

Guide technique n°1

Dispositifs d'aide au franchissement des routes



Conservation et gestion intégrée
de deux espèces de chauves-souris
Le Grand Rhinolophe et le Murin à oreilles échancrées
en région méditerranéenne française



**Programme LIFE + CHIRO MED
2010-2014**



Le LIFE+ CHIRO MED

est un LIFE*+ « Nature et Biodiversité* »
dédié spécialement à deux espèces
de chauves-souris :

Le Grand Rhinolophe et le Murin à oreilles échancrées



Sommaire

À SAVOIR SUR LES CHAUVES-SOURIS.....	2
LE GRAND RHINOLOPHE.....	4
LE MURIN À OREILLES ÉCHANCRÉES.....	5
LE PROGRAMME EUROPÉEN LIFE+ CHIRO MED (2010 – 2014).....	6
INFRASTRUCTURES ET CHIROPTRÈS	7
Politiques publiques en faveur de la biodiversité	7
Trame Verte et Bleue	7
Trame « noire »	8
Impacts des infrastructures routières sur les Chiroptrès	9
Doctrine nationale : éviter, réduire, compenser	10
Objectifs du programme LIFE+ CHIRO MED	10
ÉTUDES PRÉPARATOIRES	12
Mortalité routière	13
Identification des points noirs routiers	16
Méthodes mises en œuvre	16
Résultats	18
Description des comportements des deux espèces cibles	22
Comparaison des comportements de vol des deux espèces	22
Utilisation des trouées arborées	24
LES DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX D'AIDE AU FRANCHISSEMENT DES ROUTES	26
Mise en place d'équipements d'avertissement sonore	26
Acteurs à solliciter	26
Choix du dispositif	26
Cas de la RD570	30
Cas de la RD572	34
Coût des dispositifs	35
Bilan et perspectives d'améliorations	36
Mise en place d'un corridor expérimental sur la RN 113	37
Acteurs à solliciter	37
Choix du site expérimental	38
Configuration du corridor expérimental	39
Conditions d'exploitation routière en présence du dispositif expérimental	41
Contraintes lors de l'étude	41
Évaluation du dispositif	43
Coût du dispositif expérimental	45
Évaluation du coût d'un corridor définitif	45
Bilan et perspectives d'améliorations	46
CONCLUSION	47
Mémos	48
GLOSSAIRE	50
BIBLIOGRAPHIE	54

À SAVOIR SUR LES CHAUVES-SOURIS

Les chauves-souris, mammifères témoins de l'état de la biodiversité

Par leur position en bout de chaîne alimentaire, les Chiroptères représentent de bons indicateurs de l'état écologique des milieux naturels. Ils sont en effet directement impactés par l'altération des écosystèmes* dans lesquels ils vivent. Ce sont des espèces* porte-drapeau dont la conservation fait intervenir de nombreux sujets où l'homme a toute sa place.

Au cours du XX^{ème} siècle, les effectifs des 34 espèces recensées sur le territoire de France métropolitaine ont fortement décliné. Leur régression rapide suscite, depuis quelques décennies, un intérêt chez les naturalistes et les scientifiques qui cherchent à mieux comprendre les contraintes qui pèsent sur elles. L'amélioration des connaissances sur ces contraintes ainsi que sur la biologie et l'écologie des chauves-souris a permis de proposer des moyens pour les protéger. Ces moyens sont mis en œuvre par un accompagnement au cas par cas ou dans le cadre de programmes plus larges (les Plans Régionaux d'Actions en faveur des Chiroptères) ; et donnent, depuis quelques années, des résultats positifs encourageants et confortant la poursuite des recherches scientifiques et techniques

Une forte concentration d'espèces dans le sud de la France

La France métropolitaine héberge 34 des 41 espèces de chauves-souris présentes en Europe, dont un tiers des espèces reste menacé ou quasi menacé¹ du fait de l'altération de leur environnement. Le pourtour méditerranéen, la vallée du Rhône et les Alpes présentent la plus grande diversité. À titre d'exemple, les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon abritent 30 espèces. Mais ces zones géographiques ont aussi la plus forte proportion d'espèces menacées d'extinction au niveau national. La responsabilité de ces régions en termes de conservation est donc primordiale.

Les services rendus* à l'homme, voire insoupçonnés, des chauves-souris

- Un enjeu économique et sanitaire : Toutes les espèces de chauves-souris européennes sont insectivores. Elles dévorent durant les nuits des tonnes d'insectes dont certains ravageurs de cultures². Elles jouent donc un rôle de régulateur naturel et gratuit des populations d'insectes et contribuent ainsi à réduire l'achat et l'utilisation de pesticides. Une étude scientifique a ainsi pu estimer l'économie pour l'agriculture américaine pouvant atteindre 53 milliards de dollars³.

- Un engrais naturel : Le guano des chauves-souris est un engrais naturel puissant en raison de ses fortes teneurs en éléments nutritifs.

- Des recherches scientifiques récentes vers des enjeux médicaux futurs : La morphologie et la physiologie particulières des chauves-souris sont étudiées dans de nombreux champs de recherche médicale pour de nouvelles technologies d'exploration du corps par imagerie et l'apport de solutions sur les épidémies virales et les cancers⁴.



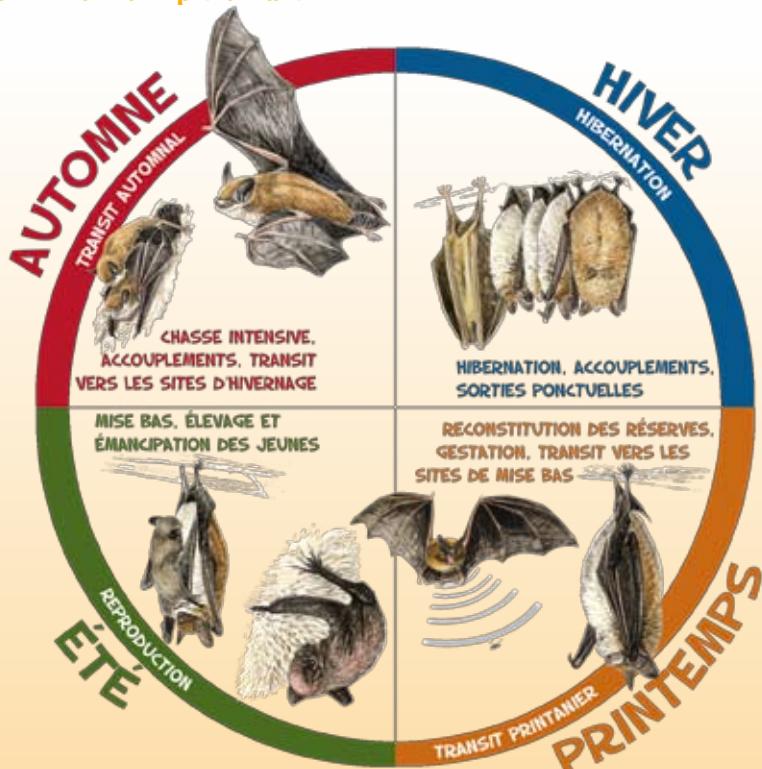
Toutes les chauves-souris sont protégées par la loi à travers :

- Le droit international par la convention de Bonn et la convention de Berne signées en 1979 et ratifiées par la France en 1990. Et par l'accord « EUROBATS* », né en 1991 et ratifié par 31 pays, qui engage les états signataires à mettre en place une protection concertée des populations de chauves-souris du continent européen.

- Le droit de l'Union Européenne avec l'annexe IV de la Directive « Habitat-Faune-Flore »* (92/43/CEE) du 21 mai 1992 qui indique que toutes les espèces de chauves-souris nécessitent une protection stricte. Douze espèces présentes en France sont inscrites à l'annexe II de cette directive qui liste les espèces d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Ainsi, les populations de Chiroptères, et notamment leurs gîtes et leurs habitats*, ont été pris en compte dans la désignation des sites du réseau européen Natura 2000.

- Le droit national français avec l'article L.411-1 du Code de l'environnement et par l'arrêté ministériel du 23 avril 2007 (JORF du 10/05/2007) qui fixe la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. Cette nouvelle législation protège désormais toutes les espèces de Chiroptères décrites actuellement sur le territoire métropolitain de façon nominative ainsi que la protection des sites de reproduction et des aires de repos des espèces nécessaires au bon accomplissement de leurs cycles biologiques.

Un cycle de vie bien particulier



¹ Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) et le Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN). 2009.

² JAY M., BUREAU DE RONCÉ C., RICARD J.-M., GARCIN A., MANDRIN J.-F., LAVIGNE C., BOUVIER J.-C., TUPINIER Y. & S. PUECHMAILLE. 2012.

Biodiversité fonctionnelle en verger de pommier : Les chauves-souris consomment-elles des ravageurs ? *Infos CTIFL*, 286 : 28-34.

³ BOYLES J. G., CRYAN P. M., McCACKEN G. F. & T. H. KUNZ. 2011. Economic importance of bats in agriculture, *Science*, vol. 332 (6025) : 41-42.

⁴ ZHANG G. et al. 2013. Comparative analysis of bats genomes provides insight into the evolution of flight and immunity. *Science*, 339 (6118) : 456-460.

LE GRAND RHINOLOPHE

Le Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) est le plus grand des rhinolophes d'Europe. La principale caractéristique de cette espèce est la morphologie de son nez, orné d'un feuillet en forme de fer à cheval indispensable à l'écholocation.



Reproduction : Les femelles atteignent leur maturité sexuelle à l'âge de 2-3 ans. Leur accouplement, en automne, s'accompagne par un stockage hivernal des spermatozoïdes chez les femelles. L'ovulation s'effectue au retour des beaux jours. Puis leur gestation dure entre 6 et 8 semaines, avec des maxima de 10 semaines quand le printemps est particulièrement défavorable. De mi-juin à fin juillet, elles mettent au monde un jeune par an qui maîtrise le vol entre 19 et 30 jours et est autonome à 45 jours.

Déplacement / Migration : Espèce sédentaire, le Grand Rhinolophe se déplace rarement de plus de 100 km entre un gîte de reproduction* et un gîte d'hibernation* en passant par un ou plusieurs gîtes de transit* (déplacement maximum connu : 320 km).



Gîtes : En été, les femelles s'installent en petits groupes dans des cavités chaudes (21-30°C) et souvent dans le bâti (granges, greniers, caves chaudes, toitures d'églises, blockhaus...) abandonné, entretenu ou neuf, pour mettre bas et élever leur jeune jusqu'à l'émancipation. Les mâles estivent généralement en solitaire. En hiver, l'espèce hiberne vers octobre-novembre jusqu'à avril dans des cavités souterraines naturelles ou artificielles (galeries de mines, carrières, grottes ou grandes caves) qui présentent une obscurité totale, une température comprise entre 5°C et 12°C, une hygrométrie à saturation, une ventilation légère et une tranquillité absolue. Ces chauves-souris sont toujours pendues par les pieds (caractéristique des Rhinolophidae).

Terrains de chasse : Essentiellement les boisements (ripisylves, forêts de feuillus) et les pâturages entourés de haies. Les haies sont très importantes pour leurs ressources en proies d'une part et surtout comme corridors de déplacement d'autre part (cf. guide technique n°5 « Éléments de gestion conservatoire des territoires »).

Régime alimentaire : En général, l'espèce se nourrit de Coléoptères coprophages (hannetons et bousiers) et de Lépidoptères nocturnes, mais peut aussi consommer des Orthoptères (sauterelles, criquets), des Trichoptères, des mouches, des araignées, etc. (cf. guide technique n°5 « Éléments de gestion conservatoire des territoires »).

Aire de répartition : Les populations se sont fortement réduites dans le nord-ouest de l'Europe au cours du dernier siècle allant parfois jusqu'à leur disparition (Belgique, Pays-Bas, Malte). **L'épicentre de la répartition** européenne est dans le **bassin méditerranéen**.

Source carte : IUCN (International Union for Conservation of Nature) 2008.
Rhinolophus ferrumequinum. In : IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species.



LE MURIN À OREILLES ÉCHANCRÉES

Le Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*) est de taille moyenne avec une nette échancrure, presque à angle droit, sur le bord extérieur de l'oreille brune qui lui vaut son nom. Son pelage est dense d'apparence laineuse, roux sur le dos, plus clair sur le ventre (peu de contraste).



Déplacement / Migration : Espèce largement sédentaire. Les distances parcourues entre gîtes d'été et d'hiver sont en général inférieures à 40 km (déplacement maximum connu : 105 km).

Gîtes : Les gîtes de reproduction sont principalement des greniers ou des combles mais peuvent être des granges, caves, ou blockhaus comme en Camargue, tempérés (23-27°C). Les femelles s'y regroupent en essaims de 50 à 600 individus. Les mâles estivent généralement en solitaire. En hiver, l'espèce hiberne dans des grottes, carrières, mines et des caves de grande dimension avec une obscurité totale, une hygrométrie proche de la saturation, une température inférieure à 12°C et une ventilation presque nulle.

Terrains de chasse : Essentiellement des milieux forestiers ou boisés, feuillus ou mixtes. Mais l'espèce exploite aussi des jardins et parcs, de grands arbres isolés ou de petits îlots de végétation, des étables, des milieux pastoraux, des bocages, au-dessus des rivières et en méditerranée également au-dessus des oliveraies traditionnelles, des forêts de résineux et des vergers (cf. guide technique n°5 « Éléments de gestion conservatoire des territoires »).

Régime alimentaire : Très spécialisé, il est composé majoritairement d'araignées, d'opiliens et de mouches, complété par des Coléoptères, Névroptères et Hémiptères. En Camargue, on rencontre une particularité locale puisqu'il est composé essentiellement d'araignées et d'Odonates, des ressources alimentaires abondantes sur le territoire (cf. guide technique n°5 « Éléments de gestion conservatoire des territoires »).



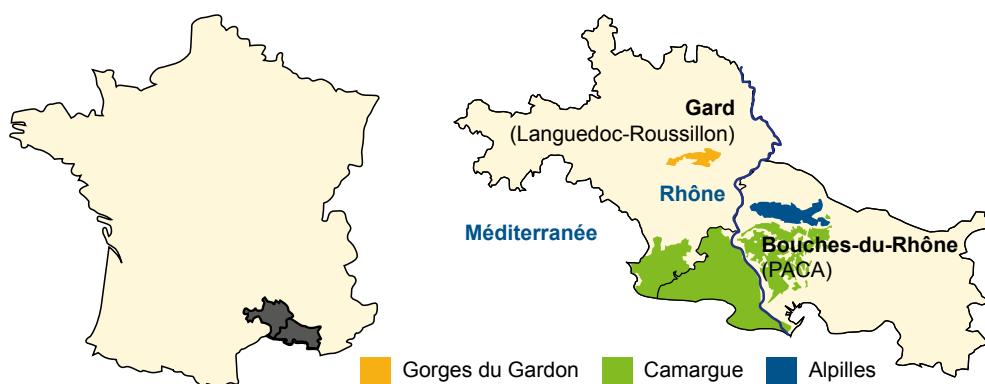
Aire de répartition : L'espèce montre une répartition très hétérogène sur la totalité de son aire de distribution. En France il apparaît de fortes disparités en effectifs selon la région. Le **sud de la France** compte de faibles effectifs hivernaux mais de **fortes populations estivales**.



Source carte : IUCN (International Union for Conservation of Nature) 2008.
Myotis emarginatus. In : IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species.

Le programme LIFE+ CHIRO MED (www.lifechiromed.fr) porte sur la conservation et la gestion intégrée de deux espèces de chauves-souris, le Grand Rhinolophe et le Murin à oreilles échancrées, en région méditerranéenne française. Ce programme a pour objectif de comprendre et de préserver chacun des compartiments biologiques nécessaires au cycle annuel des populations locales des deux espèces visées. La forte anthropisation des territoires cibles et les interactions entre ces espèces et l'Homme rend indispensable une mise en œuvre d'actions menées en concertation et au plus près des activités humaines.

Le programme porte sur trois secteurs géographiques, que sont la **Camargue**, le **Massif des Alpilles** et les **gorges du Gardon**, et sur huit sites d'intérêt communautaire, dits SIC. En effet, en région méditerranéenne française, les principales populations des deux espèces ciblées par le programme sont concentrées dans ces trois territoires. En hiver, ces espèces entrent en léthargie dans les cavités des gorges du Gardon et des Alpilles, tandis qu'en été, elles viennent se nourrir et se reproduire en Camargue.



Le programme permet, à travers 29 actions, d'unir les compétences techniques et territoriales, en vue de pallier les **cinq menaces majeures pesant sur ces deux espèces** :

- ✓ **Menace 1** : la perte et l'altération des gîtes de reproduction et d'hibernation.
- ✓ **Menace 2** : la perte et l'altération des habitats naturels utilisés comme sites d'alimentation (terrains de chasse) et corridors de déplacements.
- ✓ **Menace 3** : la diminution des ressources alimentaires liée à l'utilisation de pesticides et à la modification des pratiques agro-pastorales.
- ✓ **Menace 4** : la mortalité routière.
- ✓ **Menace 5** : la méconnaissance des chauves-souris qui engendre des destructions involontaires.

*Remédier à ces menaces pour ces deux espèces permet aussi la protection d'un grand nombre d'autres espèces et de leurs habitats.
On parle alors d'espèces « parapluie ».*

Politiques publiques en faveur de la biodiversité

Trame Verte et Bleue

La Trame Verte et Bleue (TVB - www.trameverteetbleue.fr) est une mesure phare du Grenelle de l'environnement (I et II) dont l'objectif est d'enrayer la perte de biodiversité. Cet objectif est également inscrit dans les engagements politiques de la France, notamment dans le cadre de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité 2011-2020 (SNB - www.developpement-durable.gouv.fr/La-Strategie-nationale-pour-la-.html).

La restauration des continuités écologiques est essentielle

Elle suppose de mettre en œuvre des moyens pour initier, favoriser et faciliter le rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit par une activité humaine. Ces travaux de restauration peuvent être :

- Maintenir les structures paysagères existantes (haies, arbres, autre structure),
- replanter des haies,
- supprimer les obstacles à la continuité écologique,
- créer des corridors artificiels en dernier recours.

L'idée centrale de la TVB est de créer une « infrastructure écologique », permettant d'assurer la communication entre les lieux de vie et de reproduction des espèces (à savoir des réservoirs de biodiversité). Son principe repose sur le maintien et la restauration des continuités écologiques (les corridors*) entre ces réservoirs dans le cadre d'un schéma régional de cohérence écologique (SRCE)*. Ce schéma est basé sur un diagnostic partagé des enjeux de préservation et de remise en état des continuités écologiques et est cartographié au 1/100 000^{ème}. La trame verte correspond aux continuités végétales, la trame bleue aux continuités des cours d'eau.

Linéaire de haies, proche d'un gîte d'une colonie (Camargue), emprunté par les chauves-souris.



Trame « noire »

À l'image des trames verte et bleue, le maillage d'espaces dépourvus d'éclairages par rapport aux espaces éclairés artificiellement constitue la trame noire.

Comme beaucoup d'espèces, les Chiroptères sont actifs la nuit uniquement. Le développement des éclairages artificiels induit des modifications comportementales sur ces mammifères. Ces modifications peuvent être temporairement profitables pour des espèces peu lucifuges comme les pipistrelles qui viennent chasser autour des lampadaires où sont attirés les insectes. Il n'en reste pas moins que la ressource en proies s'amenuise du fait de ces éclairages. En revanche, chez les espèces lucifuges comme les rhinolophes, les comportements correspondent à une phototaxie négative, c'est-à-dire une répulsion à la lumière. Elles fuient la lumière notamment pour rester invisibles à leurs prédateurs.



Alignement de lampadaires créant un effet barrière. © E. Cosson

La présence d'éclairages peut ainsi conduire des chauves-souris à abandonner une route de vol et les terrains de chasse associés, réduisant alors le domaine vital des individus et de la colonie. **La lumière est donc une infrastructure** en soi qui peut s'avérer infranchissable pour certaines espèces. Les chauves-souris semblent systématiquement l'éviter quand elles ne chassent pas. Les éclairages des infrastructures (bâtiments, routes, etc.) et la lumière des phares peuvent ainsi former de véritables barrières pour ces espèces et avoir des impacts importants sur les populations de Chiroptères (voir encadré ci-contre).

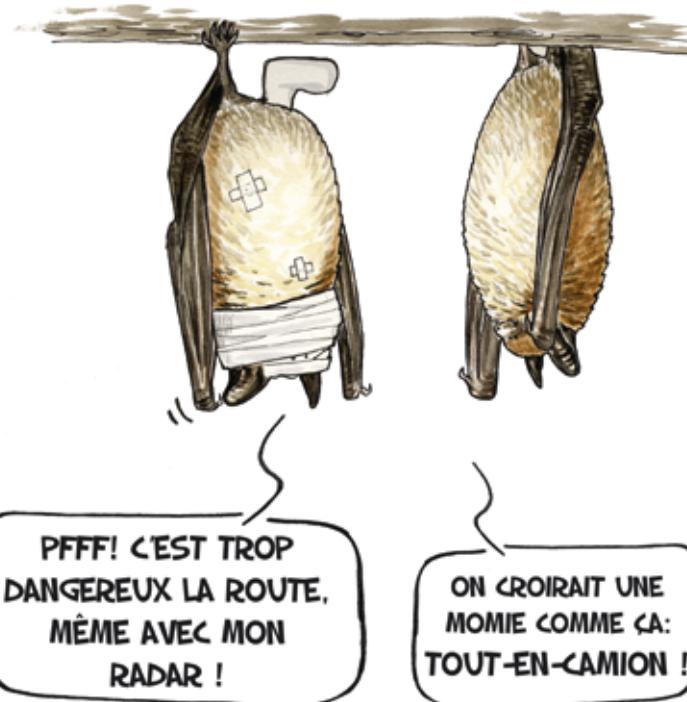
La prise en compte de cette problématique par les législateurs est très récente. Elle se traduit par **les lois Grenelle 1 (art. 41) en 2009 et Grenelle 2 (art. 173) en 2010** qui mettent en évidence la nécessité de prendre en compte les impacts des émissions de lumière artificielle sur le paysage et sur l'environnement ; et imposent de prévenir ou limiter les dangers ou troubles excessifs à l'environnement causés par ces lumières. Ces prescriptions ont été introduites au Code de l'environnement par l'article L583. Selon **le décret n°2011-831 du 12 juillet 2011** relatif à la prévention et à la limitation des nuisances lumineuses, des mesures plus restrictives sont prévues dans les espaces naturels protégés : parcs nationaux, réserves naturelles, parcs naturels régionaux, parcs naturels marins, sites Natura 2000, afin de limiter l'ensemble des conséquences des nuisances lumineuses portant atteinte à la biodiversité. En complément, **l'arrêté du 30 janvier 2013** (entré en vigueur le 1er juillet 2013) réglemente le fonctionnement des dispositifs d'éclairages des bâtiments non résidentiels afin de réduire les consommations d'énergie et l'empreinte de l'éclairage artificiel sur l'environnement nocturne.

La thématique de la pollution lumineuse n'a pas été directement étudiée dans le cadre du Programme LIFE+ CHIRO MED mais c'est un facteur présent localement dont il a été tenu compte pour la mise en œuvre des actions.

La pollution lumineuse, un outil pour protéger les chauves-souris ?
Des études sont en cours pour montrer le côté « répulsif » des éclairages artificiels et utiliser ce phénomène pour créer un effet barrière en bord de route au niveau des zones à fort risque de collision routière afin de dévier les chauves-souris vers des zones de franchissement plus sécurisées.

Impacts des infrastructures routières sur les Chiroptères

Les infrastructures de transport de passagers et de marchandises (routes, voies ferrées...) assurent le fonctionnement et le développement économique et social du pays mais cette multiplicité des réseaux de transport a pour conséquence la fragmentation des espaces naturels*.



I Les infrastructures de transport causent trois grands problèmes pour les Chiroptères

- **La rupture des axes de vols** : les infrastructures linéaires constituent des barrières qui entraînent la fragmentation des populations.
- **La perte de terrains de chasse et de gîtes** liée à la destruction directe de la végétation et des ressources alimentaires associées (insectes) à l'endroit de l'infrastructure ou à l'abandon de certains terrains de chasse devenus inaccessibles.
- **La destruction directe des chauves-souris** par collision avec les véhicules.

Doctrine nationale : éviter, réduire, compenser

Dans le cadre des procédures administratives d'autorisation ou en l'absence, à la demande du préfet de région, tout maître d'ouvrage* doit veiller à concevoir un projet de moindre impact sur l'environnement. À ce titre, la priorité est d'**éviter** les impacts environnementaux majeurs. En second lieu, si les impacts négatifs sur l'environnement n'ont pu être pleinement évités, il s'agit de les **réduire**, notamment par la mobilisation de solutions techniques de minimisation de l'impact à un coût raisonnable⁵, pour ne plus constituer que des impacts négatifs résiduels les plus faibles possibles. Enfin, si des impacts négatifs significatifs subsistent, il s'agit d'envisager la façon la plus appropriée d'assurer la **compensation** de ces impacts par la mise en œuvre d'une contrepartie au moins équivalente, faisable et efficace à une échelle de territoire pertinente.

La mise en œuvre de cette compensation n'élimine pas l'atteinte portée aux Chiroptères et aux habitats* liés à la bonne réalisation de leur cycle de vie (gîtes, corridors, terrains de chasse) par le projet. Ainsi, selon les articles L411-1 et 2 du Code de l'environnement, une **procédure dérogatoire**, engagée auprès du Conseil National de Protection de la Nature (CNPN), reste indispensable pour envisager la poursuite du projet.

EN BREF



Une infrastructure de transport est une cause de mortalité majeure, de consommation d'espaces naturels mais aussi une véritable barrière qui inhibe les mouvements des mammifères, y compris pour des chauves-souris qui ne se déplacent pas au sol.

Les projets de construction de nouvelles routes, autoroutes, voies ferrées nécessitent clairement des études sur les habitats (gîtes, zones de chasse, corridors), les populations en présence et leurs échanges afin de connaître et de préserver les chauves-souris locales et d'estimer les impacts de ces aménagements sur l'équilibre de l'écosystème affecté.

Le maître d'ouvrage devra adapter au mieux son projet au contexte environnemental pour en limiter les effets sur la biodiversité et le cas échéant proposer des mesures adaptées au maintien et au développement des populations de Chiroptères subissant ses effets.

Objectifs du programme LIFE+ CHIRO MED

Le programme vise à **disposer d'outils innovants et efficaces permettant le franchissement d'infrastructures par les Chiroptères en toute sécurité** et plus globalement à participer à l'amélioration de la connectivité écologique* entre les différents compartiments de vie des chauves-souris (gîtes de reproduction, de transit, d'hibernation, d'accouplement et terrains de chasse).

⁵ La loi ne précise pas ce coût mais la Doctrine Nationale (Doctrine ERC - http://www.developpement-durable.gouv.fr/Doctrine-eviter-reduire-et_28438.html), qui est une interprétation de la loi, indique qu'il faut mettre en œuvre des solutions techniques de minimisation des impacts à un coût raisonnable.

Ce guide rapporte les expériences acquises au cours du programme LIFE+ CHIRO MED dans le cadre des actions visant à réduire la mortalité routière (Menace 4) et à améliorer la transparence des infrastructures routières vis-à-vis des Chiroptères (Menaces 2 et 5).

Les actions du programme LIFE+ CHIRO MED ont été orientées selon les axes suivants :

Objectifs	Actions liées
1 - Quelle est la mortalité effective et réelle sur le secteur d'étude ?	 A6
2 - Peut-on identifier des zones de conflits routes / Chiroptères ?	 A6
3 - Quels sont les comportements des Chiroptères au niveau de ces points de conflits ?	 A6
4 - Quels dispositifs innovants peuvent être aménagés pour résorber ces points de conflits ?	 C3
5 - Quels sont les comportements des Chiroptères en présence des dispositifs expérimentaux ?	 E5



POUR PLUS D'INFOS

Le lecteur pourra se référer aux guides SETRA « **Routes et Chiroptères** » pour plus d'informations sur les mesures d'atténuation des impacts des infrastructures routières à mettre en œuvre vis-à-vis des Chiroptères.

Pour exemple :

- éviter les périodes de grande sensibilité des chauves-souris,
- éviter de créer des « pièges » à chauves-souris tels qu'une haie ou un boisement qui s'achèvent en bord de route ,
- concevoir un projet en intégrant le réseau de haies/boisements et les ripisylves de manière à améliorer la perméabilité de l'infrastructure,
- prévoir des paravents ou claustres* dans les virages pour éviter la diffusion de la lumière des phares vers les milieux naturels alentour,
- etc.

ÉTUDES PRÉPARATOIRES

Le secteur **Camargue - Crau - Alpilles - Gardon** est une zone alliant une grande diversité de milieux naturels et d'espèces ainsi qu'une forte pression d'urbanisation et de développement des voies de communication. Cette dynamique a conduit à la réalisation d'un réseau dense de routes et de voies ferrées et à l'apparition d'un tissu urbain diffus et très étendu.

Cette situation provoque aujourd'hui un morcellement du paysage qui entrave le cycle biologique de beaucoup d'espèces végétales et animales, et notamment des Chiroptères.

80 000 véhicules par jour

Tronçon d'étude de 14 km

(Saint-Martin-de-Crau / Arles)



La RN 113, qui relie Arles à Saint-Martin-de-Crau, doublée dans sa partie sud par une route départementale et dans sa partie nord par la voie ferrée et la RN 453, représente une barrière importante pour les populations.

À ce jour, la RN 113 n'a fait l'objet d'aucun dispositif de franchissement routier visant à rétablir les continuités écologiques entre le nord et le sud. © I. Biren & J. Namy

Par ailleurs, le projet de contournement autoroutier d'Arles (A54) envisagé d'ici à 2017, se fera pour moitié (~13 km) en tracé neuf au sud de l'agglomération arlésienne créant une discontinuité supplémentaire entre la Camargue et les Alpilles ; l'autre moitié du projet étant constitué d'un aménagement sur place de la RN113 actuelle au niveau de Saint-Martin-de-Crau (requalification du réseau).

Les travaux du programme LIFE+ CHIRO MED ont d'ores et déjà permis aux maîtres d'ouvrage de mieux évaluer les effets de leurs infrastructures et d'intégrer des solutions nouvelles à la réalisation de l'ensemble du projet d'A54. En effet, une étude environnementale supplémentaire a été programmée pour compléter le dossier d'études préalables en faveur de la faune en général, et des Chiroptères en particulier (propositions paysagères, aménagements d'ouvrages, passerelles dédiées, etc.). Sur le tronçon en requalification de la RN113, ce sont plus de 6 aménagements supplémentaires sur OA qui ont été projetés.

L'état actuel des connaissances en Camargue et dans les Alpilles révèle un effectif de **800 grands rhinolophes** et de **1500 murins à oreilles échancrées** en période de reproduction avant mise bas, répartis en 11 colonies, soit environ **1/4 de la population reproductrice de la région PACA**.

Ces deux espèces de Chiroptères constituent un pool reproducteur majeur pour les populations des régions limitrophes. La conservation des populations du secteur Camargue-Crau-Alpilles-Gardon est donc d'intérêt multirégional pour sa probable capacité à soutenir d'autres populations limitrophes.

Mortalité routière

Bien que difficile à estimer, la destruction directe par collision avec un véhicule apparaît comme l'effet des routes le plus visible sur la faune.

Plusieurs auteurs considèrent que la mortalité routière est fortement sous-estimée. En effet, les chauves-souris retrouvées lors des recherches de cadavres au bord des routes, ne représentent qu'une faible proportion des animaux effectivement tués. Par leur petite taille, les chauves-souris restent en effet accrochées aux voitures ou sont projetées en dehors des abords de la chaussée. Enfin, les charognards (rapaces, Corvidés, petits carnivores mais surtout fourmis et guêpes sur la zone d'étude) prélèvent un pourcentage significatif des chauves-souris percutées de nuit. Les secteurs où se concentrent les cadavres sur les axes routiers ou ferroviaires sont identifiés comme des zones de conflit ou « points noirs ». Les jeunes chauves-souris, au vol moins expérimenté, seraient bien souvent les plus concernées. Localement, au sein d'un site protégé du massif des Alpilles, les populations hibernantes de Grand Rhinolophe se sont effondrées après à la construction de l'A54 en Crau et ce malgré la protection stricte et efficace du principal site hébergeant initialement 400 individus en 1989 et moins de 100 actuellement. Il n'existe pas de population en reproduction dans les Alpilles et les analyses génétiques prouvent le lien étroit entre les animaux de Camargue en été et ceux des Alpilles en hiver. Bien que la relation de cause à effet ne soit plus démontrable, elle reste fortement probable et cohérente avec ce qui est observé pour les Rhinolophidés vis-à-vis de la mortalité routière.



Ramassage de cadavres de Chiroptères (mortalité routière). © I. Biren & J. Namy

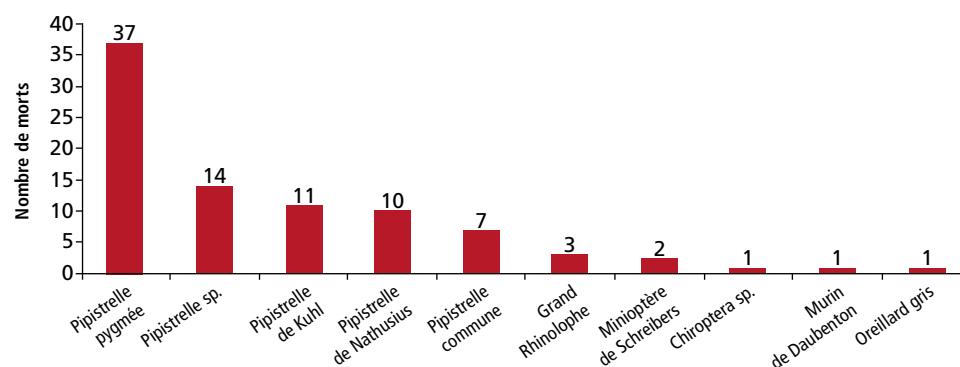
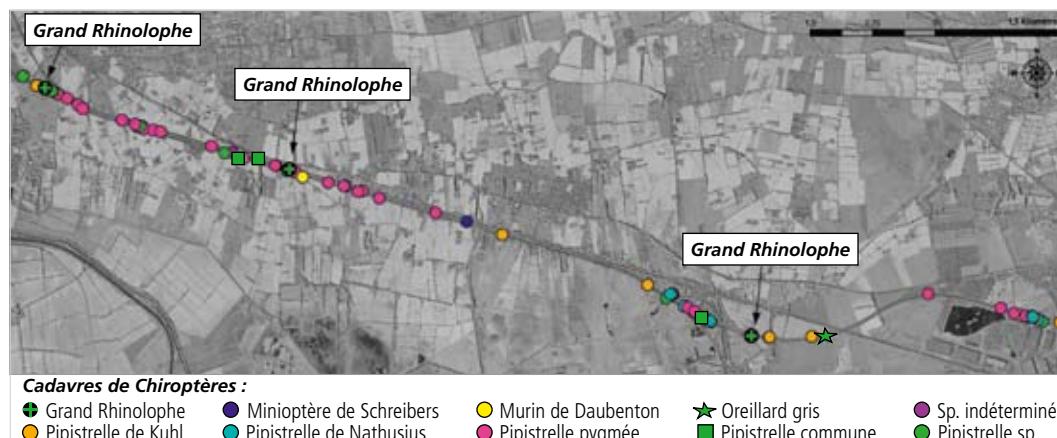
Dans le cadre du programme LIFE+ CHIRO MED, une étude de la mortalité des Chiroptères a été menée sur un tronçon de la RN113 entre Arles et Saint-Martin-de-Crau en fin d'été 2010 ([cf. rapports Actions LIFE+ CHIRO MED](#)). Cette route est une 2x2 voies limitée à 110 km/h, orientée est-ouest, qui constitue une barrière importante entre plusieurs entités écologiques à savoir le massif des Alpilles au nord, la Camargue et la Crau au sud. Au moment de l'étude, l'intégralité du rideau de grands arbres situé entre la voie ferrée et la RN113 de Raphèle-lès-Arles à Pont-de-Crau avait été déboisé.

LE LIFE+ CHIRO MED

en chiffres

La RN113 reçoit un trafic moyen journalier annuel de 80 000 véhicules et présente peu de perméabilité pour la faune.

Dans le cadre du programme, le CEREMA (ex CETE) et la DIRMED ont récolté les cadavres de chauves-souris 3 jours par semaine du 2 septembre au 13 octobre 2010. Il a porté sur une portion de 14 km dans les deux sens de circulation. 108 cadavres d'animaux dont 88 de chauves-souris ont été récoltés, soit 95% (5 individus d'espèces d'annexe II de la directive "Habitats-Faune-Flore" : 3 grands rhinolophes et 2 minioptères de Schreibers, mais aucun Murin à oreilles échancrées).



Bilan des effectifs de chaque espèce de Chiroptère trouvés sur le tronçon étudié de la RN113 Arles / Saint-Martin-de-Crau (14km) dans le cadre du LIFE+ CHIRO MED (02/09/2010 au 13/10/2010).

La majorité des cas de mortalité concerne les pipistrelles qui devancent légèrement le Grand Rhinolophe. Il faut aussi noter que, malgré la présence de murins à oreilles échancrées autour de la RN113, aucun individu de cette espèce n'a été découvert lors de l'étude de mortalité de fin d'été, néanmoins, cette espèce a été trouvée morte sur le même secteur sous les éoliennes de Saint-Martin-de-Crau. Pour le fonctionnement écologique de la population de Grand Rhinolophe du secteur Camargue-Crau-Alpilles-Gardon, la RN113 est un obstacle majeur tout au long du cycle vital des individus et elle constitue une menace avérée par destruction directe (collisions). Les trois cas de mortalité de Grand Rhinolophe n'ont pas pu être mis en relation avec un élément paysager particulier. A contrario, les mortalités concentrées d'autres espèces sont souvent liées à la présence de boisements très proches, voire au contact ou surplombant des voies de circulation, le long desquelles les animaux chassent, notamment en période ventée.

Pour les animaux qui ont pu être sexés, la sex-ratio est équilibrée et 90% des individus étaient des jeunes. Pour le Grand Rhinolophe nous avons recueilli deux jeunes femelles et un individu de sexe et âge indéterminés. Après cinq années d'étude intensives, nous ne pensons pas qu'il existe une colonie de reproduction proche de la RN113, la première colonie connue est située à 12 km.

Les zones les plus meurtrières toutes espèces confondues correspondent généralement aux situations suivantes :

1. Une **intersection entre une route et un corridor boisé fréquenté par les Chiroptères en transit**. La majorité des chauves-souris utilisent les éléments du paysage pour se déplacer (haies, lisières, etc.). Lorsqu'elles doivent franchir un espace ouvert, elles ont tendance à voler plus près du sol, sans doute en raison de paramètres ultrasonores (en particulier chez les oreillard et les rhinolophes qui ont un sonar de courte portée), parce qu'elles sont moins visibles des prédateurs ou encore que le sol restitue de la chaleur attirant les insectes. Dans le cas d'une traversée de chaussée, les chauves-souris se trouvent alors juste à hauteur des véhicules.

2. Une **lisière de boisement ou une haie qui longent un bord de route, fréquentées par les Chiroptères en chasse**. Souvent, les chauves-souris qui chassent longent les lisières en faisant des allers-retours. Lorsque le boisement se termine au niveau d'une route, elles peuvent être amenées à faire demi-tour au-dessus de la chaussée, s'exposant ainsi aux véhicules en circulation.

3. Lorsque les deux précédents cas n'expliquent pas la localisation de l'animal tué, nous pensons que **l'absence sur le tracé de passages inférieurs adaptés et de passages supérieurs adéquats** oblige les animaux à risquer une traversée dangereuse voire mortelle. À noter qu'il n'existe que cinq passages supérieurs sur 15 km à l'est de la Camargue pour franchir la RN113. Ils sont risqués pour les chauves-souris du fait des véhicules qui les empruntent.

4. Il semble aussi que des cas de mortalités groupés dans l'espace et le temps puissent s'expliquer par **le comportement gréginaire** d'un groupe de chauves-souris ou une exploitation par plusieurs individus d'une manne d'insectes situés à proximité de la route, voire au-dessus de la chaussée. Ce phénomène a été constaté sur la RN113 ponctuellement, sur la RD570 (6 pipistrelles tuées un même soir sur un point précis en 2013 mais non observé lors des suivis de 2011) et aussi sur les suivis de mortalité causée par les éoliennes à Saint-Martin-de-Crau (groupe d'une même espèce le même jour sous la même éolienne).

EN BREF

L'environnement local semble avoir un rôle important dans les caractéristiques des secteurs où la mortalité est élevée. Une étude comparative de la mortalité avec un secteur d'autoroute périurbain et vallonné (ouest de Toulon) montre une mortalité quasi-nulle sur les Chiroptères. La mortalité serait aggravée en contexte paysager préservé et lorsque la voie est à niveau avec le terrain naturel et/ou avec de rares passages inférieurs inadaptés, d'où l'importance capitale des passages supérieurs à préserver et aménager dans ce contexte.

La mortalité par collision sur les infrastructures routières est donc très importante chez les Chiroptères et à terme, pourrait affecter l'état de conservation local des populations.

Un diagnostic et des solutions doivent être apportés pour réduire la pression des voies de circulation sur les populations de Chiroptères.



Identification des points noirs routiers

L'objectif de cette partie est d'identifier les points de conflit entre les chauves-souris et les routes, autrement dit les points noirs routiers, selon diverses méthodes mais aussi de comparer leur efficience.

La procédure de travail s'organise selon quatre méthodes complémentaires mises en œuvre successivement :

- l'analyse des résultats de télémétrie,
- une analyse théorique par cartographie,
- une validation de terrain par déploiement de détecteurs d'ultrasons automatiques le long des voies routières,
- une validation de terrain plus poussée par observation directe au moyen d'une caméra thermique et ponctuellement d'un monoculaire de vision nocturne pour identifier les directions de vol des Chiroptères en transit.

Méthodes mises en œuvre

Suivi télémétrique

Des routes de vol et points de passages au-dessus des voies routières ont été identifiés grâce aux résultats obtenus lors des 60 nuits de télémétrie réparties en 4 sessions durant les étés 2010 et 2011 sur 34 grands rhinolophes et 25 murins à oreilles échancrées ([rapport A5](#)).



Different phases of the telemetry: transmitter to place (0.38 g), radio-tracking, and mapping. © V. Hénoux

La télémétrie consiste à suivre une chauve-souris préalablement équipée d'un émetteur (photo centrale) grâce à des antennes Yagi et des récepteurs radio (photo de gauche). La position de la chauve-souris est déterminée par triangulation des azimuts simultanés de réception du signal (photo de droite). Cette technique permet de connaître les déplacements des individus équipés et de localiser leurs terrains de chasse, leurs gîtes et leurs routes de vol. Cette méthode est très technique dans sa mise en œuvre mais fournit des résultats uniques et de grande qualité.

Analyse cartographique

En parallèle, un **examen cartographique** de la structure paysagère a été réalisé à partir de photos aériennes (linéaires, corridors, etc.) dans un rayon d'au moins 1,5 km autour des colonies de reproduction. Suite à la cartographie du réseau de haies menée en 2010 dans le cadre d'autres actions du LIFE+ CHIRO MED ([A5 et C4](#)), les intersections entre les haies ou canaux et les voies routières ont été complétées et notées comme **zones de franchissement potentielles par les Chiroptères** (cf. cartes et rapport [A6](#)).



Détecteur d'ultrasons automatique AnaBat™. © E. Cosson

Detections automatiques par ultrasons

Les points de passage identifiés précédemment ont été affinés puis validés par l'utilisation de **détecteurs d'ultrasons automatiques** (AnaBat™). Ces appareils permettent de mesurer l'activité des Chiroptères (nombre de contacts) et donc les zones à plus forte densité de passage de chauves-souris, notamment de Grand Rhinolophe dont la détermination peut se faire par filtre automatique, ce qui n'est pas le cas du Murin à oreilles échancrées. Ce dernier appartient à un groupement d'espèces qualifié ici de murins de type Fréquence Modulée Abrupte Haute Fréquence.



Caméra thermique. © T. Stoecklé



Dispositifs d'aide au franchissement des routes

Résultats

La télémétrie a permis de mettre en évidence des axes de déplacement et des terrains de chasse utilisés par les grands rhinolophes et les murins à oreilles échancrées des colonies de reproduction de Camargue en période estivale (A5). Ces axes de transit restent grossiers dans la majorité des cas mais permettent de mettre en évidence, nuit après nuit, les routes de vol les plus fréquentées.

LE LIFE+ CHIRO MED

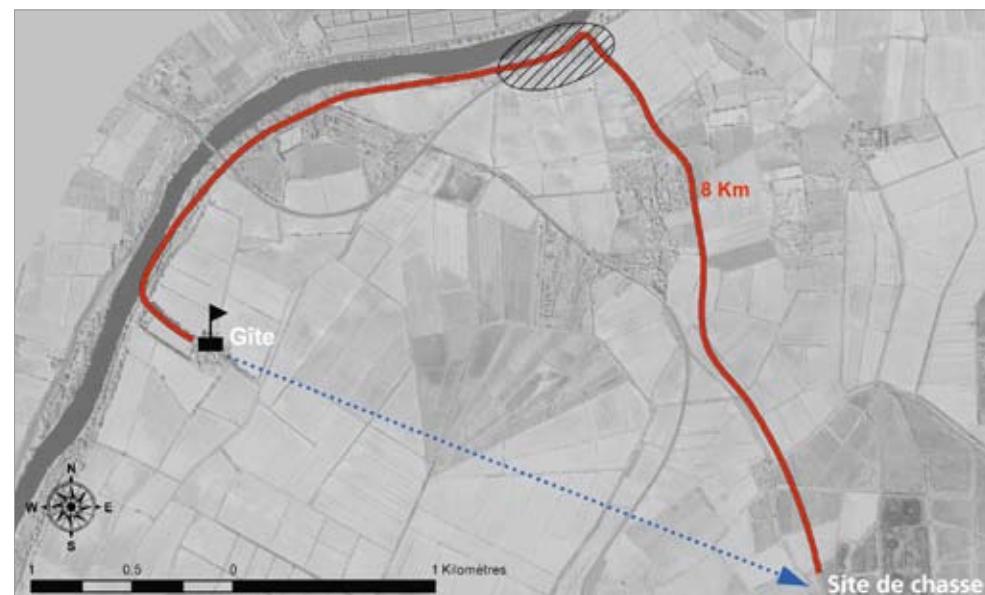
en chiffres

Sur les routes départementales des Bouches-du-Rhône, 80 points noirs potentiels ont été identifiés autour des 7 colonies de reproduction.

Plus de 40 de ces points noirs ont fait l'objet d'une étude acoustique avec des détecteurs automatiques d'ultrasons.

Neuf de ces points ont révélé une fréquentation de grands rhinolophes suffisante pour mener des observations comportementales.

La carte ci-après expose le transit de deux individus qui sont passés plusieurs soirs consécutifs par le nord pour se rendre au sud-est de leur colonie dans le marais des Bernacles et du Mas Julian. Le trait rouge, trace la route de vol avérée durant la télémétrie. Ces individus ont emprunté la ripisylve du Rhône, franchi la route nationale puis traversé les zones agricoles pour rejoindre les marais où ils chassent.

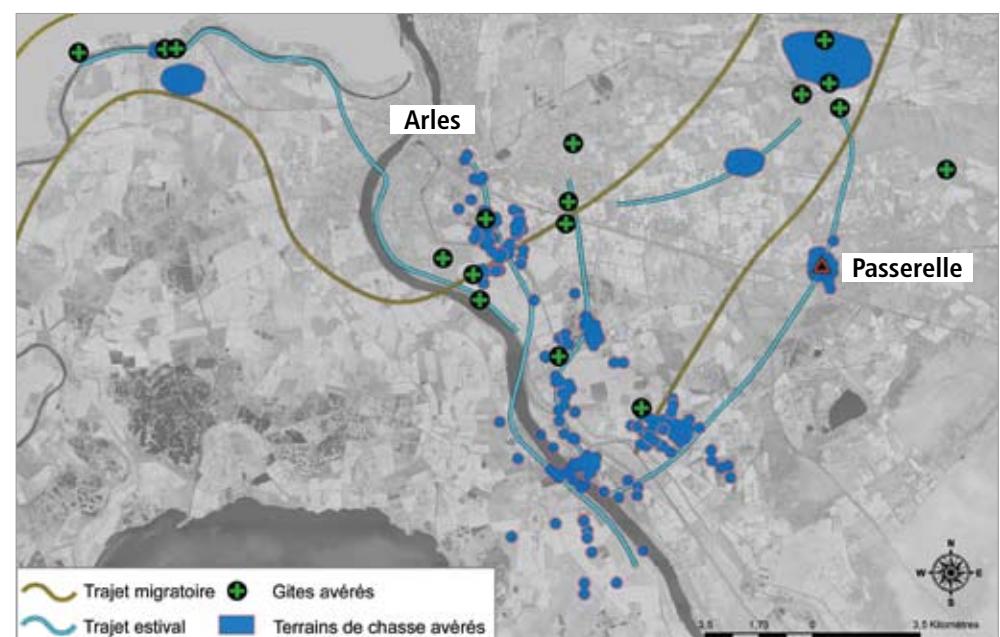


Représentation d'une route de vol de grands rhinolophes identifiée par télémétrie. En pointillés bleu, le chemin le plus court pour rallier le gîte au site de chasse ; en rouge, la trajectoire avérée lors de la télémétrie. La zone de franchissement de la route nationale (zone hachurée) n'a pas pu être précisée durant la session de télémétrie.

Le détour fait 8 km au lieu de 5 km en vol direct. Il semble que les grands rhinolophes préfèrent emprunter un chemin plus long mais plus riche en linéaires arborés qu'un chemin plus direct mais dépourvu de structures verticales. La zone de franchissement routier n'a cependant pas pu être mise en évidence avec précision lors de la télémétrie.

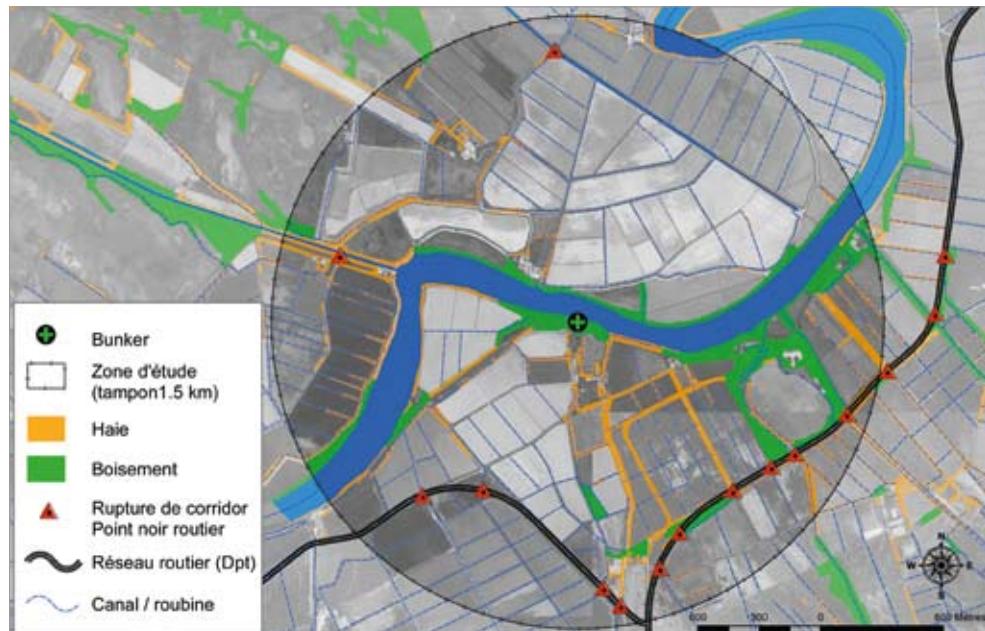
La carte suivante synthétise les principaux axes de transit au sud d'Arles. Les axes migratoires ont été établis pour représenter les échanges entre grandes unités géographiques comme la Camargue et le massif des Alpilles. Les axes de transit sont le résultat des localisations ponctuelles lors des déplacements des chauves-souris en vol en période estivale. Ils restent donc peu précis mais permettent d'identifier les enjeux comme le secteur sud-ouest de Saint-Martin-de-Crau, au niveau du pôle d'activités de l'agglomération, pour le franchissement et même la chasse dans les rares zones boisées et humides autour de la RN113.

Certains axes de vol principaux sont des résultats précieux et ont une importance particulière comme le passage du Rhône au sud d'Arles qui est le point exact du projet de franchissement du grand Rhône pour la future A54. Au-delà de la destruction des aires de chasse avérées, cette nouvelle autoroute (2x2 voies) devra intégrer à sa réalisation le plus grand nombre possible de passage à Chiroptères inférieurs et supérieurs pour limiter au maximum la mortalité routière. L'ouvrage d'art prévu pour franchir le Grand Rhône sera un viaduc de 1,6 km de long, entre les digues du fleuve. L'aménagement paysager autour de cet ouvrage devra guider la faune, et notamment les Chiroptères, pour passer sous le viaduc sans risquer de déboucher à hauteur des véhicules par des structures de végétation linéaires profilées (cordon végétal continu mais hauteur de végétation réduite aux abords de l'ouvrage).



Axes de déplacement du Grand Rhinolophe et du Murin à oreilles échancrées déduits des résultats de télémétrie, pour les périodes estivales, migratoires et sur les terrains de chasse.

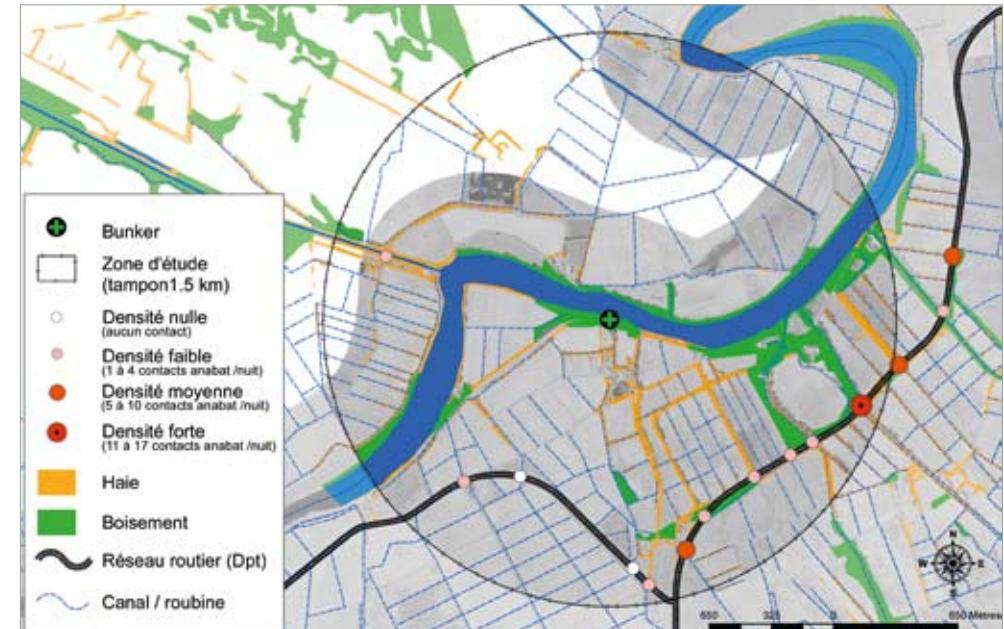
La cartographie détaillée des habitats favorables au transit autour des gîtes a permis de localiser tous les points potentiels de conflit entre les grands rhinolophes et murins à oreilles échancreées et les voies de circulation. Ce travail nécessaire prépare la phase suivante de l'expertise de ces points noirs routiers.



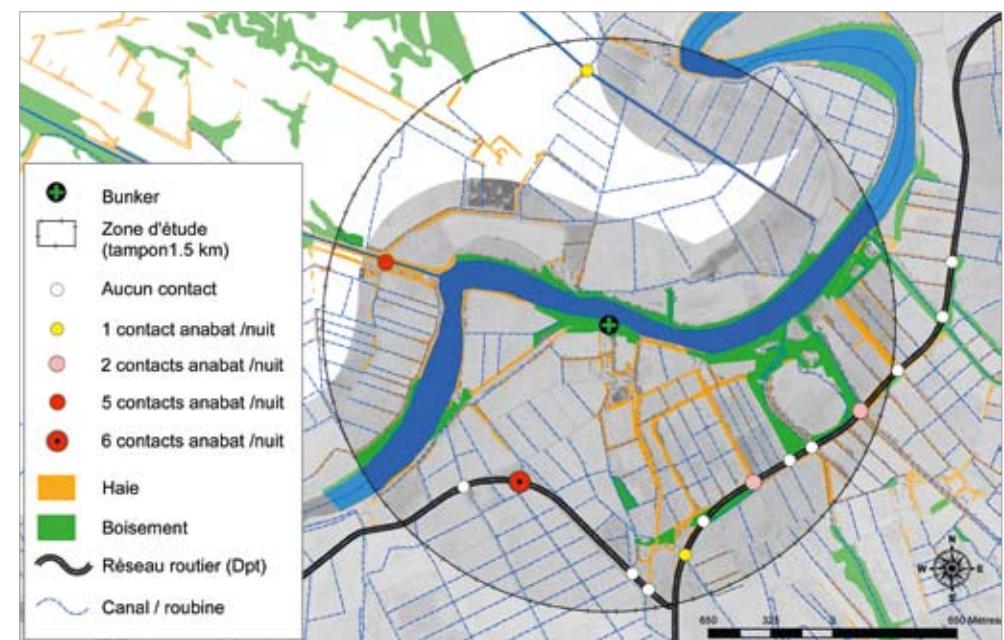
Cartographie des voies de circulations (réseau de haies, fleuve, canal et roubine) et des zones de franchissement routiers potentielles par les Chiroptères (triangles rouges) autour d'une colonie de reproduction (bunker) effectuée dans le cadre du LIFE+ CHIRO MED en 2011.

L'expertise acoustique des points noirs potentiels : L'évaluation et la validation des points de passage potentiels et l'amélioration de leur localisation ont été réalisées par expertise acoustique nocturne au moyen d'**AnaBat™** posés le long des voies routières. Les relevés (129 Anabat™ posés) ont été réalisés sur 42 nuits réparties sur l'ensemble des points noirs potentiels de mai à août pour pallier la variabilité saisonnière des routes de vol utilisées. Cette phase indispensable a fourni une évaluation détaillée de l'utilisation de l'espace autour des gîtes par les Chiroptères ciblés par le programme.

Les observations comportementales des Chiroptères ont été menées au niveau des points noirs avérés. Des techniques d'imagerie (cf. guide technique n°6 « Techniques d'imagerie au service de la conservation ») ont notamment permis de réaliser ces observations comportementales.



Densité de passage du Grand Rhinolophe par-dessus les routes départementales autour d'un gîte de reproduction et localisation du point de plus forte densité de passage (rond rouge / point noir) qui sera équipé d'un dispositif expérimental.



Densité de passage des murins de type Fréquence Modulée (FM abrupte à haute fréquence) par-dessus les routes départementales autour d'un gîte de reproduction et localisation du point de plus forte densité de passage (rond rouge / point noir).

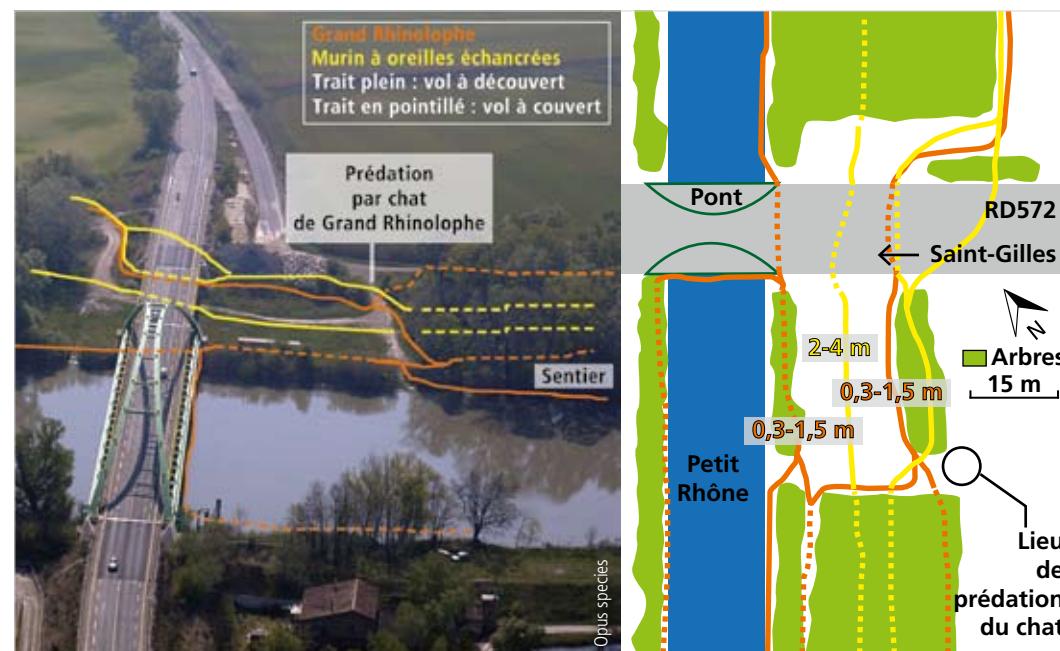
Description des comportements des deux espèces cibles

Comparaison des comportements de vol des deux espèces

D'après les observations réalisées en 2010 (A6) à proximité du pont de Saint-Gilles (RD572), le **Murin à oreilles échancrées** privilège le vol dans la partie interne de la ripisylve dense. Un grand nombre de contacts y a été enregistré en sortie de lisière dense entre 2 et 4 m de hauteur, là où la ripisylve est interrompue par un pont.

Entre la ripisylve et le pont, deux types de comportements ont été observés à proportion égale. En sortie de la ripisylve dense, certains animaux se dirigent vers les houppiers des arbustes et volent à moins de 50 cm de la végétation, alors que d'autres traversent les 50 m d'espace ouvert entre les deux ripisylves à découvert entre 2 et 4 m d'altitude. Dans les deux cas, la plupart passent juste sous le tablier. Certains individus passent tout de même au-dessus de la voie. De plus, des individus ont été observés traversant les voies routières en diagonale, ou même survolant la chaussée parallèlement à son axe généralement à plus de 4 m de hauteur. Ces comportements semblent manifester une certaine tranquillité ou inconscience des murins à oreilles échancrées vis-à-vis de la circulation routière de cette départementale à trafic non continu au moment des observations.

Il semble donc que le Murin à oreilles échancrées préfère les déplacements en milieu boisé dense, sans que cela l'empêche de traverser des espaces ouverts à plusieurs mètres d'altitude contrairement au Grand Rhinolophe qui a un mode de déplacement bien plus exigeant. Dans d'autres conditions, en sortie de gîte et à découvert en terrain labouré, cette espèce de murin peut voler à 20 cm du sol sur plusieurs dizaines de mètres avant de rejoindre un boisement (obs. GCP Var).



Représentation des routes de vol du Murin à oreille échancrées et du Grand Rhinolophe au niveau du pont de Saint-Gilles (RN572, Bouches-du-Rhône), avec quelques indications de la hauteur de vol.

Effectivement, sur le même site, les **grands rhinolophes** longent la ripisylve le long du Petit Rhône ou de la digue et volent proche du sol (entre 0,3 et 1,5 m de hauteur le plus souvent) à quelques dizaines de centimètres de la végétation. Ils empruntent aussi le sentier tracé dans la ripisylve. Ensuite, ils suivent une route de vol sous la route en bord de culée ou vers la pile en bordure du Petit Rhône. Cette faible hauteur de vol les rend sensibles à la prédateur par les chats comme cela a été constaté sur ce site en un point où les grands rhinolophes avaient pour habitude de voler à 30 cm du sol. Dans ce contexte, le Grand Rhinolophe semble clairement éviter les milieux très denses au profit des milieux clairsemés ou des lisières.

Comportements face à une source de lumière en mouvement

Les résultats des observations nocturnes avec la caméra thermique laissent à penser que les grands rhinolophes cherchent à éviter les sources lumineuses puissantes, éventuellement associées à un mouvement.

En effet, des demi-tours ont été observés à l'approche d'un véhicule (phares allumés).

Une autre observation a été réalisée sur le pont de St-Gilles qui franchit le Petit Rhône et que les grands rhinolophes longent quotidiennement pour rallier les deux rives. Lors du passage d'une péniche éclairée sous le pont, les grands rhinolophes modifient leurs trajectoires et font demi-tour. Les déplacements d'une rive à l'autre reprennent une fois la source de lumière éloignée.



EN BREF

Le Murin à oreilles échancrées

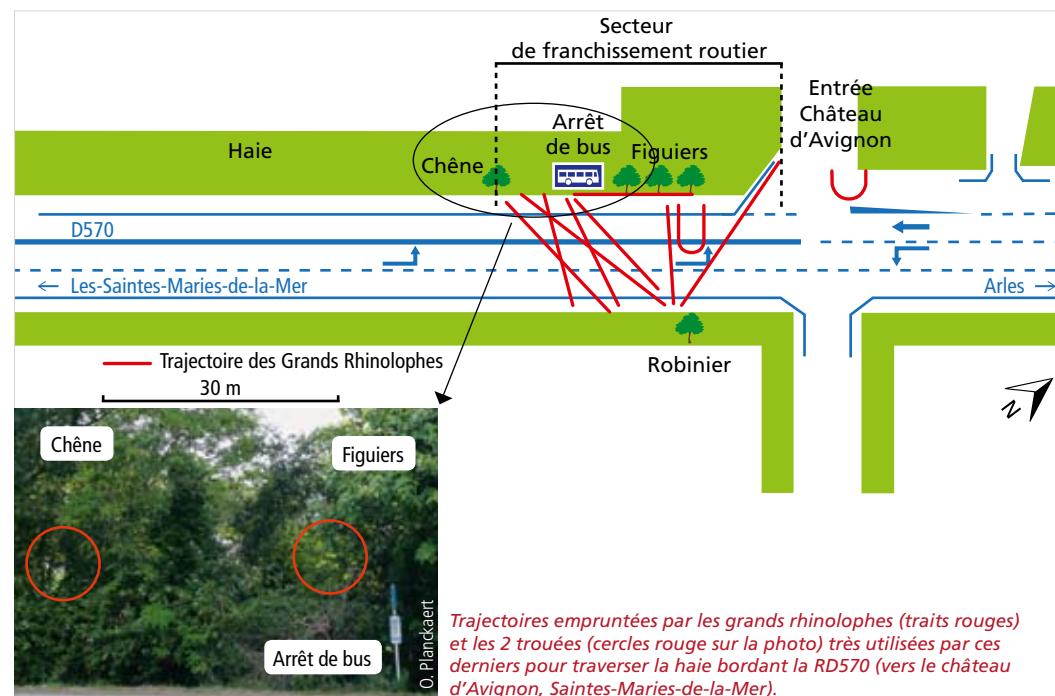
L'espèce fréquente préférentiellement les **boisements denses** tels que les ripisylves du Rhône en chasse et en transit (rapport A5 « Télémétrie »). Cependant elle traverse aussi aisément des **milieux ouverts à moyenne altitude** (2-4 m de haut le plus souvent).



De ce fait, le Murin à oreilles échancrées **semble peu soumis à la mortalité routière** (vol au-dessus de la zone à risque de collision élevée, moins de cadavres trouvés). Il utilise aussi certainement les ouvrages comme les ponts au-dessus des routes, même s'ils ne sont pas conçus pour lui.

Utilisation des trouées arborées

En 2011, la recherche des zones de franchissement des routes par les grands rhinolophes a permis de déterminer que ces secteurs sont généralement caractérisés par la présence d'une haie coupée perpendiculairement par la chaussée. La présence de pâturages en bordure de route semble également être un facteur de choix pour les individus qui traversent les routes de Camargue. Le Grand Rhinolophe utile essentiellement des haies ou lisières pour arriver sur les voies routières à franchir. Des observations réalisées au niveau de ces zones de franchissement ont montré que les secteurs avec des haies longitudinales sont très utilisés par les grands rhinolophes et qu'ils privilient les traversées au niveau des trouées arborées dans les haies (ouverture entre deux arbustes ou dans une entrée de champ), évitant ainsi le passage par-dessus les houppiers.



Ces premiers éléments sur le choix du secteur de franchissement routier par le Grand Rhinolophe permettront à l'avenir de mieux cibler les zones sensibles pour proposer des aménagements routiers mais également d'adapter un aménagement le plus en amont possible. Cependant, ces résultats ne peuvent pas être systématiquement extrapolés à d'autres lieux que la Camargue notamment en raison du contexte paysager local et de la topographie des lieux traversés (pas de passages inférieurs possibles en Camargue, alors qu'ils sont préférés par les rhinolophes).

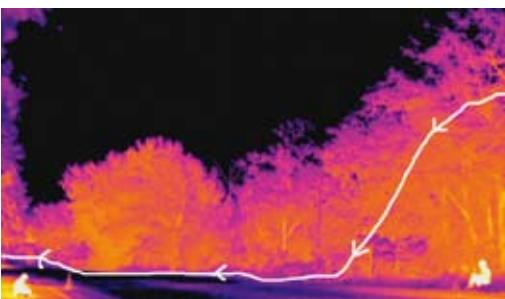
La configuration paysagère des routes et leur entretien est donc un élément clé pour les déplacements des grands rhinolophes. Une gestion inadéquate des bords de route et la modification brutale du paysage sur un lieu de passage peut engendrer des modifications comportementales et une surmortalité selon le contexte.

EN BREF

Le Grand Rhinolophe

Les grands rhinolophes **longent la végétation** en permanence et **rasant le sol** en cas d'absence de structure paysagère verticale en prenant le chemin le plus court pour rejoindre la végétation. La hauteur de vol d'un individu en milieu de route dépend de la hauteur de son vol au moment où il quitte la haie vers la voie.

En traversant une chaussée, ces chauves-souris se retrouvent donc à hauteur des voitures dans la majorité des cas. Elles sont alors **directement concernées par la mortalité routière**, sur des routes larges à fort trafic (mortalité avérée sur la RN113) comme sur des routes étroites à trafic moins dense mais avec une vitesse élevée (mortalité avérée sur la RD179, au sud de Saint-Gilles).



Trajectoire d'un Grand Rhinolophe lors de la traversée d'une route, observé avec la caméra thermique. © T. Stoecklé



LES DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX D'AIDE AU FRANCHISSEMENT DES ROUTES

Afin de renforcer et d'améliorer la conservation du Grand Rhinolophe et du Murin à oreilles échancrées, le programme LIFE+ CHIRO MED s'est fixé, parmi les objectifs principaux, de réaliser et tester deux types de dispositifs expérimentaux de franchissement routiers innovants au niveau des points noirs identifiés :

- Des équipements d'avertissement sonore en deux sites sur les routes départementales proches de la plus importante colonie camarguaise des deux espèces (environ 1 200 individus).
- Un couloir à chauves-souris pour améliorer la perméabilité entre le nord et le sud de la RN113, future A54.

Mise en place d'équipements d'avertissement sonore

L'objectif de cette action était de tester l'efficacité des revêtements routiers comme avertisseur sonore pour informer les chauves-souris et particulièrement le Grand Rhinolophe de l'arrivée d'un véhicule, afin de limiter la mortalité sur les routes lors de leur franchissement. Le but n'est pas d'effaroucher les chauves-souris ou de les empêcher de franchir la chaussée, mais bien de les informer de l'approche d'un danger. Ce dispositif est basé sur la capacité d'apprentissage des chauves-souris en associant un stimulus sonore à un danger, afin de déclencher chez elles un comportement d'évitement, notamment chez les jeunes.

Les sites sélectionnés pour expérimenter ces dispositifs sont des zones de franchissement avérées qui présentent un risque élevé de mortalité pour le Grand Rhinolophe. Ils sont situés sur des tronçons de route où des travaux de réfection de chaussée étaient prévus par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône en 2012 (RD570 et RD572).

Acteurs à solliciter

Avant d'entreprendre la réalisation d'un dispositif de franchissement routier pour la faune qui modifie la structure d'une chaussée, il est indispensable d'établir un partenariat étroit avec le gestionnaire de la voie et d'informer les riverains.

Le Conseil Général des Bouches-du-Rhône, gestionnaire des deux routes départementales ciblées pour l'expérimentation, est très investi dans ce projet. En effet, un programme sur le long terme visant à réduire les impacts écologiques locaux a été engagé. À ce titre, la démarche du LIFE+ CHIRO MED sur la problématique « routes et Chiroptères » et plus généralement la démarche du Groupe Chiroptères de Provence sur ce même sujet s'inscrivent pleinement dans les objectifs de la collectivité. L'implication du CG13 dans ce domaine a été récompensée par le prix « Infrastructures pour la Mobilité et Biodiversité » de l'IDRRIM (Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) en 2013.

Choix du dispositif

La principale contrainte en Camargue est la topographie (altitude comprise entre -1,50 m et 4 m par rapport au niveau de la mer) et l'absence de passages inférieurs, excepté de rares passages hydrauliques de faibles dimensions. Dans ce contexte, le franchissement d'une route par les Chiroptères se fait donc systématiquement au-dessus des voies routières.

Initialement envisagés, les prototypes de filets suspendus, de câbles aériens ou de portiques de passage homme/chauves-souris ont été abandonnés après discussions avec les services routiers du Conseil Général. Le principe d'action n'était pas remis en cause mais ces dispositifs semblaient inadaptés du fait de la longueur des lieux de passage des Chiroptères, de la durée de développement de tels dispositifs, du vent fort sur ces lieux, de leur impact visuel notamment sur un lieu très touristique. Un dispositif d'effarouchemen lumineux ou producteur d'ultrasons a été imaginé en rapport avec des études scientifiques réalisées en Europe. Mais la solution d'effarouchemen ne semblait pas opportune dans le cas présent et risquait de provoquer le déplacement de la route de vol pour le franchissement de la route et éventuellement augmenter les risques de collision sur d'autres points. De plus, ceci nécessitait un investissement onéreux et un accès à l'électricité, sans compter le risque élevé de vol des dispositifs comme cela a été constaté au Royaume-Uni pour des bornes lumineuses.

Il a été décidé de travailler sur des systèmes avertisseurs sonores simples et ciblés sur les grands rhinolophes, l'espèce principalement présente sur les points noirs routiers identifiés. Le Murin à oreilles échancrées n'ayant pas ou très peu été contacté. L'aménagement d'un point de passage routier sécurisé pour les chauves-souris par la pose d'un avertisseur sonore est un projet expérimental voué à être permanent.

Contraintes

Le choix d'un dispositif d'avertissement sonore permanent doit tenir compte de contraintes liées au confort et à la sécurité des usagers de la route et des riverains tout en assurant une fonctionnalité optimale vis à vis des Chiroptères.

Plusieurs dispositifs ont été proposés :

Type de dispositif	Utilisation habituelle	Avantages	Inconvénients
Bandes rugueuses	Posé en surcouche sur le revêtement de roulement. Avertir les conducteurs d'un danger imminent (giratoire, virage serré en fin de ligne droite).	- Génère un avertissement sonore ponctuel successif de durée variable à définir par la longueur et les espaces inter-bandes. - Coût faible.	- Ne peut être utilisé dans une zone sans danger apparent pour les conducteurs (incrédibilité du système). - Gène sonore pour les automobilistes et les riverains.
Vibreur	Motif en relief délimitant le bord de voie de roulement. Prévenir des risques d'endormissement en bordure d'autoroute.	- Génère un avertissement sonore puissant et provoquant des secousses du véhicule et des bruits mécaniques produisant des ultrasons.	Ne peut être posé sur les routes dans le sens de la largeur ou sur de grandes largeurs sur la bande de roulement.
Boudins à air	Comptage de trafic.	- Génère un avertissement sonore ponctuel claquant, généralement répété 2 fois par le passage des essieux. - Pas de signification particulière pour les automobilistes. - Coût faible.	Gène sonore pour les automobilistes et les riverains. Dégradation possible et contrôle nécessaire.

Type de dispositif	Utilisation habituelle	Avantages	Inconvénients
Revêtement granuleux	Type de revêtement routier standard de bande roulante.	- Génère un avertissement sonore continu et non saccadé. - Pas de signification particulière pour les automobilistes. - Coût faible.	Gène sonore réduite sauf si la granulométrie est très importante.
Revêtement granuleux spécifiquement bruyant	Type de revêtement routier standard de bande roulante.	- Pas de gène pour les automobilistes, ni pour les riverains. - Peut être spécifique à une gamme donnée d'ultrasons (non audibles pour l'Homme).	Nécessité de refaire la couche de forme de la chaussée au niveau du dispositif par raboteuse et finisher après la pose du revêtement standard.
Limitation de vitesse	Rôle de sécurité en cas de danger pour les automobilistes ou les piétons.	- Il a été rapporté par la bibliographie qu'en dessous de 50 km/h de vitesse des automobiles, le risque de collision était faible à très faible. - Très faible coût.	- Inefficace si non respectée. - Ne peut être posé que si la traversée des Chiroptères représente un danger ou une perturbation pour les automobilistes (par exemple, réflexe d'évitement avec coup de volant, freinage brusque, inattention, etc.).
Panneaux « traversée de chauve-souris »	- Avertir les conducteurs d'un danger potentiel. - Avertir du risque de collision avec des chauves-souris. - Adaptation de la conduite et de la vigilance.	- Relève la vigilance de l'automobiliste face à un éventuel danger. - Informe les citoyens des problèmes causés par l'automobile sur une faune spécifique. - Très faible coût.	Ne provoque pas systématiquement une baisse de vitesse. Manque de visibilité du danger effectif. Petite taille et furtivité de l'animal. Pas de signal d'avertissement de l'approche d'un danger pour les chauves-souris. Efficacité inconnue malgré l'existence de ce panneau dans certains pays.

Principe de fonctionnement des équipements d'avertissement choisis

Le dispositif sélectionné cible les grands rhinolophes, fortement soumis aux risques de collision avec les véhicules en circulation et pour lesquels les conséquences d'une surmortalité sur les populations locales sont dramatiques du fait de ses caractéristiques biologiques et démographiques. La méthode de sélection d'un dispositif spécifique à toute autre espèce de Chiroptères pourrait être transposable.

Sensibilité des grands rhinolophes aux basses fréquences

L'**audition du Grand Rhinolophe** est sensible à plusieurs gammes de fréquence et même plus sensible que l'Homme de l'ordre -5 dB-SPL pour les fréquences auxquelles il est le plus sensible. **Très sensible entre 12 et 20 kHz**, puis autour de 60 et à 83 kHz, son audition l'est un peu moins entre 20 et 35 kHz, et très peu aux autres fréquences. Les basses fréquences seraient utilisées par l'espèce pour communiquer (cris sociaux).

Des enregistrements sonores ont été réalisés avec un détecteur d'ultrasons à expansion de temps (Pettersson D240x) et un enregistreur numérique (H2 Zoom) dans un gîte de Grand Rhinolophe en Camargue pour évaluer les fréquences d'émission et donc l'utilisation des basses fréquences par l'espèce (10 à 35 kHz). Ces sons ont été analysés avec le logiciel Batsound. Les analyses montrent que **les cris sociaux les plus puissants du Grand Rhinolophe sont émis entre 15 et 22 kHz**. Il en a été déduit que l'espèce est sensible à ces fréquences et qu'il était possible d'utiliser de tels sons pour l'avertir.

Le revêtement à sélectionner est donc celui qui génère les sons les plus puissants à ces fréquences lors du passage d'un véhicule (cf. rapport  « revêtement routier »).

Choix du revêtement routier

Le contact pneumatique/chaussée génère un bruit lors du déplacement d'un véhicule. Le niveau sonore de ce bruit de roulement varie en fonction du type de revêtement et de la vitesse de circulation des véhicules notamment.

Le Laboratoire des Ponts et Chaussées de Strasbourg (CETE Est) a fourni des enregistrements sonores standardisés réalisés sur 6 types de revêtement routier : ES46, BBS-G010, ECF-06, BBT-M010 et BBT-M06-Classe2 (Classe 2 = classe de résistance de la matière minérale = bonne résistance correspondant à du silico-calcaire ou du basalte).

Le niveau sonore maximal au passage d'un véhicule isolé a été mesuré grâce au logiciel Batsound dans l'intervalle de fréquences 15 000 à 22 000 Hz.

Les niveaux sonores maximums relevés par les services des Ponts et Chaussées pour contrôler les nuisances sonores occasionnées aux usagers de la route et aux riverains sont mesurés pour des fréquences comprises entre 100 et 5 000 Hz (audible et dérangeantes pour l'Homme, l'audition humaine est comprise entre 20 Hz et 16-18 000 Hz, 20 000 Hz pour les enfants et adolescents). Les revêtements les plus bruyants à ces fréquences ne sont pas nécessairement les plus bruyants entre 15 et 22 kHz (au delà de la limite de la gamme audible par l'Homme).

Sur les 6 revêtements routiers testés lors de cette étude, le BBT-M010 est le revêtement couramment utilisé sur les chaussées des Bouches-du-Rhône. Il génère le niveau sonore maximal le plus faible de tous entre 15 et 22 kHz. L'ECF-06 émet les sons les plus puissants lors du passage de véhicules légers, dans la gamme de sensibilité auditive du Grand Rhinolophe (15-22 kHz) juste devant le revêtement BBT-M06-Classe 2 (cf. rapport  « revêtement routier »).

L'ECF-06 (enduit coulé à froid) n'entrait pas dans le cadre du marché annuel du Conseil Général des Bouches-du-Rhône. L'aménagement a donc été réalisé avec le **revêtement BBT-M06-Classe 2**. Par la suite dans ce guide, ce revêtement est qualifié de revêtement spécial. Il serait cependant préférable d'utiliser l'ECF-06 pour ce type de dispositif.

Contraintes physiques

La configuration du dispositif doit permettre aux chauves-souris d'être averties qu'un véhicule approche de l'endroit où elles vont franchir la route et leur laisser le temps de réagir malgré la vitesse du véhicule (faire demi-tour, éléver leur hauteur de vol, etc.).

Ces éléments vont permettre de définir la longueur des bandes d'enrobé spécialement bruyant en hautes fréquences et la distance entre ces bandes et la zone de franchissement nécessaires pour que le dispositif soit opérationnel.

Au niveau des deux points de franchissements retenus pour cette expérimentation, les « zones de franchissement » ont été bien identifiées. Elles correspondent à la zone où se concentrent les passages de Grand Rhinolophe. Sur la RD570, cette zone s'étend sur 37 m, sur la RD572, elle s'étend sur 58 m.

La vitesse moyenne des véhicules sur le tronçon expérimental de la RD570 avoisine les 100 km/h. À cette vitesse, un véhicule met 0,72 secondes pour parcourir une bande longue de 20 m. Le son généré par le frottement des roues du véhicule sur l'enrobé spécial dure donc 0,72 s. Les chauves-souris sont capables de discriminer deux sons très rapprochés. Elles reçoivent les échos de leurs pulses d'ultrasons émis avec une récurrence parfois très élevée de 40 à 50 pulses d'ultrasons par seconde avant la capture d'une proie. Elles ont donc une discrimination auditive très performante autour de 0,02 s entre deux sons et seront donc sensibles à un signal sonore de 0,72 s. L'Homme a une capacité de discrimination cinq à dix fois moins élevée.

De plus, si une chauve-souris se trouve à 40 m d'une source sonore qu'elle perçoit, ce son lui parvient en 0,12 s alors que le véhicule qui a généré ce son mettra 1,44 s à atteindre la position de la chauve-souris. La vitesse maximale observée chez cette espèce est de 8,3 m/s, soit 30 km/h. Ainsi elle met environ 2,2 à 3,2 s pour franchir les 18m de chaussée. La chauve-souris a donc théoriquement le temps, soit 1,32 s (1,44-0,12), pour réagir au stimulus sonore et adapter son comportement de vol pour éviter la collision sachant qu'elle sera encore au-dessus de la route quand le véhicule passera au point de collision potentiel.



REMARQUE

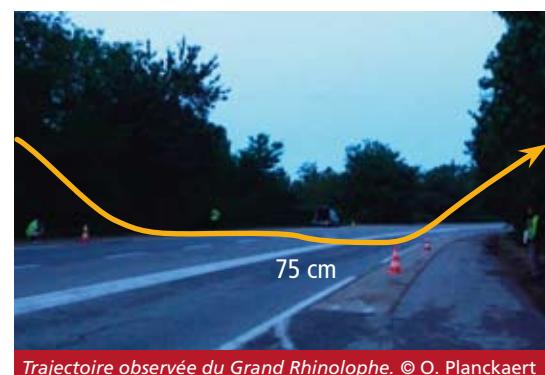
Un son perd de sa puissance en se déplaçant dans l'air. Classiquement, il perd environ 6 dB-SPL à chaque doublement de distance de propagation. Les sons graves (fréquences faibles) se propagent plus loin que les sons aigus (fréquences élevées). À titre indicatif, un son de 30 kHz d'intensité moyenne est propagé jusqu'à une trentaine de mètres. Les sons générés par les véhicules sur le revêtement routier auxquels sont sensibles les grands rhinolophes sont des sons graves (15-25kHz), et porteront à plus de 40 mètres pour un Homme s'il les entend et plus encore pour un Rhinolophe qui a une audition bien plus performante (capacité auditive augmentée à -5 dB-SPL).

Cas de la RD570

La RD570 présente un enjeu important pour le Grand Rhinolophe au niveau de l'entrée du Château d'Avignon (Saintes-Maries-de-la-Mer, Bouches-du-Rhône).

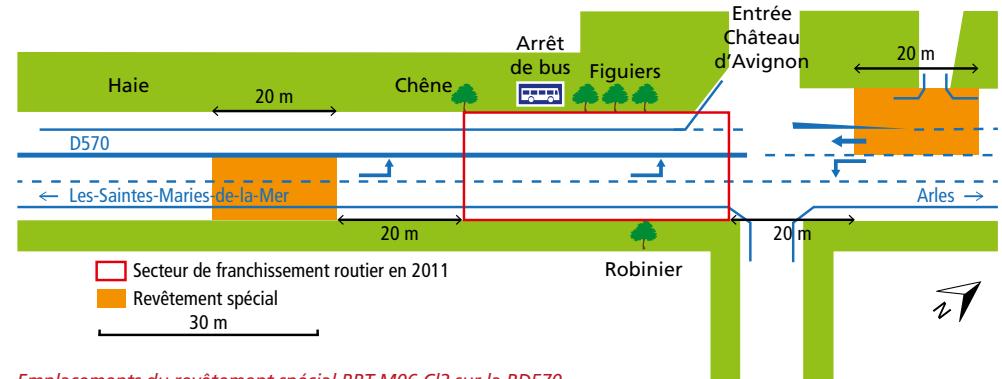
En période estivale, cette espèce traverse quotidiennement la RD570. Les franchissements se concentrent sur une zone de 37 m de long (17 contacts minimum par nuit).

En traversant, les grands rhinolophes volent entre 0,5 m et 1,5 m au-dessus de la chaussée et il leur faut environ 2,2 à 3,2 secondes pour franchir les trois voies. Ils prennent des risques considérables si l'on considère qu'ils vont traverser cette route deux fois par jour au moins, de mai à août et que de surcroît, un individu est amené à traverser de multiples autres routes dans ses 40 km de vol journalier. Ils sont alors très exposés aux véhicules qui circulent à vive allure (plus de 50 km/h).



Trajectoire observée du Grand Rhinolophe. © O. Planckaert

Le dispositif mis en place sur la RD570 en novembre 2012 est constitué de 2 bandes de 20 m de revêtement spécial BBT-M06-CI2 situées 20 m en amont du début de la zone de franchissement des grands rhinolophes dans chaque sens de circulation.



Emplacements du revêtement spécial BBT-M06-CI2 sur la RD570.

Les observations comportementales sur la RD570 ont été réalisées en 2013 selon la même méthodologie qu'en 2011 lors de l'état initial. Les animaux ont donc eu un printemps et un début d'été pour s'approprier le dispositif. La zone de franchissement alors identifiée est plus étalée qu'avant la pose des bandes de BBT-M06-Classe 2. Il est cependant difficile d'attribuer cette modification à la présence du dispositif, à une amélioration des observations ou à un facteur externe. En effet, malgré la fidélité des Chiroptères à leurs gîtes et leurs axes de déplacements, des variations comportementales interannuelles ne sont pas à exclure.

Les bandes sonores n'ont pas d'effet notable sur la hauteur de vol des grands rhinolophes. En revanche, tout comme avant la pose des enrobés, la hauteur de vol d'un Grand Rhinolophe en milieu de chaussée dépend de la hauteur de vol à son entrée sur la voie.

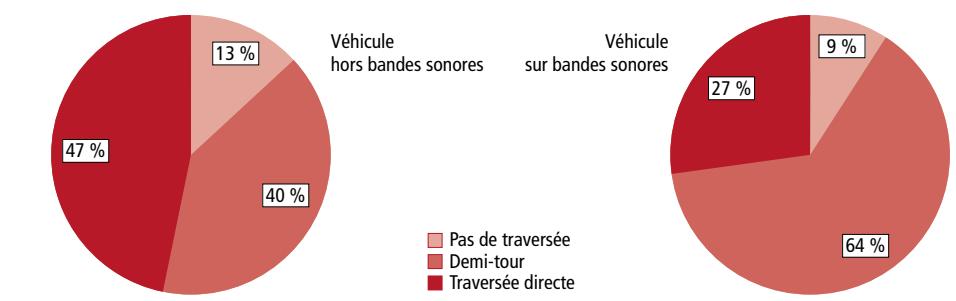
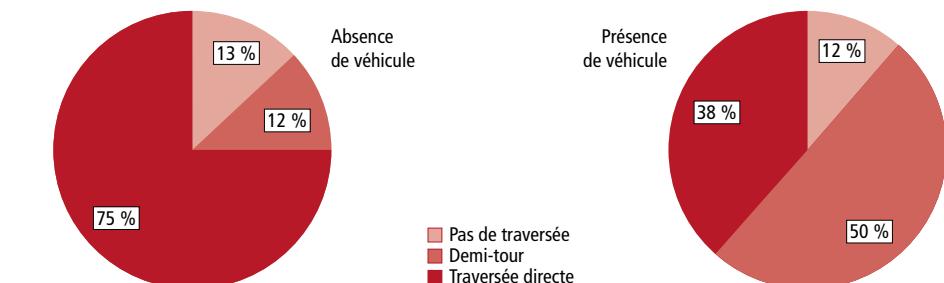
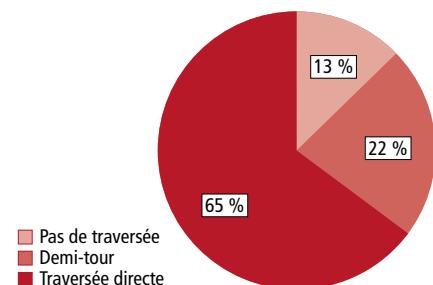
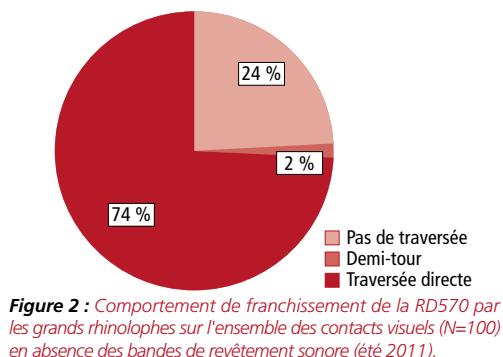
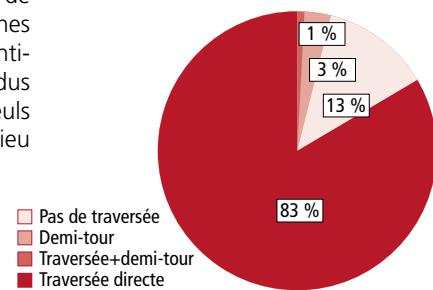


Schéma des différentes trajectoires de vol des grands rhinolophes en 2013. Les trajectoires sur la bande sonore au nord n'avaient pas été observées en 2011. La route de vol de 2011 était concentrée sur la partie centrale. © Google Earth

Les trajectoires des grands rhinolophes le matin, lors des retours au gîte, sont beaucoup plus directes que le soir. En parallèle, le nombre de véhicules qui circulent sur ce tronçon le matin (moyenne de 26 véhicules en 20 minutes aux horaires de passage des animaux) est nettement inférieur au nombre de véhicules qui circulent le soir (en moyenne 125 véhicules en 20 minutes). Les risques de collision routière sont donc plus importants en soirée.

À titre indicatif, la répartition des comportements de franchissement des routes par les grands rhinolophes sur l'ensemble des zones de franchissement identifiées en 2011 montre que plus de 83% des individus observés franchissent directement la chaussée. Seuls 3% ont effectué un demi-tour à l'abord ou au milieu de la chaussée (cf. figure 1).

Figure 1 : Comportement de franchissement des routes par les grands rhinolophes sur l'ensemble des contacts visuels (N=257) autour des colonies de Camargue (été 2011).



La comparaison des observations comportementales sur la RD570, au niveau de la zone de franchissement ciblée pour l'expérimentation du dispositif d'avertissement des grands rhinolophes, donne les résultats suivants :

- Les grands rhinolophes semblent globalement plus hésitants à franchir la route qu'avant la pose du dispositif : 74% (cf. figure 2) des individus observés lors de l'étude préalable traversaient la chaussée directement contre 65% avec le dispositif (cf. figure 3). De plus 2% des individus observés lors de l'étude préalable ont effectué un demi-tour contre 23% avec le dispositif.
- En 2013, les observations montrent que le comportement de franchissement des grands rhinolophes diffère significativement selon l'absence ou la présence de véhicule (cf. figure 4).
- Des différences ont également été relevées entre les comportements observés alors qu'un véhicule se trouve sur l'enrobé spécial ou lorsque celui-ci se trouve sur le bitume classique : les grands rhinolophes font plus de demi-tour lorsque le véhicule est sur la bande au moment où ils arrivent sur la chaussée (75%) que lorsque le véhicule est sur le bitume classique (38%). Cependant, ces résultats testés ne sont pas significatifs. De même 47% des individus traversent directement la chaussée quand le véhicule est hors d'une bande d'enrobé spécial contre 27% quand le véhicule est sur une bande (cf. figure 5).



EN BREF

Ces observations laissent paraître que les grands rhinolophes ont sensiblement modifié leurs comportements de vol pour franchir la RD570 au niveau du dispositif d'avertissement sonore. Même si rien ne permet d'affirmer qu'ils associent le bruit généré par les bandes sonores à la présence d'un danger (véhicule), il semble qu'ils perçoivent mieux l'approche d'un véhicule lorsqu'ils abordent la route et que des comportements d'évitement se développent (par rapport à 2011). Rappelons que les animaux n'ont eu que quelques mois pour s'approprier le lieu.

Ce dispositif semble donc fonctionner mais reste à améliorer. Son évaluation est à poursuivre sur d'autres sites pour confirmer l'effet d'adaptation comportementale des grands rhinolophes.

Recommandations et perspectives

Ce dispositif a donné des résultats concluants dans le contexte camarguais. Des améliorations peuvent cependant être apportées à plusieurs niveaux.

- Il est possible que la variation d'intensité sonore à la transition entre les deux types de revêtement (début et fin de bande) constitue un meilleur signal que le son généré par le roulement des pneus sur le revêtement lui-même. Ainsi, de manière à augmenter le nombre de transitions enrobé classique / enrobé spécial et à répartir les sources de ces signaux sonores sur l'ensemble de la zone de franchissement identifiée, les bandes de revêtement sonore pourraient alors être plus courtes (10 à 15 m), plus proches les une des autres (15 à 20 m) et en nombre supérieur (pour couvrir la longueur de la zone de franchissement identifiée).
- L'utilisation de deux types de revêtement qui génèrent des sons plus contrastés au passage d'un véhicule, de manière à ce que la différence de niveau sonore entre les deux enrobés soit plus marquée. L'utilisation du revêtement ECF-06 est donc recommandée.
- La pose de bandes dans la zone de passage des rhinolophes et non pas seulement en amont.

Cas de la RD572



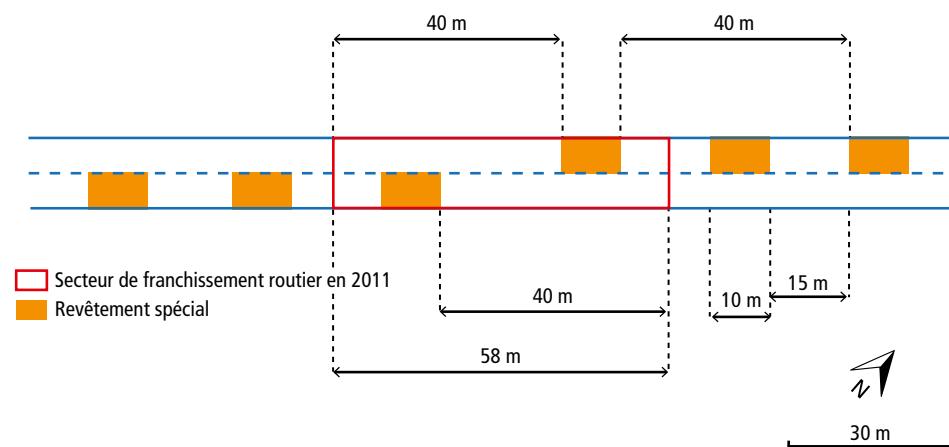
La RD572 au niveau du carrefour de Saliers (Arles, Bouches-du-Rhône) est un secteur qui présente également un enjeu important pour le Grand Rhinolophe.

Ce secteur de franchissement a été repéré lors des suivis télemétriques et a été localisé avec précision par la suite lors des expertises acoustiques et des observations nocturnes avec la caméra thermique au niveau des points noirs potentiels (carte p18).

Les franchissements de cette route départementale par le Grand Rhinolophe se concentrent sur une zone de 58 m de long sur laquelle les individus sont très exposés aux nombreux véhicules (trafic moyen journalier annuel de 6 700 véhicules).

Afin d'aller plus loin dans l'expérimentation, le programme LIFE+ CHIRO MED a mis à profit un retard de réalisation du second dispositif pour mettre en œuvre rapidement deux des améliorations proposées à l'issue des observations réalisées sur la RD570.

Ainsi, afin d'augmenter le nombre de transitions entre les deux types de revêtement, ce dispositif est constitué de 3 bandes de BBT-M06-CI2 de 10 m de longueur chacune espacées de 15 m. De manière à ce que les sons générés par le dispositif soient perçus même par une chauve-souris qui traverse en abordant la chaussée à l'extrémité de la zone de franchissement (longueur = 58 m), la dernière bande se situe à 40m de l'extrémité de la zone comme indiqué sur le schéma suivant :



Ce second dispositif sera mis en place qu'à la fin du LIFE+ CHIRO MED et n'a donc pas pu faire l'objet d'observations dans le cadre du programme. Ces observations pourront être réalisées ultérieurement dans le but d'évaluer l'effet des dispositifs à moyen terme.

Coût des dispositifs

Un chantier de réfection de la couche de roulement d'une route départementale (2x1 voie) revient à environ 70 000 € par kilomètre. Le coût estimé de la pose de bandes d'un revêtement spécifiquement bruyant pour avertir les Chiroptères est donc différent si l'opération est menée seule sur un enrobé déjà en place ou si elle s'intègre dans un programme de rénovation d'une portion du réseau routier. Le coût important de ces travaux est lié à l'acheminement des machines. Si ceci est fait dans le cadre d'une rénovation en cours, seuls le rabotage, l'achat et l'acheminement de l'enrobé spécifique sont à considérer (voir encadrés).

Sur la RD570, la pose du revêtement spécifique a été intégrée dans un marché de travaux de modification du revêtement routier. **Le coût de ce dispositif est évalué à 1 700 € pour 2 bandes de 20 m de long et 8,5 m de large** (chaussées et voies de décélération = 340 m²).

Ces travaux ont été financés par le Conseil général des Bouches-du-Rhône, Maître d'ouvrage de cet aménagement et partenaire technique du programme LIFE+ CHIRO MED.



Sur la RD572, la pose des bandes de BBT-M06-CI2 n'a pas été faite pendant les travaux de réfection de chaussée. Ceci implique de faire revenir les engins sur le site pour enlever l'enrobé courant et le remplacer par le revêtement spécifique.

Cette opération élève le coût de la pose du dispositif à environ **5 000 € pour 6 bandes de 10 m de long sur 3 m de large** (180 m²).

La durée du chantier est d'une demi-journée maximum. Ces travaux ont été financés par le Conseil général des Bouches-du-Rhône, Maître d'ouvrage de cet aménagement et partenaire technique du programme LIFE+ CHIRO MED.



Murin à oreilles échancrées.



Bilan et perspectives d'améliorations

L'utilisation d'avertisseurs sonores intégrés à la chaussée pour alerter les Chiroptères de l'approche d'un véhicule est expérimentale. Les Chiroptères sont sensibles aux stimuli sonores. La singularité du dispositif testé ici est que l'avertissement sonore n'est généré qu'à l'approche d'un danger (véhicule). Il fait donc appel à la capacité d'apprentissage des Chiroptères.

Ce dispositif a été élaboré pour cibler le Grand Rhinolophe compte tenu de son risque de mortalité élevé face aux routes. Cependant, il peut concerner d'autres espèces dont la gamme de sensibilité auditive se rapproche de celle du Grand Rhinolophe (forte sensibilité entre 12 et 20 kHz). Pour cibler d'autres espèces, il faut disposer de leurs audiogrammes comportementaux et adapter le type de revêtement en fonction de la gamme de fréquence dans laquelle doit se trouver le niveau sonore généré le plus élevé. Le revêtement spécialement bruyant doit également être choisi en fonction du type de revêtement couramment utilisé sur la chaussée concernée par le dispositif.

La méthodologie mise en place a montré son efficacité mais reste encore à optimiser pour améliorer les résultats.

Attention toutefois, ce dispositif n'est sans doute pas adapté à des routes à grande vitesse, larges, fortement fréquentées et dont la limitation est à 110 ou 130 km/h, car les chauves-souris n'auraient pas le temps de réagir au stimulus sonore ni de gérer l'abondance de véhicule.

À 110 km/h, un véhicule met 1,31 s (seconde) pour parcourir 40 m alors que le signal généré met 0,12 s. La chauve-souris a donc 1,19 s (= 1,31-0,12), pour réagir. Cependant, à 40 m dans un environnement bruyant, le son devient moins perceptible et il ne faut pas qu'un autre véhicule arrive dans l'autre sens au même moment réduisant les possibilités d'évitement du Chiroptère. Si une chauve-souris franchit la chaussée à 10 m de la source sonore, elle n'aura que 0,30 s (0,33-0,03) pour réagir ce qui semble déjà compromis pour elle ne serait-ce que par l'aspiration du véhicule. À 130 km/h, si la chauve-souris aborde la chaussée à 10 m de l'avertisseur, elle n'aura que 0,25 s pour réagir avant que la voiture ne la percutte.

Dans de telles situations, les chances de survies d'un rhinolophe qui se risque à traverser semblent presque nulles. Il faut donc travailler d'autres options pour ces voies à grande circulation (voir plus bas la partie sur la mise en place d'un corridor expérimental).

Au-delà de toutes ces considérations sur la perception des sons, un tel dispositif ne sera probablement pas efficace sur une voie routière à trafic dense et continu où les animaux ont certainement une perception évidente du danger mais forcent le passage bloqué pour eux ou bien s'en détournent réduisant ainsi leur espace vital (fragmentation). Les études de mortalité routière sur les Rhinolophidés semblent bien le montrer. L'utilisation de bandes d'avertissement sonore devrait se faire en priorité sur les voies à passages de véhicules discontinus et non prévisibles et avec des vitesses inférieures à 100 km/h ce qui laisse déjà un grand nombre de possibilités de réalisations.

Malgré tout, un dispositif d'avertisseur sonore dans un contexte précis sur autoroute reste à étudier et évaluer.

Mise en place d'un corridor expérimental sur la RN 113

Le dispositif expérimental élaboré vise à **faciliter le franchissement de la RN113** par les Chiroptères en rétablissant un continuum de circulation aérienne entre le nord et le sud de la route nationale grâce à un **couloir pour les chauves-souris**. Du fait de l'absence de relief de la plaine de Crau, il n'existe en effet que très peu de passages inférieurs sous la RN113 et l'A54 qui ne disposent que de trois passages à faune inférieurs peu adaptés (trop bas et certains inondés). L'objectif est donc d'améliorer et tester un passage au-dessus de la voie rapide en réaménageant un pont existant déjà fréquenté par les deux espèces ciblées par le programme LIFE+. Son principe de fonctionnement se base sur la capacité d'apprentissage des Chiroptères face à une nouvelle situation paysagère. Les chauves-souris sont extrêmement sensibles aux modifications de leur environnement. Si un élément disparaît (coupe d'un arbre par exemple), ou si un élément apparaît (pose d'une caméra dans le cadre de la réalisation du film du LIFE+ CHIRO MED) sur leur axe de déplacement, elles modifient leur route de vol. Cette observation est également vérifiée sur les lieux de capture au filet : si un filet est posé durant plusieurs nuits consécutives au même endroit, les chauves-souris vont se faire prendre la première nuit et éviteront de passer à l'emplacement du filet les nuits suivantes, même si celui-ci est retiré. Elles reprendront cependant leurs habitudes de vol après quelques jours.

En intégrant un nouvel élément (corridor artificiel) dans leur environnement, leur curiosité est sollicitée. Elles ont alors besoin de temps pour analyser ce nouvel élément, constater que le passage est sécurisé, protégé du vent, de la lumière et du bruit. L'objectif est qu'elles aient suffisamment confiance en ce corridor pour modifier leurs routes de vol et emprunter ce passage.

L'aménagement de ce dispositif expérimental s'intègre dans plusieurs démarches de rétablissement de continuités écologiques, dans une démarche globale de la fonctionnalité écologique du territoire, dans le Plan national d'action en faveur des Chiroptères (implications nationales et régionales), dans les mesures de rattrapage suite au bilan LOTI* (national), dans les démarches en cours sur les Trames Verte et Bleue (régional et local), dans la promotion de mesures innovantes pour la nouvelle A54 qui doit s'ajouter aux routes existantes sur 26 km au cœur de zones de chasse des espèces, dans sa requalification environnementale sur les sections existantes (Paquet Vert Autoroutier* et Programme De Modernisation des Infrastructures*) ainsi que dans l'application des DOCOB Natura 2000* (régional et local).

Acteurs à solliciter

Avant d'entreprendre la réalisation d'un dispositif de franchissement routier sur un ouvrage d'art, il est nécessaire de contacter :

- le gestionnaire de la voie franchie (Direction Interdépartementale des Routes - DIR, ou Conseil général, ou Société concessionnaire d'autoroute ou Réseau Ferré de France - RFF),
- le gestionnaire de la voie portée,
- les élus locaux dont les citoyens utilisent ces voies.

La DIR, gestionnaire des voies portée et franchie dans la zone d'implantation du dispositif expérimental, s'est beaucoup investie dans ce projet.

Choix du site expérimental

Contraintes de site

Un recensement des contraintes techniques et de sécurité est à effectuer au préalable à toute installation.

✓ Attention à ne pas retenir un ouvrage qui souffre d'une pathologie (fragilité globale de l'ouvrage et fissures), qui risque de poser des problèmes de stabilité.

✓ Cerner les contraintes d'exploitation qui s'appliquent à l'ouvrage :

- **voie(s) portée(s)** : prévoir que la largeur du dispositif peut nécessiter une modification de la largeur de la chaussée, voire du nombre de voies de circulation. Certaines contraintes d'exploitation de la voie peuvent limiter la possibilité de modification du profil en travers (par exemple sur un itinéraire prévu pour le passage de convois exceptionnels),
- **voie(s) franchie(s)** : les travaux d'aménagement en rive d'ouvrage, et donc en surplomb de voie(s) franchie(s), ne doivent pas générer de désordres, contraintes ou insécurité sur ces dernières. Le projet doit se plier aux contraintes d'exploitation des voies franchies, notamment pour l'organisation et la planification des travaux.

À noter le cas particulier en présence d'une voie ferroviaire :

1. le tiers doit solliciter l'avis de la SNCF Infra (qui assure la gestion, l'exploitation et la maintenance du réseau ferré pour le compte de RFF), pour les interventions susceptibles d'avoir des conséquences sur les circulations ferroviaires (consignation caténaire, ralentissement, interruption de circulation) et faire préinscrire les travaux relatifs à la réalisation du dispositif auprès des services de RFF, ce délai pouvant aller jusqu'à 3 ans,
2. RFF et la SNCF Infra proposent alors sur cette base des créneaux d'interventions envisageables au vu des plages de travaux déjà prévus et du plan de charge de la SNCF. Si la réalisation de ces opérations nécessite l'accès au domaine public ferroviaire, le tiers est tenu d'aviser la SNCF Infra de son intervention sur le dit domaine, et ce, en respectant un préavis de 6 mois, afin que la SNCF Infra intervienne en accompagnement des agents du tiers,
3. pour les interventions susceptibles d'avoir des conséquences sur les circulations ferroviaires (consignation caténaire, ralentissement, interruption de circulation), une compensation financière peut-être demandée,
4. le tiers est tenu d'élaborer en application de la réglementation en vigueur, toute mesure de protection et de prévention qui s'impose, notamment les documents suivants :
 - des notices particulières de sécurité ferroviaire,
 - des plans de prévention,
 - des documents établis au titre du coordinateur SPS (coordinateur sécurité prévention).

2.2. Description du site expérimental

L'aménagement de ce couloir expérimental pour les chauves-souris a été réalisé sur un ouvrage existant situé à proximité de sites de chasse connus du Grand Rhinolophe et du Murin à oreilles échancrées déterminés en 2009 par télémétrie. Il se trouve à moins de 1,5 km au nord d'un secteur très fréquenté par de nombreuses espèces de chauves-souris, le bois de Leuze (Saint-Martin-de-Crau, Bouches-du-Rhône), à 600 m d'un secteur boisé utilisé par le Grand Rhinolophe dans la zone d'activité de Saint-Martin-de-Crau à l'est de la baisse de Raillon (étang) et à proximité immédiate au sud du boisement « les chênes verts » utilisé en chasse par le Murin à oreilles

échancrées. De plus un axe de déplacement important entre le complexe Crau-Camargue et les Alpilles est pressenti dans ce secteur (cf. carte p19).

Cet ouvrage est amené à être rénové dans le cadre de la requalification de la RN113 en autoroute A54 (élargissement de la voie franchie). La voie franchie est la RN113, la voie portée permet une circulation à double sens : vers le nord, la bretelle de l'échangeur n°10 de la RN113 en direction de Saint-Martin-de-Crau ; vers le sud, l'accès au pôle d'activités de Saint-Martin-de-Crau. L'ouvrage est utilisé par des camions poids lourds quotidiennement dans les deux sens de circulation.



Localisation de l'emplacement de l'ouvrage d'art. © S. Fourasté, IGN, Google Earth

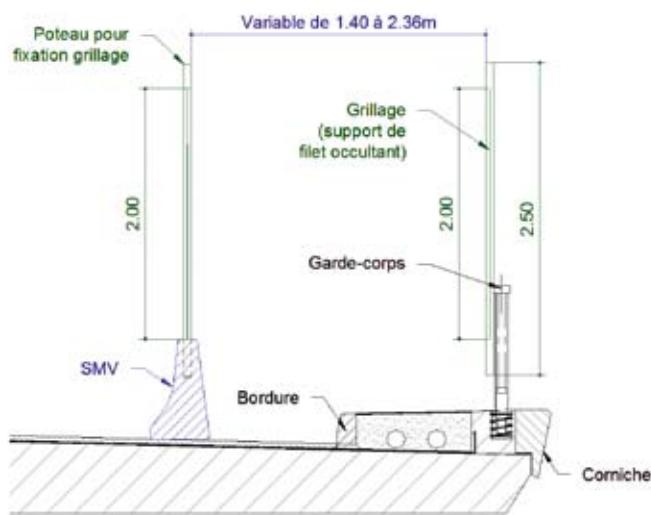
Configuration du corridor expérimental

Il se traduit par un couloir aménagé en rive de tablier*, empruntant l'un des trottoirs de l'ouvrage et une partie de la chaussée. Le couloir est matérialisé par des claustras* qui protègent du vent, de la lumière et atténuent le bruit.

Ces claustras, dispositifs provisoires, sont constitués :

- côté rive : d'une clôture grillagée de type chantier, fixée sur les garde-corps* existants de l'ouvrage,
- côté chaussée : d'une clôture grillagée de type chantier portée par un dispositif de séparation de voies en béton (GBA*).

Le dispositif d'occultation vient se fixer sur les clôtures grillagées.



Profil en travers du corridor expérimental.

Les équipements retenus pour ce dispositif expérimental se devaient de respecter les contraintes de sécurité routière sur et sous ouvrage : s'assurer du non-basculement des équipements sur les voies, garantir la fonctionnalité de retenue des garde-corps, séparateur de voie (GBA) répondant aux normes de sécurité routière, etc.

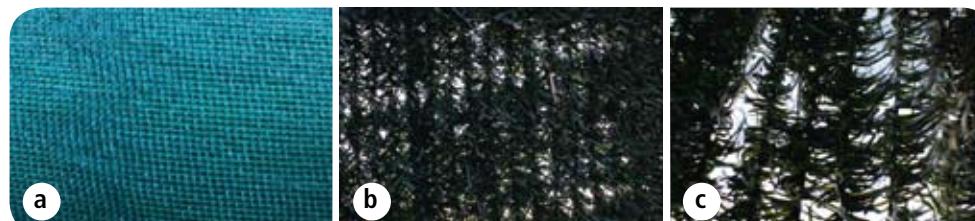
Cet ouvrage est un prototype spécifique, modulable pour être modifié en conséquence lors de l'évaluation du comportement des Chiroptères. Le choix d'équipements couramment utilisés sur chantier de génie civil répondait à ce besoin : les GBA permettent d'ajuster la largeur du dispositif et de la changer, le cas échéant, pour tester plusieurs modalités de largeur afin de définir le type de passerelle idéale pour les Chiroptères. Cependant, afin de conserver une circulation à double sens sur la voie portée selon le souhait des élus locaux, la largeur maximale disponible pour le dispositif a été limitée à 1,56 m. De ce fait, seule cette modalité de largeur du couloir pour chauves-souris a finalement été testée lors des observations (un couloir plus étroit étant moins favorable pour les Chiroptères).



Différentes vues du dispositif de franchissement de la RN113. © A. Renaux

Le couloir à chauves-souris s'étend sur 58 m de long. Une extension de la paroi extérieure a été mise en place vers le sud de manière à réduire la discontinuité entre l'ouvrage et la végétation environnante. Cette extension a été limitée à une quinzaine de mètres pour des raisons de visibilité et de sécurité des usagers de la route.

Pour atténuer la lumière efficacement, le claustra utilisé doit avoir un pouvoir occultant supérieur à 90%. Lors de la passation du marché, il a été retenu un claustra 100% occultant (photo a). Mais celui-ci s'est avéré mal-adapté aux conditions du site : en milieu très venté, sa forte résistance au vent entraîne un risque d'arrachement et d'envol sur les voies. Après rupture des systèmes d'accrochage des grilles et arrachage d'une partie du claustra 100% occultant au cours d'un épisode de très fort vent (plus de 80 km/h), une adaptation a dû être faite. Le choix s'est porté sur un claustra ajouré tel qu'une haie artificielle, qui offre un pouvoir occultant supérieur à 90% sans vent (photo b) et inférieur en cas de vent (photo c) (à noter qu'il y a également moins de Chiroptères en circulation en cas de vent fort).



Les différents revêtements occultants utilisés : a) Claustra 100% occultant posé en premier lieu, b) haie artificielle sans vent, c) haie artificielle par vent fort. © S. Fourasté

Conditions d'exploitation routière en présence du dispositif expérimental

L'installation d'un tel dispositif sur une route circulée, modifiant les conditions de circulation (voies réduites) doit s'accompagner d'une signalisation provisoire pour avertir les usagers, ainsi qu'une surveillance accrue du gestionnaire pour s'assurer du maintien en bon état du dispositif pendant toute la durée de son installation (stabilité des équipements, des fixations, etc.), ceci pour la sécurité des usagers.

Ainsi des marquages au sol provisoires et des panneaux d'information et d'annonce de modification de la chaussée ont été mis en place.

Des panneaux d'informations réalisés dans le cadre du LIFE+ CHIRO MED ont également été posés pendant la période d'expérimentation.



Different road signs indicating the construction site of the crossing device. © S. Fourasté

Contraintes lors de l'étude

Urbanisation autour du site et pollution lumineuse

L'ouvrage est l'un des points d'accès à la zone d'activités de Saint-Martin-de-Crau. Ce pôle économique est en expansion et de nouveaux bâtiments ont été construits juste au sud de l'ouvrage d'art entre la réalisation des observations comportementales de Chiroptères sans dispositif, en 2011 et la phase expérimentale avec le dispositif réalisée en 2013. Ces bâtiments industriels équipés d'éclairages extérieurs le long des murs et des voiries génèrent une pollution lumineuse importante et donc un biais non négligeable sur la fréquentation du site par les chauves-souris. Cette difficulté a été suffisamment anticipée pour mener un travail de sensibilisation avec la municipalité, la communauté urbaine et les entreprises concernées pour réduire (en nombre et en intensité) et réorienter les éclairages déplacés par le vent (vers le sol plutôt que à l'horizontale voire vers le ciel) afin de réaliser les observations dans des conditions les plus proches possibles des conditions d'observation initiales. (A6 et E5)



Pollution lumineuse au sud de l'ouvrage retenu pour expérimenter le couloir pour chauves-souris avant prise en compte par l'industriel des demandes du GCP pour une meilleure orientation des éclairages. Photo prise depuis la voie portée, au nord de l'ouvrage. © E. Cosson

Vent

Le secteur d'étude se trouve dans le couloir de vent qui longe le Rhône. Il est donc fréquemment soumis à de forts épisodes de Mistral venu du nord.

Cette contrainte climatique nécessite de choisir les matériaux et leur fixation de manière à résister aux vents forts.

Le premier type de claustra utilisé avait un pouvoir occultant important (100%) et n'était pas ajouré. Il offrait une trop grande résistance au vent et a été arraché à deux reprises. Il a été remplacé par un claustrum ajouré dont le pouvoir occultant est supérieur à 90% sans vent et d'environ

70% en cas de vent. Pour une installation transitoire, un claustrum léger 100% occultant est la solution idéale et peu onéreuse mais doit être ajouré dans des zones géographiques à vent fort.

Un matériau de type « haie artificielle » s'est révélé très adapté aux conditions de vent locales.

Les systèmes de fixation des clôtures sur GBA sont relativement classiques pour ce type de chantier et n'ont pas posé de problème. Une attention particulière a toutefois été portée sur les fixations côté garde-corps, face du pont exposée au vent, pour s'assurer que la clôture ne bascule pas sur la voie franchie (RN113) et portée. L'extension du dispositif, côté sud, a nécessité de lever les clôtures de chantier par des plots en béton et de les haubaner pour qu'elles résistent au vent.



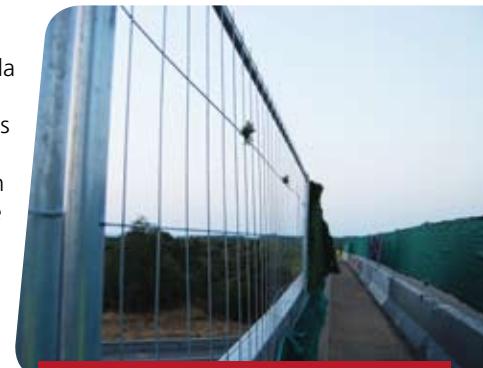
Haubans consolidant la structure contre le vent. © S. Fourasté

Vandalisme

La haie artificielle a été volée à plusieurs reprises durant la phase d'expérimentation.

Des dispositifs antivol existent (type filin acier) mais n'ont pas été anticipés dès l'origine du projet.

Finalement, leur coût se révélait plus onéreux qu'un remplacement de la haie en cas de vol. Aucun système antivol n'a donc été mis en place au cours de l'expérimentation après les premiers cas de vandalisme et les haies artificielles ont été remplacées. Nous n'avons plus déploré de vandalisme par la suite.



Dispositif vandalisé : haie volée. © S. Fourasté

Durée de pose

Il apparaît que la durée de pose avant l'évaluation est certainement un peu courte pour que les Chiroptères intègrent totalement le dispositif. L'idéal est certainement d'évaluer un tel dispositif sur 5 années consécutives afin de dégager des résultats définitifs.

Les dégâts occasionnés ont fortement perturbé le fonctionnement correct du dispositif qui est resté incomplet (manque tout ou partie d'une des deux parois du couloir) pendant plus de 50% du temps entre sa pose le 22 mars et fin septembre.

Évaluation du dispositif**Méthode**

Une méthodologie similaire à l'évaluation des avertisseurs sonores (voir précédemment dans le présent guide) a été appliquée par le Groupe Chiroptères de Provence (GCP) au niveau du couloir pour chauves-souris : 78 enregistreurs automatiques d'ultrasons (AnaBat™) ont été placés durant 24 nuits réparties de début juin à fin août pour identifier les zones les plus fréquentées autour de l'ouvrage et repérer la présence du Grand Rhinolophe.

Des soirées et matinées d'observation ont été réalisées de début juin à fin septembre 2013. Elles ont permis d'observer les comportements des chauves-souris au niveau du dispositif et de ses environs directs avec la caméra thermique et à vue (contact visuel direct) lors des périodes de transit nocturne.

Comme pour le dispositif d'avertissement sonore, le Murin à oreilles échancrées, difficile à identifier avec les AnaBat™ et capable de voler en hauteur, n'a pas été ciblé par cette évaluation bien qu'il semble emprunter ce pont. Le Grand Rhinolophe est principalement visé par cette expérimentation. Cependant, les observations ont été menées sur l'ensemble des Chiroptères qui ont fréquenté le site durant la période d'observation.

En complément, un suivi de mortalité a été réalisé sur les bandes d'arrêt d'urgence et le bas côté de la RN113, sur 100 mètres en amont et en aval de l'ouvrage (co-financement SNB – Stratégie nationale pour la biodiversité).

Résultats des observations comportementales

Seuls cinq contacts de Grand Rhinolophe ont été enregistrés et aucun n'a pu être observé directement à vue ou avec la caméra thermique. Aucun élément ne permet de confirmer que l'espèce ait franchi la RN113 au niveau du dispositif ou non. Cependant la fréquentation du site par le Grand Rhinolophe en dehors des nuits d'observation et de pose d'AnaBat™ n'est pas à exclure. Les parcelles situées de part et d'autre de l'ouvrage sont des terrains de chasse avérés de l'espèce. De plus, une étude durant l'automne 2013 pour le compte d'ASF sur son réseau local a permis de découvrir une forte activité automnale de l'espèce sur un secteur de franchissement de l'autoroute A54 situé juste à l'est de Saint-Martin-de-Crau, à moins de 5 km de l'ouvrage, en contexte périurbain dégradé. Les grands rhinolophes franchissent donc cette route nationale dans ce secteur.



Répartition des contacts de Chiroptères autour de la passerelle. © Google Earth

- Les espèces identifiées aux abords directs du dispositif :
- Grand Rhinolophe,
 - Pipistrelle de Kuhl,
 - Pipistrelle commune,
 - Pipistrellus pygmée,
 - Pipistrelle de Nathusius,
 - Vespière de Savi,
 - Sérotine commune,
 - Minioptère de Schreibers,
 - Murin sp,
 - Oreillard sp.



Que le dispositif soit complet ou non, les chauves-souris observées ont majoritairement franchi la RN113 au niveau des cyprès situés sur le terre-plein central de part et d'autre de l'ouvrage. Ces arbres hauts font office de relais paysager pour les chauves-souris qui peuvent garder un vol assez haut pour franchir la 2x2 voies.



Lors des observations réalisées avec le dispositif complet, quelques individus ont très ponctuellement longé la bordure extérieure du dispositif pour franchir la RN113 alors que cela n'avait pas été observé auparavant.

Après quatre semaines avec le dispositif complet, des modifications de trajectoire de vol ont été observées plus régulièrement avec notamment des individus qui commençaient à franchir la RN113 dans l'axe des cyprès puis déviaient leur trajectoire pour se rapprocher du couloir expérimental au dessus du terre-plein central puis s'écartaient de nouveau en fin de traversée pour retrouver l'axe de vol habituel après les cyprès. Ce comportement a été observé dans les deux sens de franchissement de la RN113.

Après cinq semaines en présence du couloir complet, de nouveaux comportements ont été observés : des individus ont longé le dispositif à environ 1 m de hauteur au-dessus des claustras, dont certains individus qui ont plongé entre les parois du couloir pour l'emprunter sur quelques mètres.

Aucun individu n'a été vu dans le couloir sur toute sa longueur, cependant ces résultats sont très encourageants quant à l'appropriation du dispositif par les Chiroptères. Il semble que les cyprès situés sur le terre-plein central constituent un passage fonctionnel, utilisé par plusieurs espèces de Chiroptères pour franchir la RN113. Ces arbres relais permettent de limiter la mortalité des chauves-souris dans ce secteur (sur les 88 cadavres de chauves-souris trouvés en 2010, aucun n'a été trouvé dans cette zone) ; le suivi de mortalité réalisé en 2013 tous les 3 jours a permis de trouver une Pipistrelle commune tuée en chasse et non en transit (insecte encore dans la bouche) au tout début du mois de juin. Le dispositif était alors incomplet.



Ces observations comportementales montrent que même au niveau d'un axe de vol fonctionnel déjà utilisé, si un passage plus sécurisé et fiable est mis en place, les chauves-souris finissent par l'adopter et utiliser cette structure facilitatrice de franchissement routier. Malgré une absence de démonstration évidente dans le cas de cette expérimentation, nous restons confiants dans le fait que le Grand Rhinolophe et le Murin à oreilles échancrées sauront s'approprier ce type de dispositif. Un dispositif similaire a produit les premiers résultats favorables en 2013 sur la passerelle de Bourges aménagée en dur de manière définitive et ceci malgré un claustra de 1 m de hauteur seulement fixé sur le garde-corps.

Coût du dispositif expérimental

Le couloir pour chauves-souris est constitué de deux parois sur 58 m de long. Le coût de l'installation s'élevait à 13 403,50 € HT (16 030,59 € TTC) dont :

- location clôtures : 2 106 € HT (2 519 € TTC) (15,6 €/m²),
- location dispositif béton mis en œuvre côté chaussée : 2 730 € HT (3 265 € TTC) (45,5€/m²),
- achat filet occultant sur clôture : 3 307,5 € HT (3 956 € TTC) (15,75 €/m²),
- signalisation d'accompagnement horizontale et verticale (sécurité routière et information) et remise en état : 5 260 € HT (6 291 € TTC).
- Une extension de la paroi extérieure d'environ 15 m vers le sud a entraîné un surcoût de 1 331,25€ HT (1 592,18 € TTC).
- Le claustra a du être adapté sur la partie supérieure des clôtures côté garde-corps pour un montant de 899,79€ HT (1 076,15€ TTC). Cette dépense a été répétée une nouvelle fois pour compléter le dispositif vandalisé (même montant).

La totalité des dépenses liées au corridor expérimental s'élève à 16 534,33 € HT (19 775,07 € TTC).

À noter que les opérations de surveillance et maintenance du dispositif ont été largement assurées par le gestionnaire de la voie (DIR Méditerranée), permettant de limiter le coût global de l'opération.

Évaluation du coût d'un corridor définitif

Le coût d'un dispositif permanent de franchissement au-dessus d'une voie routière, type paroi opaque fixée sur l'ouvrage, peut-être estimé sur la base de ratios de l'ordre de 500 € HT/m² à 700 € HT/m².

L'élargissement d'un ouvrage pour offrir un couloir de passage sur l'ouvrage est plus difficile à estimer, car plus complexe à mettre en œuvre et pas toujours adapté selon le type d'ouvrage existant. Les retours d'expériences sur ce type d'opération conduisent à un ratio de l'ordre de 5 500 € HT/m² d'élargissement.

Une passerelle dédiée au passage de la faune peut également être envisagée, éventuellement construite à proximité immédiate de l'ouvrage existant. Un ratio de 3 500 € HT/m² peut être utilisé en étude préliminaire. Outre le fait qu'une solution neuve permet toute latitude pour la configuration géométrique du passage, elle s'avère parfois moins onéreuse qu'un projet d'élargissement d'une structure existante (complexité structurelle, contrainte d'exploitation).

Toute estimation est évidemment à adapter en fonction des données et contraintes du site. Le(s) gestionnaire(s) validera(ont) le projet au regard des contraintes d'exploitation des voies, et un bureau d'étude génie civil étudiera la faisabilité structurelle du projet.



Bilan et perspectives d'améliorations

Ce dispositif d'aide au franchissement des routes pour les chauves-souris est innovant, expérimental et par là-même, nécessite d'être ajusté et amélioré.

À l'issue de cette saison de mise en situation, les résultats montrent, à l'échelle de quelques semaines seulement, que les chauves-souris ont eu besoin de temps pour commencer à s'approprier cette structure. Il semble indispensable de réaliser un tel travail sur un dispositif en dur pour assurer sa stabilité dans le temps. Le dispositif doit être constant et fiable pour être adopté par les Chiroptères. De plus, pour valider l'efficacité d'un tel dispositif, il est nécessaire d'augmenter le temps d'expérimentation à plusieurs saisons consécutives. En effet, les chauves-souris apprennent et cette connaissance de leur environnement et des routes de vol se transmet d'année en année aux autres individus. Une évaluation à moyen terme sur un dispositif resté en place pendant 3 à 5 ans est fortement souhaitable. Enfin, afin d'augmenter le pouvoir occultant du claustra tout en conservant une résistance au vent assez faible, il est possible de doubler la haie artificielle : sans vent : 100%, avec vent ~90% tout en offrant une résistance faible à la pression du vent.

Par ailleurs, pour que ce type de structure, ciblant la faune, soit réalisé en dur sur un ouvrage d'art existant ou à rénover, il est nécessaire de l'intégrer à l'ouvrage dès la conception afin qu'il puisse être multi-usages : utile à la circulation humaine et au déplacement de la faune. Ceci peut faciliter son acceptation. Ainsi, une passerelle pour Chiroptères peut également être empruntée par un passage pour piétons ou une voie cyclable, non éclairée bien entendu !

Dans le cadre de la requalification ou de la construction d'un ouvrage, si la structure de l'ouvrage portant le permet, un élargissement de la voie portée peut être prévu pour aménager le passage à faune/piétons/cyclistes. Celui-ci pourra alors être protégé de la lumière grâce à deux palissades créant un couloir de trame « noire », protégé de la lumière et facilitant le déplacement des chauves-souris. Cette délimitation physique protège aussi les piétons ou cyclistes des automobilistes. Il a également été imaginé de réaliser un élargissement latéral réservé aux Chiroptères et non accessible aux faunes marcheuses dont l'Homme. Cette structure allégée est alors fixée sur le côté de l'ouvrage existant et se trouve en surplomb de la voie franchie. Ce type d'aménagement techniquement faisable pose cependant des contraintes d'installation sur des voies en exploitation en termes de sécurité, par exemple, en cas de fréquentation humaine malgré une interdiction.

Si le pont est peu emprunté par les automobiles, il peut être avantageusement et à faible coût envisagé d'installer sur l'ensemble des garde-corps de l'ouvrage des palissades opaques en veillant à en reconnecter les extrémités au paysage. Ce système de palissade est déjà expérimenté en France et s'avère fonctionnel.



CONCLUSION

Le programme LIFE+ CHIRO MED s'inscrit dans une démarche de requalification environnementale du réseau existant dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier et du Programme De Modernisation des Infrastructures pour être en accord avec le Grenelle de l'environnement. Ainsi, les dispositifs expérimentaux de facilitation du franchissement des routes par les Chiroptères ont été mis en place sur le réseau existant afin d'améliorer sa perméabilité pour la biodiversité. Les dispositifs d'avertissement sonore sont permanents et voués à rester en place à l'issue du programme. Le couloir pour chauves-souris expérimenté sur un ouvrage à rénover, était démontable et pourra être bâti en dur lors des travaux à venir sur l'ouvrage.

Cette expérience avait aussi pour but de démontrer l'utilité et la possibilité de réaménager les ponts existants comme passage à Chiroptères au-dessus de routes anciennes où peu de projets d'amélioration environnementale sont présentés. Ce sont bien ces routes existantes, celles qui tuent la faune chaque jour, qu'il est urgent d'améliorer avant de voir disparaître des populations locales de Chiroptères. Avec les connaissances acquises, il est attendu des nouveaux projets routiers qu'ils intègrent les nécessaires passages à faune dès leur conception et en nombre suffisant. Une bonne conception initiale permettra notamment de limiter les surcoûts liés à la modification des infrastructures existantes (intégration du surdimensionnement des passages hydrauliques aussi souvent que possible, modification de la conception d'ouvrages d'art comme les ponts surplombant la voie nouvelle, acquisitions foncières au droit des transparences pour pérenniser le paysage aux points de passage, etc.).

Les premières conclusions expérimentales des actions du programme LIFE+ CHIRO MED ont d'ores et déjà pu alimenter les études préalables du contournement autoroutier d'Arles, qui ont été amendées avec des propositions destinées à réduire l'impact sur les Chiroptères : aménagements d'ouvrages existants (claustra fixes), voie réservée sur ouvrage (largeur 3 m), passerelle dédiée, aménagements paysagers de guidage, surdimensionnement d'ouvrages hydrauliques avec dégagement vertical de plus de 2 m, gestion paysagère des abords des voies, etc. De plus ces expérimentations vont nourrir des projets futurs locaux mais également hors Camargue dans le cadre de requalifications ou de constructions d'infrastructures.

Les outils expérimentés ici semblent être efficaces pour améliorer les conditions de franchissement des Chiroptères au niveau des routes dans le contexte camarguais. Toutefois, ceux-ci doivent être adaptés à chaque contexte local (territoire et espèces). Ce guide présente des études de cas précises mais non des dispositifs standards fonctionnels en toute circonstance tel une recette !

Chaque situation est singulière et doit être étudiée au préalable afin d'identifier les habitats des Chiroptères menacés, les points de conflit du territoire et de proposer des solutions et des dispositifs adaptés.




Mémos

Pour orienter vos projets d'amélioration de la perméabilité des infrastructures routières pour les Chiroptères, vous pouvez consulter les Mémos !

À noter également, la parution programmée d'un guide intitulé « Chiroptères et infrastructures de transport » dont la rédaction est dirigée par le SETRA.

L'INSTALLATION D'UN DISPOSITIF D'AVERTISSEMENT SONORE À L'INTENTION DES CHIROPTRÈS

Si un secteur est identifié comme point noir ou zone de conflit entre la circulation routière et les Chiroptères :

- préférer l'aménagement d'un passage inférieur de grande dimension (plus de 3x3 m), plus sécurisé et favorable à la majorité des espèces de chauves-souris (se reporter au Guide SETRA 2008) ;
- définir les besoins du franchissement en fonction de la/des espèces visées :
 - caractéristiques de la zone de franchissement (largeur de la zone, structure paysagère aux abords de la zone...),
 - comportement des Chiroptères au niveau de cette zone ;
- analyser la sensibilité auditive de la/des espèces cibles (identifier la gamme de fréquence de grande sensibilité – audiogramme comportemental de l'espèce) ;
- étudier les caractéristiques de la chaussée : revêtement courant, caractéristiques acoustiques de ce revêtement ;
- identifier le revêtement (ou autre dispositif) adéquat qui va générer un avertissement sonore adapté à l'espèce ciblée. Les fréquences sonores d'avertissement doivent être inaudibles par l'Homme pour limiter la perturbation humaine ;
- identifier le gestionnaire de la voie routière et recueillir ses contraintes d'exploitation, d'entretien et gestion : usages à maintenir, emprises disponibles, planification d'intervention, distances minimales avec les habitations, compatibilité du dispositif avec le Code de la Route, etc. ;
- faire valider les principes du projet par tous les acteurs ;
- intégrer la pose du dispositif à un chantier de réfection de chaussée pour limiter les coûts d'installation ;
- définir un planning de réalisation compatible avec le cycle de vie des espèces visées (périodes de déplacement) et les contraintes d'intervention des gestionnaires (travaux de nuit, disponibilité des équipes d'intervention pour sécuriser la zone de travaux, périodes favorables pour limiter la gêne à l'usager ou moins accidentogène).



L'INSTALLATION D'UN DISPOSITIF SUR UN OUVRAGE SUPÉRIEUR DE FRANCHISSEMENT EXISTANT

Si un ouvrage d'art existant est identifié comme un potentiel corridor pour les Chiroptères au-dessus d'une infrastructure existante :

- définir les besoins du franchissement en fonction de la ou des espèces visées :
 - caractéristiques du corridor à mettre en place : largeur de passage utile pour le corridor, protection du passage (vis-à-vis de la pollution lumineuse, du passage piéton et cycles ...), matériaux/surfaces à privilégier (platelage ...),
 - aménagements paysagers des abords (se raccorder aux trames Verte et « noire » existantes afin d'établir une continuité écologique) ;
- planter le corridor sur ouvrage d'art : emprise à prévoir, faut-il une voie réservée ? ;
- étudier le potentiel de l'ouvrage d'art : profil en travers existant, dimensionnement de la structure pour supporter l'ajout de matériel (surpoids ?), structure (pathologie ?) ;
- identifier les différents gestionnaires (ouvrage d'art, voie(s) portée(s) et franchie(s), réseaux, etc.) et recueillir leurs contraintes d'exploitation, d'entretien et gestion : usages à maintenir, emprises disponibles, planification d'intervention ;
- faire valider les principes du projet par tous les acteurs ;
- définir un planning de réalisation compatible avec le cycle de vie des espèces visées (périodes de déplacement) et les contraintes d'intervention des gestionnaires (travaux de nuit, disponibilité des équipes d'intervention pour sécuriser la zone de travaux, périodes favorables pour limiter la gêne à l'usager ou moins accidentogène).

L'USAGE DES OUVRAGES D'ART COMME CORRIDOR ÉCOLOGIQUE

- Passage supérieur (exemple LIFE+ CHIRO MED)
 - sur un ouvrage d'art existant : adaptation de la structure par modification du profil en travers, modification de l'usage initial, ajouts d'équipements, élargissements, etc. ; le projet reste contraint par le potentiel de la structure existante à supporter un nouvel usage,
 - sur un ouvrage d'art neuf : définir suffisamment en amont l'emprise (largeur) du corridor, et les équipements spécifiques (hauteur de claustra), platelage, non-éclairage, ainsi que les connections avec les abords de l'ouvrage.
- Passage inférieur
 - sur un ouvrage d'art existant : difficile de modifier la structure existante (géométrie de passage), mais possibilités de travailler sur les abords et sur la naturalisation du sol sous l'ouvrage,
 - sur un ouvrage d'art neuf : définir suffisamment en amont les besoins géométriques du corridor et les aménagements en amont ainsi qu'en aval de celui-ci,
 - la création d'un passage sous une route existante peut se faire par fonçage avec un diamètre suffisant de plus de 150 cm avec des adaptations spécifiques pour un usage multi faune (faible pente, qualité du sol, verticalité des parois, etc.). La création sur une voie en déblais facilite la tâche mais il est possible de le faire sous une voie en déblais faible voire nul à condition de reculer l'amorce du fonçage ou de descendre son amorce en tranchée lorsque les contraintes hydrauliques le permettent.



GLOSSAIRE

Biodiversité : Désigne la diversité des êtres vivants. Cette diversité s'exprime et joue un rôle à tous les niveaux d'organisation de la vie : la diversité des espèces, la diversité au sein d'une espèce, entre les individus qui la constituent à un instant donné, la diversité écologique, celle d'associations d'espèces dans un milieu donné. (source : stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020).

Variabilité des organismes vivants de toute origine compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celles des écosystèmes (source : convention sur la diversité biologique).

Diversité des organismes vivants, qui s'apprécie en considérant la diversité des espèces, celle des gènes de chaque espèce, ainsi que l'organisation et la répartition des écosystèmes. Le maintien de la biodiversité est une composante essentielle du développement durable. (source : Vocabulaire de l'environnement paru au JORF du 12 avril 2009).

Bilan LOTI : La loi 82-1153 d'Orientation des Transports Intérieurs (LOTI) du 30 décembre 1982 prévoit la production de bilans socio-économiques et environnementaux 3 à 5 ans après mise en service des grandes infrastructures de transport. L'objectif d'un tel bilan est d'analyser et d'expliquer les écarts entre l'évaluation économique et sociale établie à l'issue de l'enquête publique et les observations réelles après la mise en service de l'infrastructure. Il s'agit également de vérifier le respect des engagements de l'État à l'issue de l'enquête publique. Par ailleurs, cette confrontation est un retour d'expérience utile qui permet d'améliorer les méthodologies d'évaluation ex ante (évaluation à l'issue de l'enquête publique) et d'éclairer les choix ultérieurs.

Claustra : paroi occultante plus ou moins ajourée.

Connectivité écologique : Existence d'un lien fonctionnel qui lie ou relie des éléments (habitats naturels ou semi-naturels, zones tampon, corridors biologiques) entre eux, du point de vue d'un individu, d'une espèce ou d'une population, pour tout ou partie de leur cycle biologique, à un moment donné ou pour une période donnée. Cette notion traduit la possibilité (et son taux de réalisation) pour un individu ou une population à se déplacer pour réaliser son cycle biologique (croissance, alimentation) et interagir avec d'autres individus ou populations (reproduction).

Continuité écologique : La continuité écologique d'un cours d'eau ou d'une portion d'espace se définit par la libre circulation des espèces et des flux de matières (par exemple pour les cours d'eau, le bon déroulement des transports naturels des sédiments) (source : guide I de la Trame Verte et Bleue).

Corridor écologique ou biologique : Espace reliant des écosystèmes ou des habitats naturels, qui permet le déplacement des espèces ainsi que le brassage génétique de leurs populations. (source : vocabulaire de l'environnement, paru au JORF le 1er février 2011). C'est par exemple le cas des corridors rivulaires ou ripisylves (boisements situés le long des cours d'eau) qui servent à la fois d'habitats, de refuges et de couloirs de circulation à de nombreuses espèces.

Directive Habitats Faune Flore (directive 92/43/CEE du 21 mai 1992) : Un règlement pris par l'Union européenne visant à maintenir la diversité biologique des États membres par la conservation des espaces naturels et des espèces de faune et de flore sauvages d'intérêt communautaire. Le réseau Natura 2000 rassemble ces sites d'intérêt communautaire constitués de Zones Spéciales de Conservation (ZSC) définies par la Directive Habitats et de Zones de Protection Spéciale (ZPS) définies par la Directive Oiseaux (Directive 79/409/CEE du 2 avril 1979). L'annexe II DH liste les espèces dont la conservation nécessite la désignation de ZSC.

Documents d'objectifs (DOCOB), Natura 2000 : Document de référence qui établit un diagnostic et définit les mesures de gestion à mettre en œuvre pour chaque site Natura 2000. Issu d'un processus de concertation, il relève d'un droit administratif « négocié » et non d'une procédure unilatérale. (source : Natura 2000, site internet du Ministère du Développement Durable).

Écosystème : Unité écologique fonctionnelle formée par le biotope et la biocénose, en constante interaction. (source : Vocabulaire de l'environnement paru au JORF le 4/02/ 2010).

Espèce : Unité taxonomique fondamentale dans la classification du monde vivant. Une espèce est constituée par l'ensemble des individus appartenant à des populations interfécondes échangeant librement leur pool de gènes mais qui, à l'opposé, ne se reproduisent pas avec les individus constituant les populations d'autres taxa voisins qui appartiennent au même peuplement. (source : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des Sciences de l'Environnement – François Ramade). Espèce prioritaire : Espèce d'intérêt communautaire en danger et pour la conservation de laquelle l'Union européenne porte une responsabilité particulière, compte-tenu de l'importance d'une partie de son aire de répartition naturelle comprise dans le territoire européen des États Membres. Les espèces d'intérêt communautaire prioritaires sont indiquées dans l'annexe II de la Directive Habitats-Faune-Flore 92/43/CEE.

EUROBATS : Cet accord a pour but de protéger les 36 espèces de chauves-souris identifiées en Europe, au moyen de mesures législatives, éducatives et de conservation, ainsi qu'une coopération internationale entre les pays signataires et les autres gouvernements européens. Les Parties signataires de l'Accord EUROBATS sont engagées vers un but commun : la conservation des populations européennes de chauves-souris.

Fragmentation des espaces naturels : Morcellement des espaces naturels disponibles conduisant à l'isolement des populations animales et végétales d'une part et des habitats d'autre part. Cet isolement dégrade et fragilise les différents fragments et peut à terme, remettre en cause la pérennité de certains espèces ou milieux naturels.

Garde-corps : Barrière de protection placée en bord de pont.

GBA : Glissière en béton armée.

Gîtes d'hibernation : Les chauves-souris hibernent dans des cavités naturelles ou artificielles, comme les grottes, les mines, les tunnels, les caves, les fissures d'anciennes carrières, les trous d'arbre, etc. Ces gîtes leur offrent une obscurité totale, une tranquillité absolue, une température fraîche plus ou moins stable qui les préserve du gel, une ventilation légère, et un taux d'humidité généralement proche de la saturation qui évite le dessèchement de leurs ailes.

Gîtes de reproduction : De juin à septembre, les femelles se regroupent en colonie de parturition et mettent bas leur unique petit de l'année (entre mi-juin et fin juillet). Les sites occupés par ses colonies se caractérisent par une température élevée, l'absence de courant d'air, l'absence de dérangement et une nourriture abondante aux alentours. Les sites les plus favorables sont les combles et greniers, les granges, les écuries, les fissures dans les arbres, les grottes chaudes...

Gîtes de transit : Ce sont des abris occupés par les chauves-souris plus ou moins temporairement au printemps et à l'automne. Ils sont assez variés (cabanons, granges...), mais leurs conditions ne sont pas propices à la reproduction. Leur rôle est encore peu connu, ils offrent souvent un point de chute entre les gîtes d'hiver et d'été, et abritent des effectifs très variables.

Habitat, Habitat prioritaire : Lieu où vit l'espèce et son environnement immédiat à la fois abiotique et biotique. (source : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement - François Ramade).

Un habitat naturel ou semi-naturel est un milieu qui réunit les conditions physiques ou biologiques nécessaires à l'existence d'une espèce ou d'un groupe d'espèces animales ou végétales. (source Natura 2000).

Un habitat d'espèce correspond au milieu de vie de l'espèce (zone de reproduction, zone d'alimentation, zone de chasse, etc.). Il peut comprendre plusieurs habitats naturels. (source Natura 2000).

Un habitat naturel prioritaire au sens de la Directive 92/43/CEE, est un type d'habitat en danger de disparition présent sur le territoire européen des États membres où le traité s'applique pour la conservation desquels la communauté porte une responsabilité particulière, compte tenu de l'importance de la part de leur aire de répartition naturelle comprise dans ce territoire. Les types d'habitats naturels prioritaires sont indiqués dans l'annexe I de la Directive.

L'Instrument Financier pour l'Environnement (LIFE+) : Le programme LIFE+ finance des projets qui contribuent au développement et à la mise en œuvre de la politique et du droit en matière d'environnement. Ce programme facilite notamment l'intégration des questions environnementales dans les autres politiques et, de façon plus générale, participe au développement durable.

Maître d'ouvrage / pétitionnaire : Un maître d'ouvrage encore dénommé, pétitionnaire ou permissionnaire est une personne physique ou morale, publique ou privée, initiatrice d'un projet et responsable de la demande d'autorisation ou de déclaration. Le maître d'ouvrage peut être public (ministère, collectivité territoriale), parapublic (société d'économie mixte) ou privé (entreprise de droit privé). Correspondances : pétitionnaire, soumissionnaire, porteur de projet, promoteur, aménageur.

Programme de modernisation des itinéraires routiers (PDMI) : Ces programmes recouvrent l'ensemble des opérations de modernisation du réseau routier non concédé existant sans pour autant créer de nouvelles fonctionnalités et sans augmenter substantiellement la capacité du réseau. Ils seront établis pour la période 2009-2014 en tenant compte des nouvelles orientations qui se sont dégagées du Grenelle de l'Environnement. Ils traduisent ainsi le schéma national des infrastructures de transport institué par la loi du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

Paquet Vert Autoroutier (PVA) : Le 25 janvier 2010, l'État a signé le Paquet Vert Autoroutier avec plusieurs sociétés concessionnaires d'autoroutes. En contrepartie de l'allongement d'un an de leur contrat de concession, celles-ci se sont engagées à consacrer 750 millions d'euros sur 3 ans, pour requalifier d'un point de vue environnemental le réseau existant. Ce programme qui vise à rendre les autoroutes plus respectueuses de l'environnement, porte sur les 5 domaines suivants:

- la protection de la ressource en eau,
- la protection contre le bruit,
- la prise en compte de la biodiversité et de la TVB,
- l'éco-rénovation des aires de repos et de services,
- la réduction des émissions de CO2.

Services rendus par les écosystèmes ou éco-systémiques : Ce sont les bienfaits directs ou indirects que l'homme retire de la nature ; ils comprennent des services de prélèvement (nourriture, eau, bois, fibre, etc.), des services de régulation (climat, inondations, maladies, déchets, pollinisation, etc.), des services d'auto-entretien (formation de sols, photosynthèse, recyclage des nutriments) et des services culturels (bénéfices récréatifs, esthétiques, spirituels).

Schéma régional de cohérence écologique (SRCE) : C'est un nouveau schéma d'aménagement du territoire et de protection de certaines ressources naturelles (biodiversité, réseau écologique, habitats naturels) visant le bon état écologique de l'eau imposé par la Directive Cadre sur l'Eau. Le SRCE n'est pas opposable aux tiers, mais certains documents doivent être « conformes » ou « compatibles » avec lui, afin de diminuer la fragmentation écologique du territoire, pour une remise en bon état écologique des habitats naturels.

Tablier : Partie d'un pont qui porte la voie, comprenant la couverture et l'ensemble des structures porteuses.

Tragus : Appendice en saillie à l'intérieur de l'oreille.

BIBLIOGRAPHIE

- ARTHUR L. 2008. Mortalité routière des chauves-souris. http://www.museum-bourges.net/html/index_études.htm
- ARTHUR L. & L. BURETTE. 2013. Utilisation d'un aménagement de type passerelle par les Chiroptères du genre *Rhinolophus*. Mémoire de stage, 29 p.
- ARTHUR L. & M. LEMAIRE. 1999. *Les Chauves-souris maîtresses de la nuit*. Éditions Delachaux & Niestlé, Paris, FR, 268 p.
- BERTHINUSSEN A. & J. ALTRINGHAM. 2011. The effects of a major road on bat activity and diversity. *Journal of Applied Ecology*, 49 (1) : 82-89.
- BLAKE D., HUTSON A. M., RACEY P. A., RYDELL J. & J. R. SPEAKMAN. 1994. Use of lamp posts roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology*, 234 : 453-462.
- CAPO G., CHAUT J.-J. & L. ARTHUR. 2006. Quatre ans d'étude de mortalité des Chiroptères sur deux kilomètres routier proche d'un site d'hibernation. *Symbioses*, 15 :45-46.
- CAVAILHÈS J. 2013. *Chiroptères et infrastructures de transports terrestres*. Guide technique SETRA, 152 p.
- CLEVENGER A. P., CHRUSZCZ B. & K. GUNSON. 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology*, 38 : 1340-1349.
- DORGERE A. & E. COSSON. 2005. *Chiroptères sur le Mas de Leuze (Saint-Martin-de-Crau, 13). Étude diagnostique - inventaire des espèces et évaluation du risque éolien pour les Chiroptères*. SINERG, Groupe Chiroptères de Provence, 45 p.
- FORMAN R. T. T. & L. E. ALEXANDER. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29 : 207-231.
- FURHMANN M. & A. KIEFER. 1996. Fledermausschutz bei einer strassenneubauplanung ergebnisse einer zweijährigen untersuchung an einemwochentubenquartier von grossenmaushren (*Myotis myotis* Borkhausen, 1797). *Fauna und Flora Rheinland-Pfalz*, 21 : 133-140.
- GIRAUT A. & L. ARTHUR. 2013. *Effet de la lumière artificielle sur les chauves-souris*. Mémoire de stage, 29 p.
- GIGLEUX M. 2003. *Projet RN 19 : Section Vesoul Est - Lure Ouest. Aménagement de la RN 19. Evaluation des incidences du projet sur les populations de chauve-souris des sites NATURA 2000 « Réseau de cavités à Rhinolophes de la région de Vesoul » et « Pelouses de la région vésulienne et vallé de la Colombine »*. Propositions de mesures de réduction et de suppression des impacts. CETE de l'Est, Metz, FR, 18 p.
- KERTH G., WAGNER M. & B. KÖNIG. 2001. Roosting together, foraging apart: information transfer about food is unlikely to explain sociality in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteini*). *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 50 : 283-291.
- KIEFER A., MERZH., RACKOW W., ROER H. & D. SCHLEGEL. 1995. Bats as traffic casualties in Germany. *Myotis*, 32-33 : 215-220.
- LESINSKI G. 2007. Bat road casualties and factors determining their numbers. *Mammalia*, 71 : 138-150.
- LIMPENS H. J. G. A. & K. KAPTEYN. 1991. Bats, their behaviour and linear landscape. *Myotis*, 29 : 39-48.
- LIMPENS H. J. G. A., TWISK P. & G. VEENBAAS. 2005. *Bats and road construction. Delft, Arnhem, Rijswaterstaat the Netherlands and the Vereniging voor Zoogdierkunde en Zoogdierbescherming*. 24 p.
- LODÉ T. 2000. Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *Ambio*, 29 (3) : 163-166.
- LONG, G. R. & H.-U. SCHNITZLER. 1975. Behavioural audiograms from the bat, *Rhinolophus ferrumequinum*. *Journal of comparative physiology*, 100 (3) : 211-219.
- LUGON A., MATTHEY Y., TSCHANZ S. & D. SAUSER. 1999. *Études spécifiques du milieu naturel. Étude de l'impact du TGV sur les populations de Minioptères de la vallée de l'Ognon*. Écoconseil, Réseau Ferré de France, La Chaux-de-Fonds, CH, 22 p.
- LUGON A. & S. ROUE. 1999. Impacts d'une ligne TGV sur les routes de vol du Minioptère de Schreibers : de l'étude aux propositions d'aménagements. In R. d. M. d. I. r. C. Rémuce, (Eds.) Proceedings : Actes des huitièmes rencontres nationales « chauves-souris » de la Société française d'étude et de protection des mammifères, Bourges, 27 et 28 novembre 1999, Bourges, FR, Symbioses, n.s., 39-40.
- MEUNIER F. D., CORBIN J., VERHEYDEN C. & P. JOUVENTIN. 1999a. Effect of landscape type and extensive management on use of motorway roadsides by small mammals. *Canadian Journal of Zoology*, 77 : 108-117.
- MEUNIER F. D., VERHEYDEN C. & P. JOUVENTIN. 1999b. Birds communities of highway verges: influence of adjacent habitat and roadside management. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 20 (1) : 1-13.
- MEUNIER F. D., GAURIAT, C., VERHEYDEN C. & P. JOUVENTIN. 1998. Végétation des dépendances vertes autoroutières : influences d'un mode de gestion extensif et du milieu traversé. *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, 53 : 97-121.
- NÉRI F. 2004. *Diagnostic sur la mortalité de chauves-souris par collision, dans le Lot, sur l'A20 entre Cahors Nord et la Dordogne, et propositions d'aménagements*. Espaces naturels Midi-Pyrénées. 14p.
- RANSOME, R. D. 1991. BATS: Order Chiroptera, Breeding. In G. B. Corbet and S. Harris (Eds.) *The handbook of British mammals*. Blackwell, London, UK, xiv + 588 p.
- ROUE S. & C. GUILLAUME. 2006. Étude menée sur l'impact d'un projet routier sur une population de Grands rhinolophes en Haute-Saône. *Revue scientifique Bourgogne Nature*, Hors série n°1 : 132-140.
- RUSSEL A. L., BUTCHKOSKI C. M., SAIDAK, L. & G. F. McCracken. 2009. Road-killed bats, highway design, and the commuting ecology of bats. *Endangered Species Research*, 8 : 49-60.
- SEILER A. 2001. *Ecological effects of roads*. A review. Introductory Research Essai, N°9, Department of Conservation Biology SLU, Uppsala, SW, 40 p.
- SETRA, CETE. 2008. *Routes et Chiroptères État des connaissances*. Rapport bibliographique, 67 p +180 p de fiches bibliographiques annexes.

SETRA, CETE. 2009. Chiroptères et infrastructures de transports terrestres : Menaces et actions de préservation, 21 p.

TWISK P. 1999. Bats as traffic victims. *Bat Research News*, 40 (3) : 143.

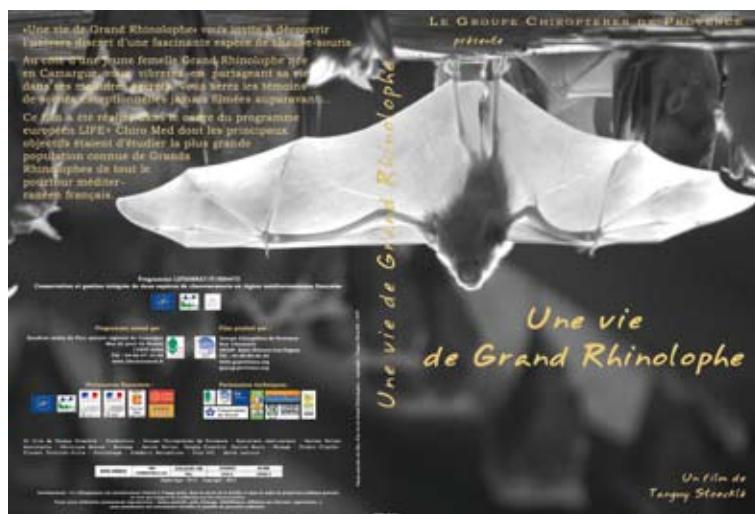
VAUGHAN N., JONES, G. & S. HARRIS. 1997. Habitat use by bats (Chiroptera) assessed by means of a broad-band acoustic method. *Journal of Applied Ecology*, 34 : 716-730.

WALSH, A. L. & S. HARRIS. 1996. Foraging habitat preferences of Vespertilionid bats in Britain. *J. App. Ecol*, 33 : 508-518.

YANES, M., VELASCO, J. M. & F. SUARES. 1995. Permeability of road and railways to vertebrates : the importance of culverts. *Biological Conservation*, 71 : 217-222.

ZURCHER A. A., SPARKS D. W. & V. J. BENNET. 2010. Why the bat did not cross the road ? *Acta Chiropterologica*, 12 (2) : 337-340.

Les rapports du LIFE+ CHIRO MED sur les différentes actions sont consultables sur le site internet :
www.lifechiromed.fr



Entre 2010 et 2014, Tanguy Stoecklé a réalisé le film « Une vie de Grand Rhinolophe » dans le cadre du programme LIFE+ CHIRO MED. Ce film est consacré au Grand Rhinolophe et permet de suivre une femelle et son bébé tout au long de leur vie. Vous y verrez des scènes exceptionnelles jamais filmées auparavant.

Remerciements

Le Parc naturel régional de Camargue tient à remercier l'ensemble des partenaires financiers et techniques du programme LIFE+ CHIRO MED, l'ensemble des partenaires qui ont participé à la rédaction de ce guide ainsi que tous les salariés, stagiaires et bénévoles qui ont participé activement aux différentes actions du programme.



Éditions LIFE+ CHIRO MED

www.lifechiromed.fr

Coordination générale

Véronique Hénoux et Katia Lombardini
Parc naturel régional de Camargue (PNRC)
www.parc-camargue.fr

Rédaction

Sarah Fourasté, Emmanuel Cosson, et Ophélie Planckaert
Groupe Chiroptères de Provence (GCP)
www.gcprovence.org

Christelle BASSI

Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA : ex CETE Méditerranée)
www.cerema.fr

Véronique Hénoux
(PNRC)

Selecteurs

Laurent Arthur (**MHN Bourges**)
Stéphane Aulagnier (**SFEPM, INRA Toulouse**)
Jérôme Cavailhès (**CEREMA : ex. SETRA**)
Céline Moreau (**CEREMA : ex. CETE Méditerranée**)
Sébastien Roué (**SFEPM**)

Création graphique et mise en page

Vincent Lemoine
lemoine_v@yahoo.fr

Cartographie (SIG)

Philippe Isenmann
(PNRC)

Illustrations

Cyril Girard
www.cyrilgirard.fr

Impression

Pure Impression
www.pure-impression.fr



Les Guides Techniques du LIFE+ CHIRO MED

Cette collection mise en œuvre dans le cadre du programme LIFE+ CHIRO MED coordonnée par le Parc naturel régional de Camargue est destinée à un public spécialisé.

Chaque guide aborde un thème précis qui résulte de la synthèse et des résultats des actions menées dans le cadre du programme européen LIFE+ CHIRO MED.

Les autres guides

Guide technique n°2

Gestion du parasitisme bovin et faune coprophage

Guide technique n°3

Aménagements de gîtes favorables à la reproduction

Guide technique n°4

Conduite de prospections hivernales en cavités

Guide technique n°5

Éléments de gestion conservatoire des territoires

Guide technique n°6

Techniques d'imagerie au service de la conservation

