cinq mètres de hauteur ont également été plantés (soit dix de part et d'autre de l'ouvrage dédié), dans la zone d'emprise foncière initialement dépourvue de ligneux, toujours dans le but de guider les chauves-souris au niveau de l'ouvrage dédié (Figure 19).



Figure 18 : Ouvrage dédié avec une grille dimensionnée pour une meilleure perception de cet ouvrage par les chauves-souris



Figure 19 : Plantation d'arbres de haut-jet au plus proche du portique

Les suivis acoustiques ont révélé 888 franchissements de route par des chauves-souris, détectés pour cinq espèces ou groupes d'espèces (Claireau *et al.*, 2019a). Pour l'ensemble des taxons étudiés :

- il a été détecté plus de passages de chauves-souris au niveau du traitement (lieu où a été installé l'ouvrage dédié) qu'au contrôle (résultat significatif);
- il a été trouvé aucune évolution de franchissement des chauves-souris entre les deux périodes (i.e., avant et après l'installation de l'ouvrage dédié) au niveau du contrôle (résultat non significatif);
- **il a été détecté une augmentation du nombre de passages de chauves-souris entre les deux périodes au niveau du traitement (résultat significatif)**. Le nombre de franchissement de la route par des chauves-souris est multiplié par un coefficient supérieur à trois.

Quant à l'analyse des comportements de vol des chauves-souris avant et après pose de l'ouvrage expérimental, le suivi a été réalisé sur environ 22 heures d'observation pour chacune des périodes (avant/après) qui sont réparties équitablement de mai 2016 à septembre 2018 et pour chacun des points d'observation (Figure 17).

Cette analyse du comportement de vol a été faite à partir de trajectoires retrouvées via l'utilisation d'un logiciel développé par le CESCO-MNHN, l'université de Greifswald et Naturalia-Environnement: le Bat Tracking Toolbox (Claireau *et al.*, 2021).

Avant la pose de l'ouvrage dédié, la hauteur de vol des chauves-souris était de 6,10 m (n=42), pour 9,3 m (n=226) après la pose de l'ouvrage dédié (**résultat significatif** après modélisation). De plus, la proportion de chauves-souris volant à risque de collision routière (< 5 m de hauteur (Berthinussen and Altringham, 2012)) est passée de 19,05 % à 0,89 % (Figure 20).

Selon Berthinussen & Altringham (2015): « pour qu'un ouvrage supérieur soit efficace, [les auteurs ont suggéré] qu'au moins 90 % des chauves-souris l'utilisent pour traverser la route en toute sécurité, et pas plus de 10 % d'entre-elles doivent courir un risque de mortalité par collision »; ce qui est le cas ici.

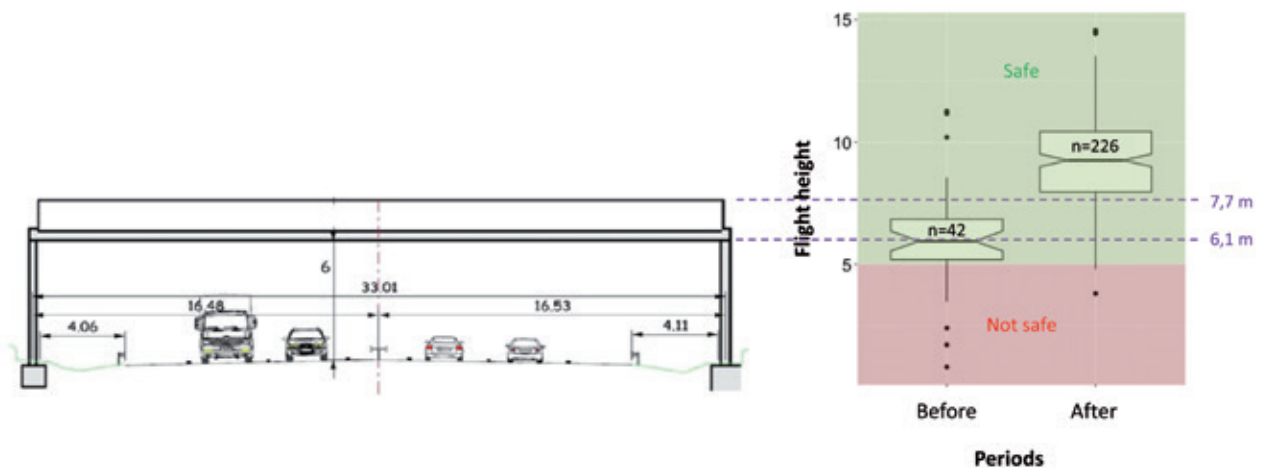


Figure 20: Hauteur de vol de chauve-souris par rapport à la route avant et après la mise en place de l'ouvrage dédié (n = 268 trajectoires; avant: 42 et après: 226 trajectoires)

En conclusion, cet ouvrage dédié, de type portique de signalisation, placé dans un corridor écologique peu large, accompagné d'une grille au maillage adapté à l'écholocation des chauves-souris et de plantations d'arbres de haut-jets :

- permet d'augmenter significativement le nombre de franchissements de chauves-souris au-dessus de la route (Claireau *et al.*, 2021);
- et permet de faire surélever la hauteur de vol des chauves-souris et faire franchir plus de 90 % d'entre-elles en toute sécurité (supérieure à cinq mètres).

LES CHIRODUCS : QUE RETENIR ?

Jusqu'alors, l'installation d'ouvrages dédiés pour améliorer le franchissement des chauves-souris au-dessus d'une autoroute était non-préconisée, notamment dû à la faible disponibilité de retours d'expériences et aux méthodologies non-adaptées mises en œuvre pour la réalisation de ces derniers.

VINCI-Autoroutes réseau ASF a contribué à l'amélioration des connaissances scientifiques et opérationnelles sur le sujet. En effet, ces nouveaux retours d'expériences, par les suivis des chiroducs et autres ouvrages dédiés sur les autoroutes A83, A64 et A89, permettent d'affirmer, dès lors que l'ouvrage dédié est correctement placé dans un corridor écologique, qu'il est utilisé par les Chiroptères. Cette utilisation est d'autant plus favorisée que le corridor écologique est étroit (e.g., une haie) ; à l'inverse, dans le cas de figure d'un ouvrage placé dans un corridor plus large (e.g., un boisement), ce dernier sera bien moins fréquenté.

Par ailleurs, la capacité de ces ouvrages à surélever la hauteur de vol des chauves-souris semble plus favorable lorsque la route est en déblais et que des plantations d'arbre de hautes tiges sont disposées de part et d'autre de l'ouvrage.

LES OUVRAGES DÉDIÉS : PRÉCONISATIONS DE SUIVI

Nos conclusions amènent à ce jour à considérer plusieurs facteurs afin de pouvoir évaluer l'intérêt de ces ouvrages dédiés.

En premier lieu, il est important de considérer plusieurs facteurs (Sołowczuk, 2019) et principalement ceux-ci :

- l'habitat autour de ces chiroducs : il semblerait à ce stade (sans pouvoir l'affirmer à 100%) que ces ouvrages sont inadaptés en milieu boisé. Les chauves-souris auraient majoritairement tendance à se rendre vers l'ouvrage dédié ; mais une bonne majorité, de façon aléatoire traversent la route ci-et-là dans le reste du boisement. En revanche, placé dans la continuité d'une haie, l'ouvrage dédié semble plus fonctionnel ;
- le design : aucune conclusion à ce sujet car non testé. Néanmoins, en fonction de l'endroit, notamment une haie, un ouvrage de type « portique standard de signalisation modifié » suffit ;
- la modification des couloirs de vols des chauves-souris à la suite de la construction de la route. En effet, la route, par la modification de la structuration du paysage alentour (remblai, plantation de haie, etc.), peut faire changer la route de vol initiale des chauves-souris ; ainsi, même si l'ouvrage dédié est installé au bon endroit selon l'état initial (avant route), il peut devenir non fonctionnel ;
- et la position de la route par rapport au paysage à proximité : en déblai ou en remblai. Une route en déblai par rapport à l'habitat adjacent semblerait favoriser une plus grande hauteur de vol des chauves-souris au-dessus de la route.

Il est attendu des ouvrages dédiés qu'ils soient fonctionnels. Ici la fonctionnalité a été évaluée sur deux critères :

- le rétablissement des connectivités écologiques : i.e., rétablir pour tout ou partie, la fonctionnalité du corridor rompu pour les chauves-souris ;
- et le maintien d'une hauteur de vol correcte hors risque de collision : i.e., cinq mètres de hauteur au-dessus de la route (Berthinussen and Altringham, 2012).

Les travaux réalisés permettent à ce jour, une préconisation de plan d'échantillonnage pour le suivi de ces ouvrages explicités ci-après :

- Lors de la construction d'une autoroute, le design BDA-CI (before-during-after / control-impact) :
 - ▶ Impact : localisation de l'ouvrage dédié
 - ▶ Control : choisir un corridor assez proche, similaire et subissant les mêmes influences pour permettre une comparaison avec le site impacté. Cela permet notamment d'intégrer dans les analyses les variations inter-saisons-annuelles
 - ▶ Before : avant tous travaux de construction
 - ▶ During : après construction de la route et avant installation de l'ouvrage dédié pour :
 - évaluer les hauteurs de vols lors de la rupture de continuité
 - évaluer s'il y eu des modifications de routes de vol des chauves-souris
 - ▶ After : évaluer si l'ouvrage dédié fait surélever la hauteur et rétablissement pour tout ou partie des connectivités
- Lors d'une requalification de route existante, le design BA-CI (before-after / control-impact) :
 - ▶ Impact : localisation de l'ouvrage dédié
 - ▶ Control : choisir un corridor assez proche, similaire et subissant les mêmes influences pour permettre une comparaison avec le site impacté. Cela permet notamment d'intégrer dans les analyses les variations inter-saisons-annuelles

- ▶ Before : avant installation de l'ouvrage dédié pour :
 - évaluer les hauteurs de vols lors de la rupture de continuité
 - évaluer s'il y eu des modifications de routes de vol des chauves-souris
- ▶ After : évaluer si l'ouvrage dédié fait surélever la hauteur et rétablissement pour tout ou partie des connectivités

Par ailleurs les méthodes de suivi qui peuvent être préconisées sont les suivantes :

- Rétablissement des connectivités écologiques : privilégier les études acoustiques. Le suivi de l'activité est à proscrire, car il faut pouvoir comptabiliser des nombres de traversées de route de chauves-souris :
 - ▶ pour les cas de grosse rupture de continuités écologiques : utiliser l'acoustique en 1D (soit 2 SM2Bat+ en stéréo de part et d'autre, donc 4 SM2Bat+ en stéréo avec le contrôle) (Claireau *et al.*, 2019c);
 - ▶ pour les cas de petite rupture de continuités écologiques : utiliser l'acoustique en 3D (soit l'utilisation d'une antenne de trajectographie ou de 4 micros synchronisés).
- Évaluation de la hauteur de vol :
 - ▶ pour les cas de grosse rupture de continuités écologiques : privilégier l'utilisation d'une caméra thermique/infrarouge. Les suivis visuels classiques sont à éviter car ils comportent de nombreux biais (de croyance, d'apprentissage, etc.);
 - ▶ pour les cas de petite rupture de continuités écologiques : utiliser l'acoustique en 3D.



© M.Briola - Regard du Vivant

“ dès lors que l’ouvrage dédié est correctement placé dans un corridor écologique... il est utilisé par les Chiroptères ”

BIBLIOGRAPHIE

- Altringham, J., Kerth, G., 2016.** Bats and Roads, in: Voigt, C.C., Kingston, T. (Eds.), *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer International Publishing, Cham, pp. 35–62. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9_3
- Berthinussen, A., Altringham, J., 2015.** Development of a cost-effective method for monitoring the effectiveness of mitigation for bats crossing linear transport infrastructures. *School of Biology, University of Leeds, Leeds LS2 9JT*.
- Berthinussen, A., Altringham, J., 2012.** Do Bat Gantries and Underpasses Help Bats Cross Roads Safely? *PLoS ONE* 7, e38775. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038775>
- 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., Pauwels, J., Barré, K., Machon, N., Allegrini, B., Puechmaille, S.J., Kerbiriou, C., 2019b.** Major roads have important negative effects on insectivorous bat activity. *Biological Conservation* 235, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.002>
- Claireau, F., Bas, Y., Puechmaille, S.J., Julien, J., Allegrini, B., Kerbiriou, C., 2019c.** 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>
- Claireau, F., Kerbiriou, C., Charton, F., Braga, C.D.A., Ferraille, T., Julien, J.-F., Machon, N., Allegrini, B., Puechmaille, S.J., Bas, Y., 2021.** Bat Overpasses Help Bats to Cross Roads Safely by Increasing Their Flight Height. *Acta Chiropterologica* 23. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2021.23.1.015>
- Letscher, R., 2007.** Expertise « Chiroptères » Dans Le Cadre Des Études Préalables à La Réalisation de l'A89 Tronçon Balbigny – Violay (Loire); 1ème Phase : Inventaire Estival Des Chiroptères. Centre Ornithologique Rhône-Alpes, Groupe Chiroptères Rhône-Alpes.
- Letscher, R., Prat, C., Vincent, S., 2007.** Expertise « Chiroptères » Dans Le Cadre Des Études Préalables à La Réalisation de l'A89 Tronçon Balbigny – Violay (Loire); 1ère Phase : Synthèse Des Données Existantes, Prospections Préliminaires.
- Naturalia-Environnement, 2019a.** Suivi de l'écopont de Peyreharasse (A64) - Volet Chiroptères - Rapport final.
- Naturalia-Environnement, 2019b.** Suivi de l'écopont de Boucaud (A89) - Volet Chiroptères - Rapport final.
- Pinaud, D., Claireau, F., Leuchtman, M., Kerbiriou, C., 2018.** Modelling landscape connectivity for greater horseshoe bat using an empirical quantification of resistance. *Journal of Applied Ecology* 55, 2600–2611. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13228>
- Sołowczuk, A., 2019.** Determinants of the Performance of Bat Gantries Installed to Carry Bat Commuting Routes over the S3 Expressway in Poland. *Symmetry* 11, 1022. <https://doi.org/10.3390/sym11081022>

VINCI Autoroutes

Direction Technique de l'Infrastructure
74, allée de Beauport
84278 Vedène cedex
Tél. : +33 4 90 32 73 54
Fax. : +33 4 90 32 91 08