

Chiroptères et infrastructures de transport



Guide méthodologique

Chiroptères et infrastructures de transport



Document réalisé par
François NOWICKI (Cerema - Est)

Avec la participation de :

- Laurent ARTHUR (MHN Bourges)
- Jérôme DOREY (ex-Cerema - Normandie - Centre)
- Vanessa RAUEL (ex-Cerema - Est)
- Kévin ROUSSELLE (†) (ex-Cerema - Normandie - Centre)

Ont également participé à son élaboration :

- Jean-François BRETAUD (ex-Cerema - Normandie - Centre)
- Jérôme CAVAILHES (ex-Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)
- Liza DADU (ex-Cerema - Est)
- Romain PAYOT (ex-Cerema - Est)
- Audrey TAPIERO (FCEN)
- Gérald TEKIELAK (Cerema - Est)
- Perrine VERMEERSCH (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux)

En collaboration de :

Dans le cadre de :



Re-lecteurs :

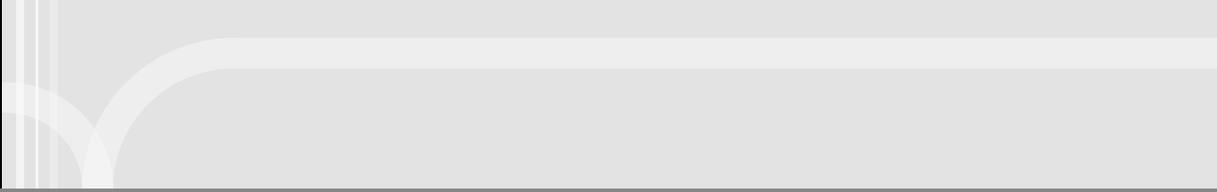
- Sophie BAREILLE (CEN Midi-Pyrénées)
- Eric BLOCH (Cerema - Est)
- Christophe BOREL (CPEPESC Lorraine)
- Michel CARTERON (DREAL Franche-Comté)
- Philippe CHAVAREN (ASF)
- Sandrine CHOTARD (EIFFAGE TP)
- Luc CHRETIEN (Cerema - Est)
- Luis DE SOUZA (DREAL LR)
- Julien GIRARD CLAUDON (LPO Rhône Alpes)
- Cédric HEURTEUBISE (ASF)
- Marc LANSIART (CGDD)
- Michèle LEMAIRE (MHN Bourges)
- Benjamin MEME LAFOND (LPO Anjou)
- Francis MULLER (FCEN)
- Frédéric NERI (CEN Midi-Pyrénées)
- Anne PETIT (RFF)
- Sébastien ROUE (ECOSPHERE)
- Laurent TILLON (ONF)



Remerciement également à :

John ALTRINGHAM (University of Leeds), Jean-Philippe ANOTTA (Coglaises Communauté Marches de Bretagne), A & W Ecologisch onderzoek, Miguel ANGEL MONSALVE DOLZ (VAERSA), Julien ASTOUL-DELSENY (MEDDM), Michel BARATAUD, Yves BAS (Biotope), Christelle BASSI (DREAL PACA), Cyrille BEAUX (EIFFAGE TP), Daniel BEILLEROT (Conseil Départemental 57), Martin BIEDERMANN (NACHTaktiv & SWILD), Sabine BIELSA (DREAL Midi-Pyrénées), Josselin BOIREAU (Groupe Mammologique Breton), Jean-Michel BOMPAR (GCP), Sandrine BRACCO (SFPEM), Vincent BRUN (Cerema - Est), Olivier CANLERS (DREAL Champagne Ardenne), Jean CARSIGNOL (Cerema - Est), Julien CHAMBONNIERE (DDT 63), Eric CHAPUT (Communauté du Grand Dole), Damien CHAMPENOY (Cerema - Est), Morgan CHARBONNIER (Cyberio), Thierry CHARLEMAGNE (cofiroute), Hélène CHAUVIN (GEPMA), Christine CHRETIEN (ASFA), Emmanuel COSSON (Groupe Chiroptères de Provence), Sylvain COUSSOULET (LPO PACA), Etienne CUENOT (APRR), Thierry DISCA (Biotope), Laurent DUFLOT (Conseil Départemental 57), Eliane DUPLAND, Thierry DUVAL (ECOLOR), Tarek FAR (Cerema - Méditerranée), Alejandro ENEBRAL FERNANDEZ (FERROVIAL AGROMAN), Marc FERNÁNDEZ BOU (MINUARTIA), Linda FERREZ (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux), Frédéric FEVE, Sarah FOURASTÉ (Groupe Chiroptères de Provence), Malte FUHRMANN (Université de Bochum), Matthieu GAILLARD (NEOMYS), Anne GUERRERO (RFF), Cédric GUILLAUME (CPEPESC Franche Comté), Eric GUINARD (Cerema - Sud Ouest), Michel GOMBART (CRDP), Alexandre HAQUART (Biotope), Xavier HARDY (SANEF), Véronique HÉNOUX (PNR Camargue), Gabriele HINTEMANN (Plan T - Planungsgruppe Landschaft und Umwelt), Dorothée JOUAN (CPEPESC Lorraine), Ludovic JOUVE (Société d'Histoire Naturelle d'Autun), Frédéric KALUZNY (DDT 45), Andreas KIEFER (Université de Trèves), Géraldine KAPFER (Groupe Chiroptères de Provence), Claude LAURY (OGE), Patrice LEBRUN (ASF), Céline LECOQ (CPIE du Cotentin), Erwan LECUYER (GRANULATS VICAT), Arnaud LE HOUDEC (Bretagne Vivante), Julien LOISELAY (RFF), Laurent LOUTTE (Cerema - Est), Jean-Baptiste LUSSON (Atelier des Territoires), Krol MAAIKE (Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek), Kathi MÄRKI (NACHTaktiv & SWILD), Mélanie MARTEAU (Groupe Mammologique Normand), Paulin MERCIER, Marion MESSAGER (Cerema- Normandie Centre), Stéphanie MINNS (Forestry commission), Céline MOREAU (Cerema - Méditerranée), William MOREAU (DIR Nord), Eric OLLINGER (Cerema- Infrastructures de transport et matériaux), Etienne OUVRARD, Fabien PALHOL (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux), Emmanuel PARMENTIER (Groupe Mammologique Normand), Roman PAVISSE, Philippe PENICAUD, Michel PERRET (MEDDE), Christophe PINEAU (Cerema - Ouest), Jérôme PIQUET (NEOMYS), Ophélie PLANCKAERT (Groupe Chiroptères de Provence), Hippolyte POUCHELLE (egis Environnement), Dominique ROMBAUT (CEN PACA), Carme ROSELL (Minuartia), Agnès ROSSO-DARMET (Cerema - Méditerranée), Clémentine SAUNIER (Atelier des territoires), Lorraine SAUL-GUIBERT (RFF), Emilie SAUVAGE (Groupe Mammologique Normand), Jean-Marie SMOL (DREAL Lorraine), Marie-Charlotte SICOT (Groupe Mammologique Normand), Bruno SINGERY (DDT 08), Tanguy STOECKLÉ (Groupe Chiroptères de Provence), Yannick TARDIVEL (Cerema - Infrastructures de transport et matériaux), Sébastien TELLIER (DREAL Languedoc-Roussillon), Marc THAURONT (ECOSPHERE), Damien TOP (CEN Picardie), Vincent VIGNON (OGE), Jean-Luc VASSEUR (DIR Est), Thomas WALTZER (Atelier des Territoires), Roxane YOBOKRE (Biositiv), Muséum d'histoire Naturelle de la ville de Genève.







Sommaire

Sommaire	5
Introduction	7
Chapitre 1 - Généralités	8
1 - Caractéristiques biologiques et physiques	8
1.1 - Morphologie	9
1.2 - Écholocation	9
1.3 - Régime alimentaire	10
1.4 - Cycle biologique	10
1.5 - Habitats et routes de vol	12
1.6 - Répartition	16
2 - Menaces, protection et statut	17
2.1 - Menaces	17
2.2 - Protection et Statut	17
Chapitre 2 - Impacts des infrastructures sur les Chauves-souris	23
1 - Impacts directs	24
1.1 - Impacts temporaires	24
1.2 - Impacts permanents	24
2 - Les impacts indirects et induits	38
2.1 - Impacts liés à la création d'habitats favorables	39
2.2 - Impacts de l'aménagement foncier, agricole et forestier	39
2.3 - Impacts sur les zones humides et les milieux aquatiques	41
2.4 - Impact lié à la modification de l'accessibilité du public au site sensible	42
3 - Quelques effets positifs	42
3.1 - Création d'habitats secondaires et de routes de vol	42
3.2 - Création de gîtes	42
Chapitre 3 - Inventaire des Chauves-souris dans le cadre d'un projet d'infrastructure	45
1 - Définition de l'aire d'étude	46
2 - Démarches d'inventaire	47
2.1 - Le pré-diagnostic	47
2.2 - Le diagnostic	49
2.3 - L'évaluation des enjeux du territoire	58
3 - Techniques d'inventaires	60



Chapitre 4 - Mesures environnementales	62
1 - Mesures d'évitement des impacts	63
2 - Mesures de réduction des impacts	63
2.1 - Mesures de réduction des effets temporaires	63
2.2 - Mesures de réduction des effets permanents	64
3 - Mesures compensatoires	100
3.1 - Création ou sécurisation de gîtes	100
3.2 - Amélioration et Création d'habitats favorables	108
4 - Synthèse des mesures, efficacité et notion de coût	112
Chapitre 5 - Mesures d'accompagnement	115
Chapitre 6 - Requalification des infrastructures	117
Chapitre 7 - Prise en compte des chiroptères dans l'entretien des infrastructures	122
1 - Entretien de la végétation	122
1.1 - Les haies	122
1.2 - Les alignements d'arbres	122
2 - Entretien des ouvrages d'art	123
Chapitre 8 - Suivi et évaluation de l'efficacité des mesures	127
1 - Rôle du suivi	127
2 - Réglementation sur les suivis	127
3 - Méthode - Protocole	129
Glossaire	131
Bibliographie	134
Annexes	151
Annexe 1 : Caractéristiques morphologiques des Chiroptères présents en France	152
Annexe 2 : Types de gîtes occupés par les Chiroptères en France	153
Annexe 3 : Critères sur lesquels repose la demande d'une étude d'impact soit de façon systématique, soit après un examen au cas par cas dans le cadre de travaux, ouvrages ou aménagements	154
Annexe 4 : Circuit du dossier de dérogation d'espèces protégées et arrêtés	155
Annexe 5 : Circuit du dossier d'évaluation d'incidence Natura 2000	156
Annexe 6 : Techniques de suivis	157
Annexe 7 : Typologie des ouvrages et attraits pour les chiroptères	164
Annexe 8 : Schéma type d'un ouvrage	167



Introduction

La France compte actuellement sur son territoire 34 des 41 espèces de chauves-souris recensées en Europe. Indicatrices de l'état écologique des milieux, les chauves-souris ont malheureusement été confrontées au cours du XX^e siècle à de multiples menaces qui aujourd'hui mettent en péril leurs populations. Parmi ces menaces, les infrastructures de transport terrestre, de par l'altération ou la destruction de leurs habitats, le morcellement de leurs territoires, l'impact des collisions, etc., contribuent à ce déclin et peuvent, dans certaines conditions, affaiblir la dynamique des populations les plus fragiles.

Afin de répondre à ces préoccupations et plus globalement de restaurer les populations et les habitats des espèces menacées, l'État, dans le cadre de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) et du Grenelle de l'Environnement, a engagé la réalisation d'un deuxième plan national d'actions (PNA) en faveur des Chiroptères pour la période 2009-2013. Depuis, le MEDDE a validé la mise en œuvre d'un 3^e PNA Chiroptères.

Parmi les actions du deuxième plan (2009-2013), le Cerema – Infrastructures de transport et matériaux (ex-Sétra) s'est chargé de conduire les actions 6 et 7 correspondant à :

- l'élaboration et la mise en œuvre d'une méthodologie pour la prise en compte des Chiroptères lors de la construction et de l'entretien d'infrastructures et autres ouvrages d'art ;
- l'évaluation de l'efficacité de systèmes de réduction d'impact des infrastructures de transport.

Le présent guide constitue ainsi la concrétisation de ces actions. Il fait suite à une première étude bibliographique (Sétra, 2008) destinée à faire un bilan des connaissances nationales et internationales sur le thème des Chiroptères et des infrastructures, une note d'information (Sétra, 2009) sur cette même thématique, à plusieurs études de suivis d'efficacité de mesures réalisées entre 2010 et 2013 et à la récolte de nombreux retours d'expériences auprès des concepteurs et gestionnaires d'infrastructures.

L'objectif de ce guide est de fournir un maximum d'éléments nécessaires à une bonne prise en compte des enjeux chiroptérologiques lors de la construction ou l'exploitation des infrastructures de transport terrestre sur le territoire métropolitain.

L'ensemble des encadrés présents dans le guide répondent à un code couleur dont la légende est la suivante :

-  Informations issues de retours d'expérience
-  Informations issues de publications scientifiques
-  Autres Informations

Chapitre 1

Généralités

Les chauves-souris sont des mammifères. Elles forment l'ordre des Chiroptères qui comporte environ 1 200 espèces déjà décrites dans le monde.

En France métropolitaine, 34 espèces sont actuellement connues. Ces espèces sont réparties en quatre familles :

- les rhinolophidés se caractérisent par un appendice nasal en forme de fer à cheval servant à émettre des ultrasons. Quatre espèces sont présentes en France : le Grand rhinolophe, le Petit rhinolophe, le Rhinolophe euryale et le Rhinolophe de Méhely ;
- les vespertilionidés se caractérisent par la forme de leur tragus (petit pavillon interne de l'oreille). C'est la famille qui compte le plus d'espèces présentes en France métropolitaine (28) ;
- les minioptéridés se caractérisent par un museau court et un front bombé. Cette famille comporte une seule espèce présente en France : le Minioptère de Schreibers ;
- les molossidés se caractérisent par leur queue qui dépasse nettement de la membrane alaire postérieure et l'absence de tragus. Cette famille comporte une seule espèce présente en France, nettement méridionale : le Molosse de Cestoni.

Les espèces et leurs habitats sont précisés en annexe 1 et 2.

1 - Caractéristiques biologiques et physiques

Les chauves-souris sont des animaux présentant de nombreuses particularités dont les principales sont liées à leur morphologie, leur activité nocturne et leur régime alimentaire. Ces animaux ont en effet les particularités d'être les seuls mammifères pratiquant le vol actif, et d'avoir développé un mode de déplacement et de chasse de nuit par l'utilisation d'un système de navigation par écholocation (repérage par émission d'ultrasons).



Photo 1 : Grand rhinolophe (Source : L. Arthur - MHN de Bourges)



1.1 - Morphologie

Les Chiroptères se distinguent des autres mammifères par la présence d'ailes membraneuses (patagium) qui s'étendent entre la queue, les pattes postérieures et leurs 4 doigts fortement développés des membres antérieurs (cf. illustration 1).

En France, les chauves-souris ont une taille (tête + corps) comprise entre 3,5 cm (Murin à moustaches, Murin de Brandt) et 17 cm (Grande noctule), pour un poids compris entre 4 g et 76 g et une envergure comprise entre 19 et 50 cm.

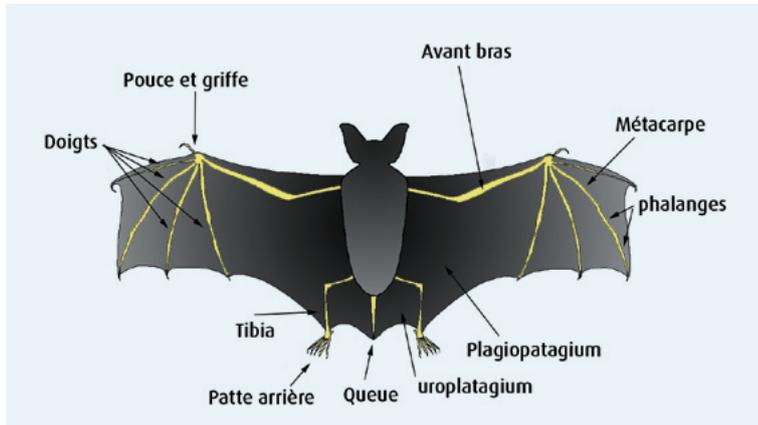


Illustration 1 : Morphologie d'une chauve-souris

1.2 - Écholocation

L'écholocation est un système de repérage développé chez les chauves-souris pour leur permettre de se déplacer dans l'obscurité totale et repérer leurs proies (en vol ou à l'affût). Il s'agit d'un système de sonar basé sur la production d'ultrasons émis par la bouche ou le nez des chauves-souris. Dès que ces ultrasons rencontrent un obstacle (proie, végétation, etc.), ils rebondissent et sont réfléchis vers la chauve-souris qui recueille l'écho par ses oreilles. La chauve-souris est alors capable de calculer la distance, la vitesse, la position et la forme de l'objet détecté (voir illustration 2). Tout cela a lieu en une fraction de seconde (Van Laere P., 2008). Ces sons et ultrasons ont des caractéristiques, gammes de fréquences, variations de fréquences et rythmes qui sont spécifiques à chaque espèce (Tupinier, 1996 ; Barataud 2012) ce qui permet notamment, pour une grande partie d'entre elles, de les différencier. Si ce système permet une grande précision de détection (le rhinolophe peut par exemple détecter des fils de 0,05 mm de diamètre), les puissances, les fréquences et corrélativement les distances de détection varient suivant les espèces.

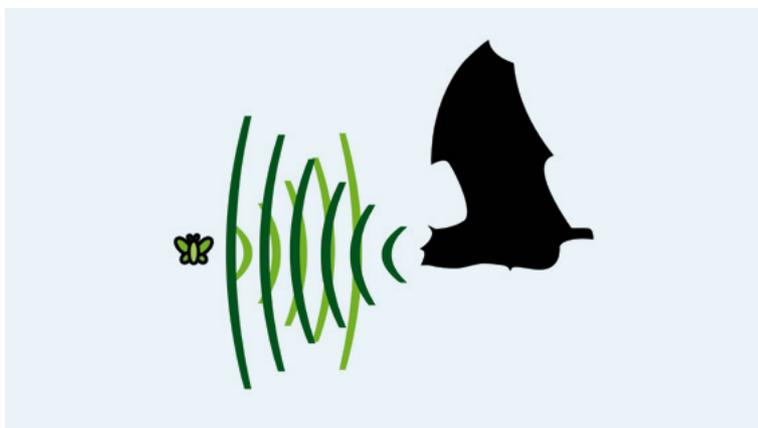


Illustration 2 : Schéma de principe de l'écholocation (Source : Cerema - Est)

En complément du sonar, les chiroptères utilisent également le champ magnétique terrestre, leur vue et leur mémoire du paysage.



1.3 - Régime alimentaire

Bien que d'une espèce à l'autre les régimes alimentaires soient très variables, toutes les espèces vivant en France ont le point commun d'être principalement insectivores.

Pouvant ingurgiter jusqu'à 800 insectes en une nuit de chasse, les Chiroptères jouent un rôle dans le contrôle des populations d'insectes au sein des écosystèmes et représentent un auxiliaire dans la lutte contre les ravageurs des cultures. Un Murin de Daubenton de 12 grammes peut par exemple capturer jusqu'à 60 000 moustiques par an entre mi-mai et mi-octobre.

Chaque espèce occupe une niche écologique spécifique caractérisée par des stratégies de chasse et de vol propres à l'espèce. Certaines glanent les insectes sur le feuillage (oreillard et certains murins), certaines capturent les insectes au sol (Grand murin), d'autres chassent très haut en altitude (noctules), d'autres encore saisissent les proies en rasant la surface de l'eau (Murin de Daubenton, Murin de Capaccini, etc.) ou attendent parfois simplement les insectes à l'affût, perchées dans les arbres (les rhinolophes), certaines profitent des points lumineux comme les lampadaires, etc.

1.4 - Cycle biologique

En France métropolitaine, le cycle biologique des Chiroptères est guidé par la ressource alimentaire c'est-à-dire la disponibilité en insectes. Il est divisé en deux périodes (illustration 3) :

- une période d'activité qui, suivant les espèces, va du printemps à l'automne ;
- une période d'hivernation durant laquelle la disponibilité en insectes est moins importante. Durant cette période, les chauves-souris vivent au ralenti voire en léthargie profonde (hibernation). (Seul le Molosse de Cestoni est actif presque toute l'année).

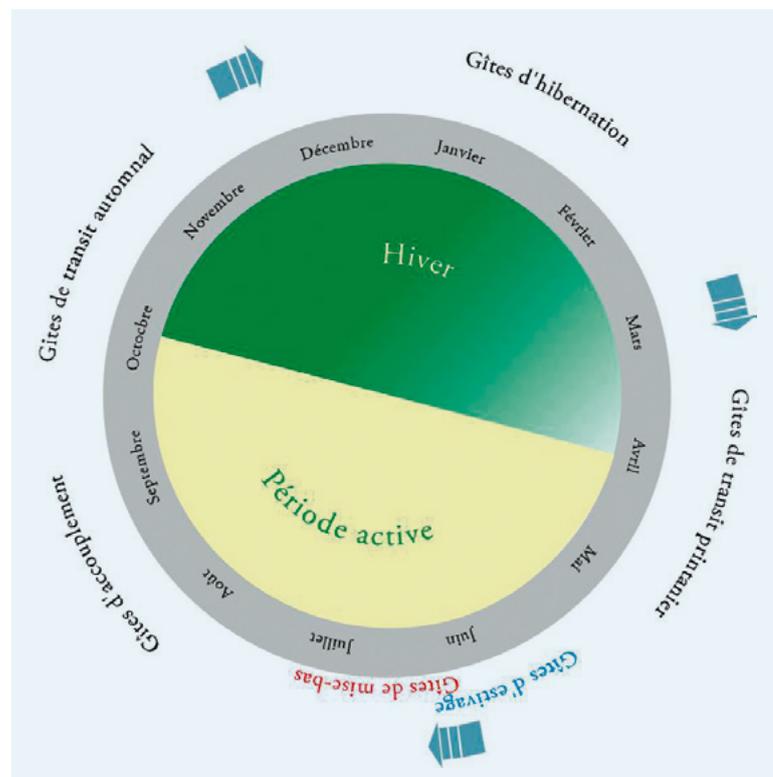


Illustration 3 : Cycle d'activité et de changement de gîte (Source : Cerema)



Illustration 4 : Illustration du cycle biologique des Chiroptères (Source : Céline Lecoq - CPIE du Cotentin)

À la sortie de l'hiver, les chiroptères se réveillent et quittent leurs gîtes d'hivernage pour entamer leur période d'activité et rejoindre les gîtes d'été et de parturition.

Durant le transit vers les gîtes d'été, les chiroptères effectuent généralement plusieurs étapes au sein de gîtes de transit. En effet, pour certaines espèces, notamment migratrices, les distances à parcourir sont parfois importantes (1 000 à 2 000 km).

Gîtes de transit : gîtes d'étape

En été, les femelles s'installent dans des gîtes de mise bas qui rassembleront les conditions optimales pour l'élevage des jeunes. En fonction des espèces, la période de mise bas et de nourrissage des jeunes est plus ou moins avancée (de mai à juillet).

Les mâles occupent, quant à eux, des gîtes d'estivage, aux conditions moins spécifiques (souvent plus frais) même si parfois ils peuvent s'associer aux colonies de mise bas.

On observe pour les gîtes d'estivage une ségrégation entre les mâles et les femelles.

Au cours de l'été, les jeunes vont apprendre progressivement à voler en s'éloignant de plus en plus du gîte et à chasser pour être parfaitement émancipés à l'automne. Ils savent généralement voler au bout de 5 à 6 semaines.

La période automnale est consacrée à la constitution des réserves énergétiques pour l'hiver (stockage d'un tiers de leur masse sous forme de graisse) et à la reproduction au sein de gîtes d'accouplement ou de swarming (quelques accouplements peuvent exceptionnellement se faire durant l'hiver ou au printemps). Le swarming est un comportement automnal de certaines espèces de chiroptères (principalement les murins) qui se regroupent jusqu'à former des groupes de quelques milliers d'individus. Ces regroupements permettent alors les accouplements et assurent le brassage génétique des populations. Toutes les espèces de chauve-souris ne pratiquent cependant pas le swarming mais pour celles qui le pratiquent, ces sites sont, à l'image des sites d'été ou d'hibernation, indispensables à leur survie.

Gîte d'accouplement ou de swarming.
Ce sont des gîtes où, de la mi-août à novembre, on observe des rassemblements importants de certaines espèces de chiroptères. Ceux-ci ont une activité importante devant les entrées et à l'intérieur des sites : vols incessants, poursuites, vocalisations. Souvent souterrains, ils sont importants pour la reproduction de nombreuses espèces.

L'approche de l'hiver s'accompagne d'une diminution des proies se traduisant par un regroupement des chiroptères au sein des gîtes d'hibernation.

Durant la période hivernale, pour la plupart des espèces, la gestation des chiroptères est mise en pause en différant l'ovulation au printemps suivant.

Durant cette période, elles vivent au ralenti sur leurs réserves accumulées pendant l'automne : hypothermie, diminution du rythme cardiaque (de 18 à 80 battements/minute alors qu'il est normalement de 250 à 450 battements/minute pour un animal au repos), pause respiratoire (pouvant durer 60 à 90 minutes).

Au cours de l'hiver, si les conditions météorologiques le permettent, les individus se réveilleront naturellement plusieurs fois pour boire, déféquer, relancer leur système immunitaire, voire, pour certaines espèces, chasser.

Gîte d'hibernation : gîte garantissant des conditions stables de température (basse et peu fluctuante : entre 0 °C et 10 °C), d'humidité (proche de la saturation en eau), d'obscurité et de tranquillité, nécessaires à l'entrée en léthargie. Bien qu'il soit possible de trouver certaines espèces de chiroptères en hibernation dans les ponts (drains, disjointements), dans des cavités arboricoles (espèces forestières) ou dans les combles, la plupart des chiroptères occupent le plus souvent des gîtes souterrains (grottes, galeries de mines, forts militaires ou caves).



Ces phases de réveil sont néanmoins très consommatrices d'énergie. Au cours de l'hiver les chiroptères sont donc particulièrement sensibles aux perturbations.

Concernant la dynamique de reproduction

Avec un jeune par an et une maturité sexuelle intervenant à l'âge de 2 à 5 ans, la dynamique de reproduction des chiroptères est particulièrement faible. Même si les chiroptères compensent ce faible taux de fécondité par une espérance de vie relativement élevée (de 3 à 10 ans en moyenne avec un maximum connu de 43 ans) ce type de reproduction rend les chiroptères vulnérables aux perturbations ou destructions.

1.5 - Habitats et routes de vol

Afin d'accomplir leur cycle de vie, les chiroptères utilisent un domaine vital composé de 3 principaux compartiments : les gîtes, les zones de chasse, et les routes de vols (ou corridors de déplacement).

1.5.1 - Les gîtes

Comme indiqué précédemment, 4 types de gîtes sont utilisés : les gîtes d'hibernation ou d'hivernage, les gîtes d'été (notamment de mise bas et d'élevage), les gîtes de transit et les gîtes d'accouplement (swarming).

Généralement, les différentes espèces de chiroptères ont des préférences pour certains types de gîtes, toutefois des variations peuvent exister suivant les zones géographiques.

Les deux graphiques ci-dessous (illustrations 5 et 6) donnent, pour deux périodes du cycle de vie, l'hibernation et la mise bas, l'exploitation des différents types de gîtes existants par les différentes espèces de chiroptères.

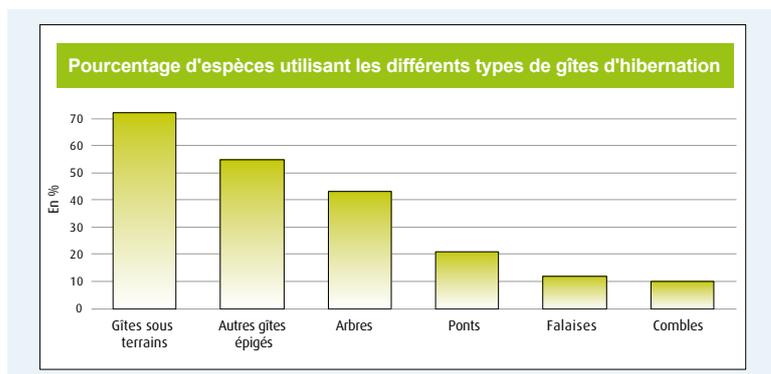


Illustration 5 : Gîtes d'hibernation utilisés par les différentes espèces de Chiroptères (Source : MEDDTL – Plan National d'Actions Chiroptères 2008-2012)

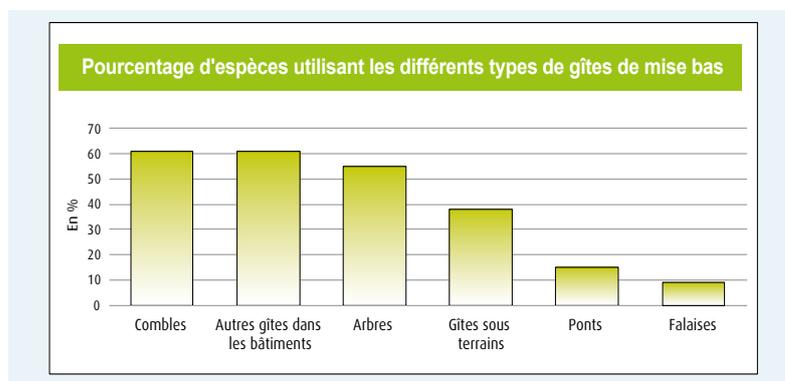


Illustration 6 : Gîtes de mise bas utilisés par les différentes espèces de Chiroptères (Source : MEDDTL – Plan National d'Actions Chiroptères 2008-2012)

Le tableau en annexe 2, donne plus précisément par espèce les types de gîtes utilisés en France.



1.5.2 - Les zones de chasse

Les zones de chasse des chiroptères ont toutes la particularité d'être des zones riches en insectes : forêts, prairies, zones humides, plans d'eau et cours d'eau, etc.

Selon les conditions météorologiques, les chiroptères peuvent adapter leur stratégie et lieu de chasse : un temps frais ou pluvieux va induire une chasse dans des milieux fermés (boisements par exemple) plus chauds durant la nuit que des milieux ouverts (prairies et pâtures).

Les sites de chasse individuels autour du gîte dépendent également de l'âge : un jeune de l'année, explorant son nouveau domaine, aura tendance à exploiter un territoire de chasse plus proche du gîte. Par exemple, le rayon du domaine vital d'un Grand rhinolophe est de 1 km chez le jeune pour 1 à 15 km chez l'adulte.

Dans le cadre du plan national d'actions chiroptères 2009-2013, une synthèse bibliographique a été réalisée sur les milieux de chasse des 34 espèces de chiroptères. Ces milieux sont à mettre en relation avec les espèces chassées. Le tableau ci-dessous (Tableau 1) donne, pour chaque espèce, les principaux milieux prospectés.

Espèce	Rayon d'action autour des colonies	Milieu					
		Forestier	Transition forestière	Humide	Étendues d'eau	Ouvert	Urbain
Grand rhinolophe	0 à 15 km	X	X	X		X	
Petit rhinolophe	0 à 10 km	X	X	X		X	X
Rhinolophe euryale	0 à 15 km	X	X	(X)		X	
Rhinolophe de Méhely	0 à 15 km	X					
Barbastelle d'Europe	0 à 30 km	X	X	X		X	X
Murin de Daubenton	0 à 20 km	X	X	X	X		
Murin de Capaccini	0-30 km			X	X		
Murin des marais	0 à 30 km			X	X		
Murin à moustaches	0 à 10 km	X	X	X		X	
Murin de Brandt	0 à 10 km	X		X			
Murin d'alcatheo	0 à 5 km	X		X			
Murin de Bechstein	0 à 5 km	X	X				
Murin de Natterer	0 à 10 km	X	X	X			
Murin d'Escalera	Nouvelle espèce découverte en 2009						
Murin à oreilles échanquées	0 à 10 km	X	X	X		X	X
Grand murin	0 à 30 km	X	X			X	
Petit Murin	1 à 10 km			(X)		X	
Murin du Maghreb	0 à 20 km	X				X	
Noctule commune	0 à 40 km	X		X		X	X
Grande noctule		X		X		X	
Noctule de Leisler	0 à 30 km	X	X	X		X	X



Espèce	Rayon d'action autour des colonies	Milieu					
		Forestier	Transition forestière	Humide	Étendues d'eau	Ouvert	Urbain
Sérotine de Nilsson	0 à 20 km	X		X		X	X
Sérotine commune	0 à 20 km		X			X	X
Vespertilion bicolore	0 à 30 km			X		X	
Pipistrelle de Kuhl	0 à 20 km		X	X		X	X
Pipistrelle de Nathusius	0 à 20 km	X	X	X		X	X
Pipistrelle commune	0 à 15 km	X	X	X		X	X
Pipistrelle pygmée	0 à 10 km	X	X	X			X
Oreillard roux	0 à 5 km	X	X	X		X	X
Oreillard gris	0 à 5 km		X			X	X
Oreillard montagnard		X	X	(X)			
Vespère de Savi		X		X		X	X
Minioptère de Schreibers	0 à 50 km	X	X	X		X	X
Molosse de Cestoni	De l'ordre de 30 km			X		X	X

Tableau 1 : Principaux milieux prospectés par les Chiroptères pour la chasse (adapté de Godineau et al., 2007)

1.5.3 - Les routes de vols

Deux grands types de déplacement existent chez les chiroptères :

- **les déplacements entre les gîtes d'hiver et les gîtes d'été ou de parturition**

Ces déplacements peuvent se faire à grandes distances : de 1 000 à 2 000 km chez les espèces migratrices (Pipistrelle de Nathusius, Noctule commune, Noctule de Leisler) ou seulement sur une distance jusqu'à 5 à 100 km pour des espèces sédentaires (Grand murin, Petit rhinolophe). Dans certains cas particuliers, la distance de déplacement entre les gîtes d'hiver et d'été peut encore être plus faible (gîtes d'hiver et d'été situés dans le même bâtiment par exemple).

- **les déplacements quotidiens en période d'activité**

Ces déplacements commencent généralement à la tombée de la nuit par l'envol des chiroptères depuis leur gîte et se clôturent à l'aube par le retour au gîte. Ces sorties sont fonction des besoins alimentaires (la femelle allaitante a une activité de chasse plus intense et peut revenir plusieurs fois à son gîte pour allaiter ses petits) et des conditions météorologiques. Un temps froid, venteux ou pluvieux se traduit par une activité de chasse moindre.

Entre les gîtes d'été et les zones de chasse prospectées, les distances parcourues quotidiennement varient en fonction des espèces et du milieu environnant. Les zones de chasse sont généralement situées jusqu'à 10 km du gîte (mais elles peuvent être plus éloignées : les Minioptères de Schreibers ont par exemple un rayon de chasse de 30 à 40 km).

En fonction des niches écologiques exploitées et des caractéristiques de leur écholocation, on peut réaliser une distinction chez les chiroptères, entre les espèces qui utilisent les structures du paysage pour se déplacer ou pour chasser et celles qui arrivent à s'affranchir de la proximité de ces éléments et ainsi à avoir des hauteurs de vol plus importantes. Les espèces volant à hautes altitudes sont, de ce fait, moins sensibles aux collisions avec les véhicules. Les espèces utilisant les structures du paysage suivent les alignements d'arbres ou de buissons, les haies, les cours d'eau, les murs, les barrières, les lisières forestières, les fossés et même parfois les routes.



Le tableau ci-dessous synthétise pour chaque espèce l'ordre de grandeur des hauteurs de vol et l'utilisation des éléments du paysage pour le déplacement.

D'autres paramètres peuvent influencer le vol des chiroptères comme le vent, la pluviométrie, la présence de brouillard, les phases de la lune, la lumière des lampadaires, etc.

Espèce	Vol	Utilisation et sensibilité vis-à-vis des structures du paysage
Petit rhinolophe <i>Rhinolophus hipposideros</i>	Vol lent et habile. Hauteur de vol comprise entre 2 et 5 m correspondant à son mode de chasse au ras ou dans les feuillages des bosquets et au ras du sol en milieu ouvert	Très élevée
Grand rhinolophe <i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Vol lent, hauteur de vol comprise entre 0,3 et 6 m La trajectoire suivie s'écarte peu de la végétation. Chasse dans ou à proximité de la végétation (<10 m) Cette espèce a un vol qui suit le micro-relief environnant	Très élevée
Rhinolophe euryale <i>Rhinolophus euryale</i>	Vol à une faible hauteur (inférieure à 40 m) entre les buissons et les arbres	Élevée
Rhinolophe de Méhely <i>Rhinolophus mehelyi</i>	Vol rapide à une faible hauteur (inférieure à 40 m) entre les buissons et les arbres. S'approche parfois très près du sol	Très élevée
Murin de Capaccini <i>Myotis capaccinii</i>	Vol de chasse compris entre 5 à 20 cm au-dessus de l'eau et jusqu'à 5 m de hauteur autour des arbres pour les moustiques, tipules et papillons de nuit	Moyennement élevée
Murin de Natterer <i>Myotis nattereri</i>	Vol lent agile. Hauteur de chasse souvent comprise entre 1 et 4 m permettant une chasse par glanage des proies	Moyennement élevée à élevée
Barbastelle d'Europe <i>Barbastella barbastellus</i>	Vol de chasse à faible hauteur compris entre 1,5 m et la canopée des arbres voire au-dessus	Moyennement à très élevée
Murin d'Alcathoe <i>Myotis alcathoe</i>	Vol de chasse au niveau de la canopée et au niveau de l'eau pour les milieux humides	Très élevée
Murin à oreilles échanquées <i>Myotis emarginatus</i>	Vol rapide en ligne droite Vol de chasse entre 1 m et 5 m au-dessus du sol ou de l'eau	Très élevée
Murin de Bechstein <i>Myotis bechsteinii</i>	Vol lent. Espèce glaneuse qui chasse dans la végétation dense Vol de chasse du sol à la canopée en milieu forestier	Très élevée
Murin d'Escalera <i>Myotis escaleraei</i>	Les individus peuvent voler à découvert à hauteur moyenne (3-5 m), mais ils cherchent rapidement à se rapprocher des lisières évoluant près du sol jusqu'à au moins 5 m selon les circonstances	Moyennement élevée à élevée
Oreillard roux <i>Plecotus auritus</i>	Vol lent très agile. Vol bas au-dessus des milieux ouverts Vol de chasse réalisé au niveau de la végétation permettant une capture des proies par glanage	Elevée
Oreillard gris <i>Plecotus austriacus</i>	Vol lent très agile. Vol bas au-dessus des milieux ouverts Vol de chasse réalisé au niveau de la végétation permettant une capture des proies par glanage	Très élevée
Oreillard montagnard <i>Plecotus macrobullaris</i>	Hauteur de vol inférieure à 40 m	Moyennement élevée
Murin de Brandt <i>Myotis brandtii</i>	Entre 2 m et la canopée. Suit les structures linéaires du paysage	Moyennement à très élevée
Murin à moustaches <i>Myotis mystacinus</i>	Vol rapide. Chasse souvent à proximité des bosquets, à faible hauteur (1 à 3 m) mais aussi à hauteur de la canopée	Moyennement à très élevée
Murin des marais <i>Myotis dasycneme</i>	Vol rapide Vol de chasse compris entre 5 et 10 cm au-dessus de l'eau	Moyennement à très élevée
Murin de Daubenton <i>Myotis daubentonii</i>	Vol rapide Vol de chasse compris entre 5 et 20 cm au-dessus de l'eau et jusqu'à 5 m de hauteur autour des arbres pour les moustiques, tipules et papillons de nuit	Moyennement à très élevée



Espèce	Vol	Utilisation et sensibilité vis-à-vis des structures du paysage
Grand murin <i>Myotis myotis</i>	Vol de chasse compris entre 30 et 70 cm du sol pour les phases actives de prospection et de glanage et entre 5 et 10 m pour les phases de déplacement	Moyennement à très élevée
Petit Murin <i>Myotis blythii</i>	Vol à très faible altitude, généralement entre 1 et 2 m du sol	Moyennement à très élevée
Murin du Maghreb <i>Myotis punicus</i>	Vol de Chasse compris entre 0 et 1 m du sol (prairies, pâtures, clairières) pour les phases actives de prospection et de glanage et à environ 10 m pour les phases de transit (très rapide, en ligne droite vers le gîte)	Moyennement élevée
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	Vol de chasse en plein ciel et capture des proies en piqué	Peu élevée
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i>	Vol de chasse principalement en plein ciel entre 10 et 40 m d'altitude. Elle exploite également les dessus de canopées et les alentours de lampadaires	Peu élevée
Grande noctule <i>Nyctalus lasiopterus</i>	Vol de chasse 30 à 40 m au-dessus du sol	Peu élevée
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	Vol lent en plein ciel et le long des bosquets Vol de chasse entre 5 et 10 m de hauteur en plein ciel ou le long des bosquets	Moyennement élevée
Vespertilion bicoloré <i>Vespertilio murinus</i>	Vol en plein ciel notamment au-dessus des étendues d'eau, dans les villes et dans les prairies Hauteur de vol supérieure à 50 m	Moyennement à peu élevée
Sérotine de Nilsson <i>Eptesicus nilssonii</i>	Vol rapide en plein ciel et dans les milieux semi-ouverts. Chasse au-dessus de la canopée ou au-dessus des prairies entre 2 et 5 m de haut	Moyennement à peu élevée
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	Vol de chasse autour des lampadaires, au-dessus de l'eau et des jardins	Élevée
Pipistrelle pygmée <i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Vol très rapide au ras du sol et jusqu'à hauteur de la canopée. À proximité de la végétation et en plein ciel	Moyennement élevée
Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i>	Vol de chasse et de transit souvent effectué le long des structures linéaires Vol de chasse effectué à une hauteur inférieure à 15 m en milieu forestier, le long des chemins ou des lisières	Moyennement élevée
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Longe ou survole les linéaires arborés et les boqueteaux mais peut voler ou chasser plus haut (jusqu'à 40 m)	Moyennement élevée
Pipistrelle pygmée <i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Vol de chasse à proximité de la végétation du sol à la canopée. Les vols de déplacement peuvent se faire en plein ciel	Moyennement élevée
Vespère de Savi <i>Hypsugo savii</i>	Vol de chasse le long des lisières	Élevée
Minioptère de Schreibers <i>Miniopterus schreibersii</i>	Vol en moyenne à 5 m de hauteur et 2 m de la végétation	Élevée Dépendant des structures paysagères mais peut traverser des zones dépourvues de végétation ligneuse sur au moins 300 m
Molosse de Cestoni <i>Tadarida teniotis</i>	Vol à plus de 40 m d'altitude	Peu élevée

Tableau 2 : Sensibilité des espèces par rapport à leur comportement de vol (Source : Conservatoire des Sites Naturels de Picardie (CSNP), 1997 ; Bensettiti F. & Gaudillat V. (coord.), 2002 ; Brinkmann et al., 2008 ; Rodrigues L. et al. 2008 ; Sétra/CETE de l'Est, 2008 ; Tillon L., 2008 ; Arthur L., Lemaire M., 2009 ; Grégory Beuneux, J.Y. Courtois, Delphine Rist (Groupe Chiroptères de Corse), 2010 ; Beaux et al., 2012 ; Thierry Disca (Biotope), comm. pers 2014)

1.6 - Répartition

Les 34 espèces de chiroptères actuellement identifiées sont réparties plus ou moins uniformément sur le territoire métropolitain.

Même si aucun département n'abrite l'ensemble des espèces, on dénombre au minimum au moins 15 espèces différentes de chiroptères par département (CGDD, 2011). La moitié Sud de la France présente une diversité spécifique plus importante que la partie Nord (cf. illustration 7).

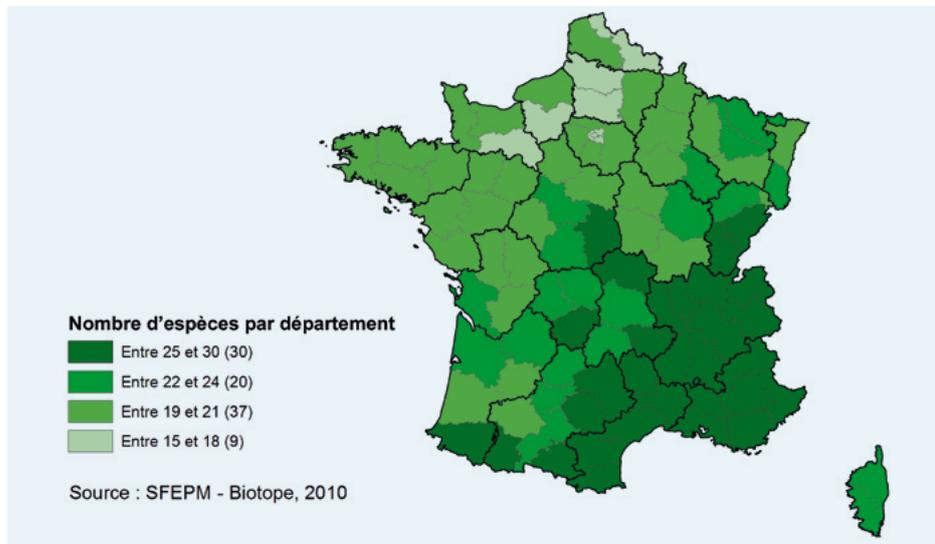


Illustration 7 : Nombre d'espèces de Chiroptères par département (Source : SFEPM – Biotope, 2010)

2 - Menaces, protection et statut

2.1 - Menaces

Les connaissances sur l'écologie des chiroptères présentent encore des lacunes importantes tant au niveau de leur écologie propre que de leurs relations avec leurs milieux, de leur distribution ou du niveau de leurs populations. Il apparaît toutefois globalement que les effectifs des 34 espèces recensées sur le territoire français ont fortement décliné au cours du XX^e siècle, à tel point qu'un tiers des espèces de chiroptères de métropole sont aujourd'hui dans un état préoccupant.

Les populations de chauves-souris doivent en particulier faire face à des pressions liées aux activités humaines :

- une moindre qualité de la nourriture disponible et un risque d'empoisonnement direct ou indirect par des produits chimiques se traduisant par une surmortalité des jeunes et des adultes ;
- une perte de territoire de chasse qui se traduit par une diminution du gisement de proies exploitable ;
- une fragmentation de l'espace ;
- des dérangements accrus (visites, spéléologie, etc.) conduisant notamment à un risque d'interruption de la période de léthargie hivernale qui entraîne une surconsommation des réserves énergétiques et par voie de conséquence un risque pour la chauve-souris de ne pas survivre à la période hivernale. Lors de cette période, un réveil équivaldrait en terme de consommation énergétique à une centaine d'heures passées en hibernation ;
- une perte ou une moindre qualité des gîtes nécessaires au cycle de vie.

Ces pressions font qu'en 2009, un tiers des espèces de chiroptères sont menacées ou quasi menacées en France métropolitaine selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) (CGDD, 2011).

Le pourcentage d'espèces menacées par département ne suit pas exactement la répartition du nombre d'espèces total de chiroptères par département. C'est sur le pourtour méditerranéen et dans l'Ouest de la France que ce pourcentage est le plus élevé.

2.2 - Protection et Statut

2.2.1 - La réglementation

Sur la scène internationale, la France et l'Union européenne ont ratifié plusieurs conventions :

- **la Convention de Bonn** (23 juin 1979) relative à la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (Annexe II) qui a permis de signer l'accord relatif à la conservation des populations de chiroptères d'Europe (EUROBATS) le 4 décembre 1991 ;



- **la Convention de Berne** (19 septembre 1979) relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel d'Europe (Annexe II et III).

Il en ressort que les 34 espèces présentes en France métropolitaine sont toutes protégées et sont toutes concernées par le Plan National d'Actions en faveur de ce groupe d'espèces.

La directive européenne (92/43/CEE) « Habitats-Faune-Flore » et notamment les annexes II et IV concernent la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages :

- l'annexe II mentionne 13 espèces de chiroptères (dont 12 de France métropolitaine) dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation (Site Natura 2000) sur tout le territoire européen. Certaines des espèces de l'annexe II, pour lesquelles la Communauté porte une responsabilité particulière, possèdent également le statut particulier d'« espèce prioritaire » mais aucune espèce de chiroptères n'est concernée ;
- l'annexe IV précise que toutes les espèces de chiroptères nécessitent d'être protégées strictement sur tout le territoire européen (toute forme de capture ou de mise à mort intentionnelle, la perturbation, la destruction dans la nature, la détérioration ou la destruction des sites de reproduction ou des aires de repos sont interdits, ainsi que la détention, le transport, le commerce ou l'échange et l'offre).

Ces directives sont transcrites en droit français dans les articles L.414-1 et suivants du code de l'environnement et les arrêtés qui en découlent. Ainsi, l'arrêté ministériel du 23 avril 2007 modifié fixe la liste des mammifères terrestres protégés (dont les chiroptères) sur l'ensemble du territoire métropolitain et les modalités de leur protection.

Sont notamment interdits (article 2) :

« sur tout le territoire métropolitain et en tout temps la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel »

ainsi que :

« sur les parties du territoire métropolitain où l'espèce est présente [...], la destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux. Ces interdictions s'appliquent aux éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de cette espèce et pour autant que la destruction, l'altération ou la dégradation remette en cause le bon accomplissement de ces cycles biologiques. »

L'article L. 411-1 du code de l'environnement prévoit que l'on puisse toutefois déroger à ces dispositions, pour certains motifs expressément prévus par la loi et sous certaines conditions (cf. 2.2.2. Démarches d'évaluation environnementale et articulation des procédures).

Le tableau ci-dessous synthétise pour chaque espèce, les niveaux de protection et les statuts de chaque espèce.

Nom français	PN	Berne (annexe)	Bonn (annexe)	DH (annexe)	Liste Rouge UICN Mondiale	Liste Rouge Européenne	Liste Rouge Nationale
Petit rhinolophe (<i>Rhinolophus hipposideros</i>)	X	II	II	II+IV	LC	NT	LC
Grand rhinolophe (<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>)	X	II	II	II+IV	LC	NT	NT
Rhinolophe euryale (<i>Rhinolophus euryale</i>)	X	II	II	II+IV	NT	VU	NT
Rhinolophe de Méhely (<i>Rhinolophus mehelyi</i>)	X	II	II	II+IV	VU	VU	CR
Murin de Daubenton (<i>Myotis daubentonii</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Murin de Capaccini (<i>Myotis capaccinii</i>)	X	II	II	II+IV	VU	VU	VU
Murin des marais (<i>Myotis dasycneme</i>)	X	II	II	II+IV	NT	NT	NA
Murin à moustaches (<i>Myotis mystacinus</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Murin de Brandt (<i>Myotis brandtii</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Murin d'Alcathoe (<i>Myotis alcathoe</i>)	X	/	/	IV	DD	DD	/
Murin de Bechstein (<i>Myotis bechsteini</i>)	X	II	II	II+IV	NT	VU	NT



Nom français	PN	Berne (annexe)	Bonn (annexe)	DH (annexe)	Liste Rouge UICN Mondiale	Liste Rouge Européenne	Liste Rouge Nationale
Murin de Natterer (<i>Myotis nattereri</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Murin d'Escalera (<i>Myotis escaleraei</i>)	X	Nouvelle espèce découverte en France 2009					
Murin à oreilles échanquées (<i>Myotis emarginatus</i>)	X	II	II	II+IV	LC	LC	LC
Grand murin (<i>Myotis myotis</i>)	X	II	II	II+IV	LC	LC	LC
Murin du Maghreb (<i>Myotis punicus</i>)	X	/	/	IV	NT	NT	VU
Petit Murin (<i>Myotis blythii</i>)	X	II	II	II+IV	LC	NT	NT
Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	NT
Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	NT
Grande Noctule (<i>Nyctalus lasiopterus</i>)	X	II	II	IV	NT	DD	DD
Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Sérotine de Nilsson (<i>Eptesicus nilssonii</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Vespertilion bicolore (<i>Vespertilio murinus</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	DD
Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	X	III	II	IV	LC	LC	LC
Pipistrelle pygmée (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	X	/	/	IV	LC	LC	LC
Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	NT
Pipistrelle de Kuhl (<i>Pipistrellus kuhlii</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Vespère de Savi (<i>Hypsugo savii</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Oreillard roux (<i>Plecotus auritus</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Oreillard gris (<i>Plecotus austriacus</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC
Oreillard montagnard (<i>Plecotus macrotullaris</i>)	X	/	/	IV	LC	NT	DD
Barbastelle d'Europe (<i>Barbastella barbastellus</i>)	X	II	II	II+IV	NT	VU	LC
Minioptère de Schreibers (<i>Miniopterus schreibersii</i>)	X	II	II	II+IV	NT	NT	VU
Molosse de Cestoni (<i>Tadarida teniotis</i>)	X	II	II	IV	LC	LC	LC

Statut de protection :

PN (protection nationale),

DH II et IV (Directive Habitats-Faune-Flore - Annexe),

Berne II (Convention de Berne - Annexe),

Bonn II (Convention de Bonn - Annexe).

Espèces menacées de disparition de métropole	
CR	En danger critique d'extinction
EN	En danger
VU	Vulnérable
Autres catégories :	
NT : Quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises)	
LC : Préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible)	
DD : Données insuffisantes (espèce pour laquelle l'évaluation n'a pas pu être réalisée faute de données suffisantes)	
NA : Non applicable (espèce non soumise à évaluation car (a) introduite dans la période récente ou (b) présente en métropole de manière occasionnelle ou marginale)	
NE : Non évaluée (espèce non encore confrontée aux critères de la liste rouge)	

Tableau 3 : Liste des 34 espèces de Chiroptères, statut de protection et de menaces (Source : UICN, 2006 (liste européenne), Conventions, Directive, UICN 2008 (liste mondiale) ; UICN, 2009 (liste française))

2.2.2 - Démarche d'évaluation environnementale et articulation des différentes procédures

L'étude d'impact

La loi de 1976 pose les bases de la protection de la nature en France. Elle impose notamment la réalisation d'une étude d'impact pour certains travaux ou projets d'aménagement susceptibles de porter atteinte à l'environnement.



Depuis la réforme de cette procédure (Décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011), les projets « sont soumis à étude d'impact en fonction de critères et de seuils et, pour certains d'entre eux, après un examen au cas par cas effectué par l'autorité administrative » (cf. tableau en annexe 3).

L'étude d'impact constitue une approche globale ayant pour objectif d'informer le public et l'autorité administrative de la façon dont l'environnement a été pris en compte dans la conception du projet, des effets prévisibles du projet sur l'environnement et des dispositions envisagées pour maîtriser les impacts. Elle s'appuie sur des études environnementales spécifiques dont elle constitue la synthèse.

C'est notamment à partir de l'étude d'impact (document obligatoire au dossier d'enquête publique), accompagnée d'un avis de l'autorité environnementale sur ce dossier et le résultat de la consultation du public (à travers l'enquête publique), que l'autorité compétente autorise la réalisation du projet.

Même si l'étude d'impact permet d'avoir une vision globale des effets du projet sur l'environnement, les inventaires et l'analyse des enjeux effectués dans le cadre de celle-ci sont souvent l'occasion de découvrir des espèces protégées potentiellement impactées et/ou de supposer des incidences potentielles du projet sur un site Natura 2000. Ils peuvent dès lors conduire si nécessaire à la réalisation d'une demande de dérogation et/ou d'un dossier d'évaluation des incidences.

L'étude d'impact ayant lieu très en amont du projet et des procédures, les études réalisées dans ce cadre ne permettent pas toujours de répondre aux exigences nécessaires à la rédaction de ces procédures particulières. Dans ce cas, des compléments devront être effectués.

Le dossier de demande de dérogation⁽¹⁾

Il a pour objectif, comme son nom l'indique, de déroger aux dispositions de protection, pour certains motifs expressément prévus par la loi et sous certaines conditions.

Selon l'article L. 411-2, la demande doit être justifiée par des « *raisons impératives d'intérêt public majeur, y compris de natures sociale ou économique* » et à condition « *qu'il n'existe pas d'autre solution satisfaisante* » et « *que la dérogation ne nuise pas au maintien, dans un état de conservation favorable, des populations des espèces concernées dans leur aire de répartition naturelle* ».

La question de remise en cause des cycles biologiques est particulièrement importante pour les chiroptères. L'atteinte aux gîtes sera par exemple ici considérée sur le plan juridique comme des sites de repos et/ou des aires de repos.

À l'exception de 2 espèces de chiroptères, considérées comme particulièrement menacées (Rhinolophe de Mehely et Murin des marais) et pour lesquelles les dérogations sont accordées par le ministre en charge de la protection de la nature, les dérogations sont accordées par le préfet du département où ont lieu les activités justifiant la demande. Les dérogations sont ainsi généralement accordées (ou non), sur la base du dossier de demande de dérogation, après une procédure d'instruction par les services de l'État comprenant une consultation obligatoire du Conseil National de Protection de la Nature (cf. annexe 4).

Le dossier de dérogation espèces protégées n'est pas soumis à l'échéance de l'autorisation de projet et il est fréquemment réalisé dans un second temps notamment en raison des nécessaires précisions à apporter au dossier pour répondre aux impacts du projet sur les espèces protégées. Cependant, l'autorisation devra être obtenue (pour tous les impacts réels du projet sur les espèces protégées) avant le démarrage des travaux.

Conditions d'application de la réglementation relative à la protection des espèces de faune et de flore sauvages - Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie – 2013.

Il ressort de l'application de la procédure de demande de dérogation que la durée de consultation est de l'ordre de :

- 2 semaines pour les dossiers courants pour lesquels les experts délégués se prononcent directement ;
- 2 mois pour les dossiers complexes pour lesquels les experts demandent l'avis des commissions spécialisées pour la faune avant de se prononcer au nom du CNPN ;
- 6 mois pour les dossiers pour lesquels il est nécessaire de recueillir l'avis du comité permanent du CNPN.

(1) Le dossier de demande est susceptible d'être intégré à la procédure d'autorisation unique en cours d'expérimentation dans le cadre de l'instruction des dossiers Lois sur l'eau. La généralisation de cette procédure risque notamment d'engendrer une modification des délais.



L'évaluation des incidences

Lorsqu'un projet est susceptible de porter atteinte directement ou indirectement à un site Natura 2000 et plus précisément aux objectifs de conservation des espèces (ici de chiroptères) d'intérêt communautaire ayant justifié la désignation du site, la directive « Habitats-Faune-Flore » impose de la même manière d'évaluer les incidences du projet.

Elle doit être proportionnée à la nature et à l'importance du projet, aux enjeux de conservation du site Natura 2000 concerné et à l'existence ou non d'incidences potentielles du projet sur ces sites.

La première phase consiste ainsi en un pré-diagnostic de la situation (l'évaluation préliminaire) qui détermine s'il faut ou non poursuivre l'étude. À ce stade, une analyse détaillée des habitats et des espèces présents ne s'impose pas (réalisation d'inventaires ou de prospections de terrain). Si le pré-diagnostic conclut à l'absence d'impact notable sur le ou les sites Natura 2000, un dossier simplifié suffit. Par contre, à l'issue de cette phase, si le projet a une ou des incidences notables potentielles sur le site Natura 2000 concerné, il faut réaliser une analyse approfondie. Cette analyse doit détailler l'état de conservation actuel, les impacts sur le site (et les espèces) ainsi que les mesures de suppression ou réduction des impacts. Si malgré ces mesures, des impacts résiduels significatifs demeurent, le dossier justifiera de l'absence de solution de moindres impacts, les raisons impératives d'intérêt public majeur et les mesures permettant de compenser ces impacts.

Le préfet organise, avec le service déconcentré en charge de Natura 2000 (DREAL, DDT), le circuit administratif permettant de prononcer des avis sur l'évaluation des incidences. L'évaluation des incidences doit être jointe au dossier habituel de demande d'autorisation ou d'approbation administrative du projet et, le cas échéant, au dossier soumis à l'enquête publique (cf. annexe 5). Lorsque des impacts résiduels sont avérés, l'état transmet également le dossier d'évaluation des incidences pour information à la commission européenne (lorsqu'il s'agit d'espèces prioritaires, c'est un avis de la commission européenne qui est nécessaire mais aucune des espèces de chiroptères n'est concernée par ce statut).

En terme de temporalité, la réglementation est relativement souple. L'étude d'incidence doit cependant, même si celle-ci peut nécessiter une actualisation ultérieure, être intégrée à la demande d'autorisation du projet (enquête publique) (R414-21 CE).

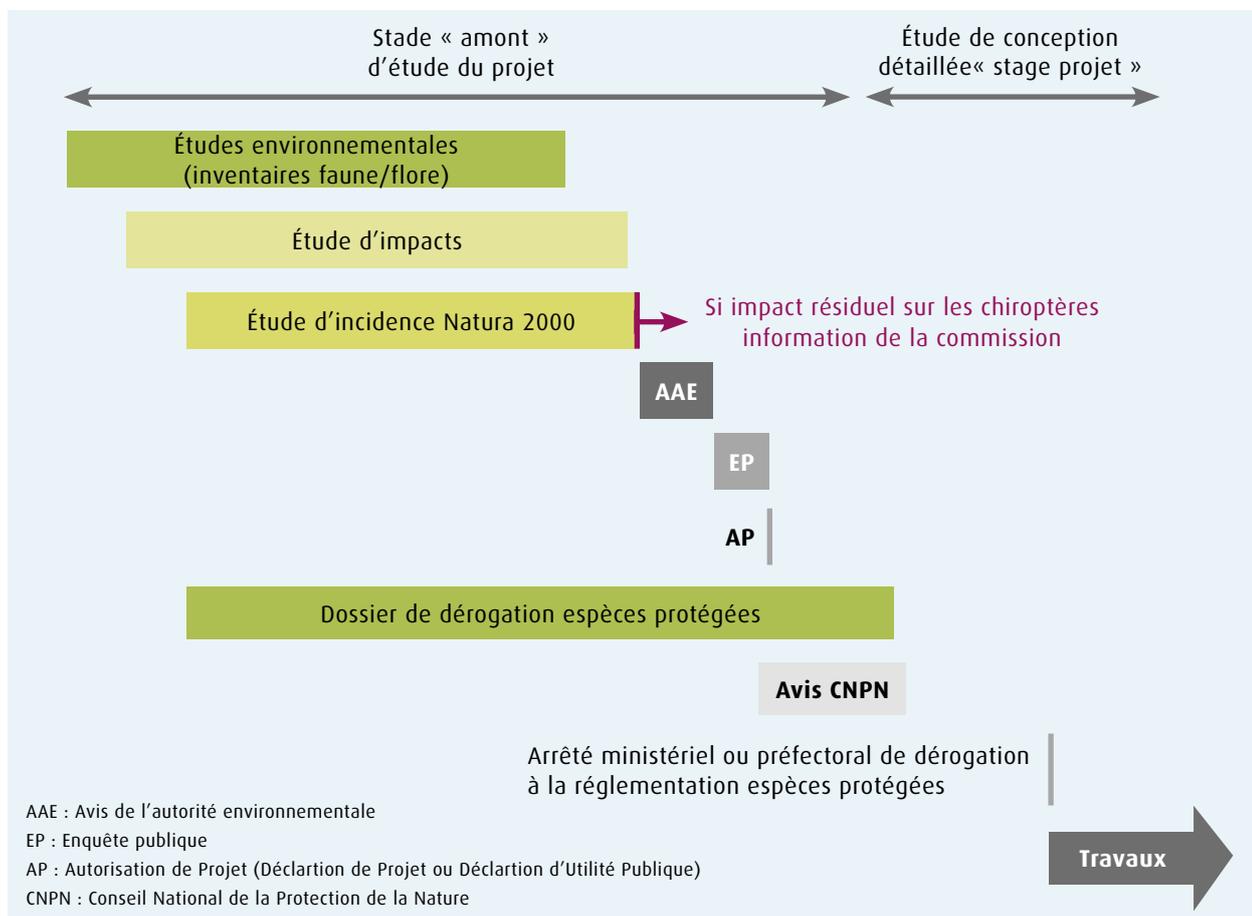


Illustration 8 : D'après le schéma représentant le déroulement généralement observé des procédures relatives aux milieux naturels pour un projet d'Infrastructure de Transport Terrestre (Source : CETE de Lyon)



2.2.3 - Plan National d'Actions en faveur des Chiroptères

Dans la continuité des orientations de la « Stratégie nationale pour la biodiversité » et de son « Plan d'Action pour le Patrimoine Naturel », et dans le cadre du Grenelle de l'environnement, le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) a décidé en 2007 de créer de nouveaux plans nationaux d'actions (PNA) (anciens plans de restauration initiés en 1996). Ils interviennent en complément du dispositif législatif et réglementaire relatif aux espèces protégées.

Les plans nationaux d'actions sont des outils stratégiques qui visent à assurer le maintien ou le rétablissement dans un état de conservation favorable d'espèces menacées ou faisant l'objet d'un intérêt particulier.

Ce dispositif est sollicité lorsque les outils réglementaires de protection de la nature sont jugés insuffisants pour rétablir une espèce ou un groupe d'espèces dans un état de conservation favorable.

Ils visent à coordonner la mise en œuvre des actions volontaires à travers :

- le développement des connaissances ;
- des actions de gestion et de restauration ;
- des actions de protection ;
- l'information et la formation.

Les chiroptères ont fait l'objet d'un deuxième plan national d'actions pour la période 2009-2013 qui a mis en œuvre 26 actions. Les infrastructures de transport terrestre sont notamment concernées par les actions 6 et 7 auxquelles le présent guide se rattache. Ce plan est animé par la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels, piloté par la DREAL Franche-Comté, et est consultable sur www.plan-actions-chiropteres.fr.

Ce plan national d'actions Chiroptères est maintenant arrivé à échéance. Ses actions, notamment celles concernant la prise en compte de ces mammifères dans les projets d'infrastructures, sont cependant poursuivies et développées afin d'assurer la continuité de la dynamique en faveur des chauves-souris.

Faisant suite au bilan du PNA, un nouveau projet a été rédigé pour la période 2016-2025 par la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels, sous commande de la DREAL Franche-Comté, et adressé au MEDDE.





Chapitre 2

Impacts des infrastructures sur les Chauves-souris

Les infrastructures de transport, de par leurs impacts directs et indirects, constituent l'une des causes de mortalité constatée des chiroptères. Si la construction d'une infrastructure s'accompagne dans un premier temps de la destruction et de la perturbation directe de leurs habitats (terrains de chasse, gîtes, routes de vol), elle conduit également à la fragmentation des milieux utilisés par ces mammifères, à des perturbations sonores et visuelles et modifie ainsi l'utilisation de l'espace par les espèces.

Dès leur mise en service, les infrastructures sont également une source de mortalité directe importante liée aux collisions avec les chauves-souris.

D'après Berthunissen et Altringham (2015), les effets négatifs d'une grande infrastructure se traduisent ainsi à terme par une diminution de la biodiversité et de l'abondance en chiroptères dont les effets seraient visibles jusqu'à 1 600 m de la route.

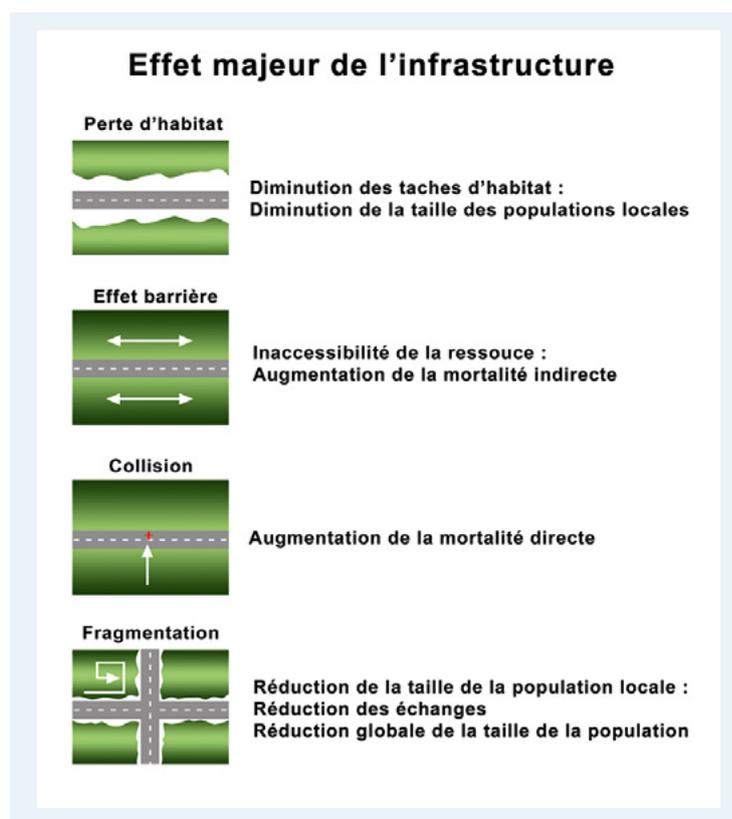


Illustration 9 : Effets majeurs des infrastructures et leurs impacts sur les fonctions écologiques (Source : Fahrig (2002) ; Jaeger (2004))



1 - Impacts directs

1.1 - Impacts temporaires

Les impacts temporaires sont essentiellement liés à la phase chantier et concernent les dérangements liés à la lumière, les odeurs, les bruits et les vibrations émises lorsque ce dernier s'effectue de nuit.

Le dérangement peut notamment retarder et décourager la sortie du gîte, voire créer une barrière physique entraînant la perte d'un terrain de chasse habituellement utilisé (Highway Agency, 1999; Bickmore et Wyatt, 2006a et 2003; Highways Agency, 2006).

Ces dérangements ont alors des effets identiques à ceux constatés en phase exploitation (cf. chapitre 1.2.2.2 et 1.2.2.3).

Street Lighting Disturbs Commuting Bats - Stone, E.L., Jones, G., Harris, S. - 2009

Dans le Nord de Somerset, au Sud-Ouest de la Grande-Bretagne, des expériences d'éclairages artificiels de haies ont été réalisées entre avril et juillet sur huit axes de vol afin d'évaluer l'impact de la lumière artificielle sur le déplacement des Petits rhinolophes (*Rhinolophus hipposideros*) le long des corridors paysagers.

Des lampes à sodium haute pression imitant l'intensité et le spectre de lumière des éclairages publics ont été placées le long des sites retenus. Les chercheurs ont ainsi observé une réduction spectaculaire de l'activité des chauves-souris le long des routes de vol étudiées (-75 %) et ont constaté un début d'activité plus tardif (envol).

1.2 - Impacts permanents

1.2.1 - Dès la phase travaux

1.2.1.1 - Perte d'habitats

- **Suppression des gîtes, risque de destruction des individus**



Avec la coupure des habitats, la destruction des gîtes constitue l'un des effets les plus dommageables pour les populations de chauves-souris car ils constituent des lieux indispensables à l'accomplissement de leur cycle biologique qu'il est, en outre, impossible de déplacer ou de remplacer à l'identique. Au-delà de la destruction ou de la perturbation des gîtes, les travaux de dégagement des emprises peuvent porter directement atteinte aux individus présents en les blessant, voire en les tuant.

Le niveau de destruction est alors très dépendant de la période choisie pour les travaux.

Si l'intensité de l'impact peut varier, les gîtes d'hivernage et de mise bas n'en restent pas moins les plus sensibles à la destruction directe car les jeunes non volants et les adultes en hibernation n'ont aucune possibilité de s'enfuir.

La destruction des gîtes intervient généralement au cours des premières étapes du chantier par la suppression directe de bâtiments ou de petites structures accueillant des populations de chiroptères (blockhaus, ouvrages, etc.). Même les anciens ponts en pierre sont souvent démolis ou rénovés (rejointoiement) car ils ne sont pas assez solides pour supporter la charge du trafic de la nouvelle infrastructure. Pour certaines espèces, comme le Murin de Daubenton, qui apprécie particulièrement ces structures et peut par exemple s'installer à l'année sous l'arche d'un pont ou dans les fissures, ces travaux peuvent entraîner une mortalité particulièrement élevée (Arthur et al, 1996 ; Keeley, 2005).



En plus des impacts sur ces petites structures qui, généralement, sont bien recensées et localisées au cours des études amont, les travaux préalables de préparation des emprises comprennent également des phases de défrichage pour lesquels l'impact est plus difficilement quantifiable. La suppression des arbres à cavités ou présentant des anfractuosités peut pourtant s'avérer particulièrement impactante pour les populations locales de chauves-souris. La difficulté est ici liée à la dispersion des gîtes au sein des boisements et à la difficulté de les localiser précisément. Ceci est d'autant plus complexe que de nombreuses colonies de parturition ne dépendent pas d'un seul gîte mais d'un réseau de gîtes (plusieurs dizaines à centaines).

On peut néanmoins évaluer le niveau des impacts de la traversée d'un milieu forestier en considérant la structure et l'âge du boisement. Ainsi, si les impacts sur les gîtes à chiroptères sont potentiellement faibles ou inexistantes au sein des jeunes structures arbustives (ex : parcelles en phase de régénération), le passage d'un projet au sein d'un peuplement âgé de feuillus s'accompagne presque toujours d'impacts forts.

Avec les travaux de terrassement, qui suivent le dégagement des emprises, d'autres impacts sont constatés. Les risques portent alors soit sur la destruction directe des gîtes souterrains par les engins travaillant sur les sections en déblai, soit, dans certains cas, sur la destruction indirecte liée à l'usage d'explosifs pour tailler la roche. Le risque concerne alors l'effondrement des fissures et des cavités abritant des chiroptères (Keeley et Tuttle, 1999). Les milieux rocheux à l'image des milieux karstiques sont ainsi particulièrement sensibles à ce type de perturbations. Ils le sont d'autant plus, qu'au cours des phases de recensement, il est parfois difficile d'identifier les populations en présence et de localiser précisément des gîtes au sein des vastes réseaux souterrains.

Plus rarement, ces perturbations s'observent également lors de travaux plus localisés, comme la construction des fondations d'un ouvrage (Roué, 1999 ; Lemaire et al, 2006).

Même si les travaux sont réalisés en dehors de la période de mise bas, la destruction d'un gîte de parturition signifie toutefois qu'au cours de la saison suivant cette destruction, les femelles n'auront plus la possibilité de se reproduire ou verront leur reproduction compromise au moins sur une année (Highways Agency, 2006). Malgré d'éventuelles précautions en phases travaux, pour les espèces ayant une grande fidélité aux gîtes, la perte des sites peut conduire la colonie à quitter l'habitat initialement utilisé, notamment lorsqu'il n'existe pas de sites de substitution à proximité des habitats impactés.



Photo 2 : Chantier LGV Rhin-Rhône. Les travaux peuvent conduire au défrichage de vastes emprises forestières (Source : Cerema - Est)



Photo 3 : Sondages archéologiques sur la LGV Rhin-Rhône. Même si, le niveau des impacts est moins élevé qu'au cours des travaux de construction, la phase préalable des sondages archéologiques ne doit pas être sous estimée car elle peut également s'avérer destructrice (Source : Cerema - Est)



Photo 4 : Chantier de construction de la Rocade Sud de Bourges - Le tracé a été légèrement déplacé pour sauvegarder les cavités d'hibernation les plus importantes (Source : L. Arthur - MHN de Bourges, 2000)



• Suppression des terrains de chasse



Les chauves-souris observées sur le territoire métropolitain étant toutes insectivores, l'ensemble des milieux riches en insectes comme les zones humides, le milieu bocager, les forêts, voire les friches constituent les territoires de chasse préférentiels. Les boisements représentent notamment des milieux de chasse de prédilection pour un grand nombre d'espèces qui exploitent les lisières, le dessus de la canopée ou encore le huppier des arbres.

Le passage d'une infrastructure dans ces milieux peut donc conduire directement à une perte d'habitats de chasse et/ou créer de nouvelles vastes zones ouvertes, constituant de véritables barrières physiques pour les chiroptères. Il en résulte alors une diminution considérable de la disponibilité en ressources alimentaires ou la limitation de leur accès.

Alors que la largeur des emprises des voies d'une ligne ferroviaire et d'une autoroute est de l'ordre de 20 à 30 m en phase exploitation, les emprises totales sont en réalité bien plus larges et ne se limitent pas strictement au tracé. Elles sont notamment bien plus importantes en phase travaux. Elles atteignent ainsi de l'ordre de 80 à 120 m de largeur voire plus suivant l'infrastructure, la topographie, les équipements annexes (bassins de rétention, voie d'accès, etc.), ou encore la réalisation de zones de dépôt.

Si la localisation des terrains de chasse est fonction de la ressource alimentaire, elle-même dépendante du type et de la qualité des habitats, elle est également liée à l'écologie propre à chaque espèce. Chacune d'entre elles exploite des zones bien définies situées à des distances variables de leurs gîtes. Certaines peuvent ainsi chasser sur des territoires relativement éloignés de leurs gîtes, pouvant aller, comme le Grand murin, jusqu'à une vingtaine de kilomètres. À l'inverse d'autres tels que le Murin de Bechstein, les oreillard ou encore les rhinolophes évoluent sur des périmètres restreints et effectuent des déplacements beaucoup plus courts (jusqu'à quelques centaines de mètres). En se limitant ainsi à une ressource alimentaire plus localisée, donc plus limitée et vulnérable vis-à-vis du projet, ce sont probablement ces dernières espèces qui sont les plus sensibles à la destruction des milieux naturels.

LGV Est européenne - Bouxières-sous-Froidmont Traversée du massif des bois Fréhaut et Cerisier



Illustration 10 : LGV Est avant travaux - 1999 (Source : IGN)



Illustration 11 : LGV Est en phase travaux - 2004 (Source : IGN)



Illustration 12 : LGV Est en phase exploitation - 2010 (Source : IGN)



Si la surface des habitats de chasse exploités devient trop faible, ces habitats sont susceptibles de perdre totalement leur intérêt pour les chiroptères. Dans ce cas, la diminution des ressources alimentaires oblige les espèces à exploiter des habitats plus éloignés et à conquérir de nouveaux territoires. Les individus sont dès lors contraints d'emprunter des corridors de vol plus longs. L'augmentation des distances de déplacement se traduit par des impacts négatifs sur le bilan énergétique des individus, notamment durant les périodes où les conditions météorologiques sont défavorables.

Kerth G. & al (2001) ont également montré pour le Murin de Bechstein que la consommation des espaces de chasse par une infrastructure peut exacerber la compétition entre les individus à la recherche de nouveaux territoires et ainsi favoriser le stress et les conflits.

L'importance de l'impact est fonction de la présence ou non de territoires de chasse de substitution au sein du périmètre d'activité des espèces. Sans ces milieux de remplacement, la consommation des espaces de chasse peut conduire rapidement au déclin de la population locale de chiroptères ou au départ de l'ensemble de la colonie.

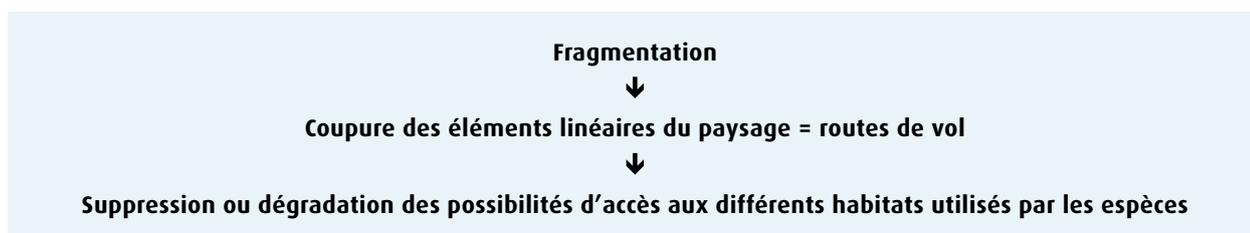
Dans les habitats dégradés, l'existence de territoires de chasse revêt donc une sensibilité particulière par rapport au passage d'une infrastructure.

L'impact de la destruction des habitats de chasse dépend également de son éloignement par rapport aux différents gîtes. La présence d'habitats de chasse est en effet primordiale à proximité :

- des gîtes d'hivernage, de manière à s'assurer d'une ressource alimentaire proche au moment du réveil printanier ou lors des périodes de redoux hivernales ;
- des gîtes de mise bas, afin que les jeunes volants puissent disposer d'une ressource alimentaire lors de leurs premières sorties.

Pour le Grand rhinolophe, la présence d'habitats de chasse situés à moins de 2-3 km du gîte est essentielle pour les femelles gestantes et les jeunes qui sont incapables de voler sur de plus longues distances (Ransome, 1996). Une fois les jeunes nés, les femelles peuvent toutefois par la suite se déplacer jusqu'à 14 km de leurs colonies de maternité (Ransome & Hutson, 2000 in Bickmore, 2003).

1.2.1.2 - Fragmentation des habitats, coupure des routes de vol



Lors de la construction d'une infrastructure de transport, le dégagement des emprises s'accompagne d'une coupure de l'ensemble des structures paysagères traversées. La fragmentation de l'espace conduit ainsi à une séparation et un morcellement des habitats.

Lorsque les travaux ont lieu durant la période d'activité des chiroptères (de mars à novembre), ce sont particulièrement les premières phases d'intervention qui s'avèrent les plus perturbatrices car les chauves-souris perdent leurs repères et doivent évoluer dans un nouvel environnement qu'elles doivent rapidement intégrer avant éventuellement de modifier leur comportement.

La suppression de ces éléments du paysage est particulièrement néfaste en période estivale, c'est-à-dire au moment où les espèces sont cantonnées, les femelles mettent bas puis quand les juvéniles s'émancipent.

Toutes les espèces ne présentent toutefois pas la même sensibilité à la fragmentation. Les espèces les plus sensibles sont celles, comme les rhinolophes ou les murins, présentant des émissions sonores de faible portée qui les conduisent à voler et/ou chasser à basses ou moyennes altitudes en suivant les éléments structurants du paysage (haies, lisières forestières, ripisylve) (cf. tableau 2).



Pour ces espèces, la rupture des éléments linéaires constituant les routes de vol est alors susceptible de créer un obstacle infranchissable et d'isoler une colonie de ses principales zones d'activité. La suppression ou la dégradation de l'accessibilité aux zones d'alimentation ou aux autres gîtes peut alors avoir des répercussions sur le niveau de mortalité, la fécondité voire le maintien des individus sur le territoire.

Si le niveau de l'impact est globalement très dépendant de l'espèce, il n'est pas exclu que quelques individus d'espèces a priori sensibles à la fragmentation continuent toutefois à emprunter leur ancienne route de vol (Highways Agency, 2006) en particulier lorsqu'elles connaissent bien le milieu. L'importance de la coupure doit cependant être modérée, car il est évident que plus la largeur de l'emprise est grande, plus la coupure est forte et le franchissement difficile.

Chantier de la LGV Est européenne – 2^{ème} phase – Bénestroff (57) – RFF/Néomys – 2011

Dans le cadre de l'étude du comportement des Chiroptères pendant la phase travaux, certains individus de Grand murin ont aisément continué à franchir la piste de chantier même lorsque la largeur de celle-ci s'étendait sur plus d'une dizaine de mètres.

Par contre, il semble que la modification profonde du paysage et notamment du relief ait entraîné dans certaines situations la déviation voire la suppression des routes de vol dès la phase chantier.



Photo 5 : Chantier de la LGV Est à Bénestroff (Source : Néomys)

Si à une large échelle la sensibilité d'un milieu diversifié riche en haies, ripisylves et autres boisements est plus élevée, l'impact du passage d'une infrastructure au sein d'un espace d'agriculture plus intensive ne doit pas être sous estimé.

En effet, à une échelle plus fine, la présence de quelques éléments boisés au sein d'un espace dénudé peut constituer la seule structure sur laquelle s'appuient les chiroptères pour se déplacer. La suppression ou la coupure d'une telle structure peut alors être fortement préjudiciable aux populations locales.



Illustration 13 : Exemple de configuration d'un corridor boisé au sein d'un espace d'agriculture intensive pouvant concentrer la majeure partie des déplacements des Chiroptères du milieu (Source : www.geoportail.gouv.fr)



En milieu forestier, même si les espèces glaneuses comme les murins passent aussi régulièrement à travers les peuplements forestiers, les chiroptères utilisent souvent les structures ouvertes telles que les layons forestiers ou les cours d'eau. Les déplacements au sein d'une forêt restent toutefois assez complexes et l'évaluation des impacts sur ces axes de déplacement, assez difficile à appréhender. Cette difficulté est notamment liée au fait que ces habitats constituent également des zones de chasse pour de nombreuses espèces. Les axes correspondant aux routes de vols sont alors difficiles à séparer de ceux servant à l'alimentation.

1.2.2 - En phase exploitation

1.2.2.1 - Collision avec les véhicules

Les connaissances de l'impact des collisions sur les populations de chiroptères restent encore partielles et essentiellement limitées aux infrastructures routières. Quelques chiffres de mortalité routière sont fournis dans la littérature mais le nombre de victimes de collision semble toutefois être très supérieur à ce que les études de mortalité (recherche de cadavres aux abords des infrastructures) laissent supposer (cf. tableau 4). La collision représente probablement l'un des facteurs de mortalité les plus importants pour les chauves-souris (photo 6).

Références	Infrastructures	Région	Durée (mois)	Relevés	km	Cadavres (nb)	Espèces (nb)
CETE Med (2010)	RN 113 (4 voies)	PACA	1,5	18	14	88	8
Capo et al (2006)	RD 2076	Centre	24	120	2	104	15
Vaine (2005)	Autoroute A20	Limousin	3	14	22	24	7
Néri-ENMP (2004a)	Autoroute A20	Midi-Pyrénées	6	9	40	44	7
Lemaire et Arthur (1998)	RD 2076	Centre	16	64	1,5	19	7
Girons (1981)	Nationale 137	Pays de la Loire	6	4	2	9	2

Tableau 4 : Exemple de données de mortalités issues de la bibliographie française

Les études menées par Limpens en Hollande évaluent le taux de mortalité dû aux collisions entre 1 et 5 % (Limpens et al, 2005), alors qu'une étude allemande sur le Petit rhinolophe donne entre 5 et 7 % de mortalité.

Lesiński et al (2010) indique quant à lui que le nombre de Chiroptères victimes de la route représente généralement moins de 1 % de la totalité des vertébrés retrouvés.



Photo 6 : Oreillard victime du trafic routier (Source : L. Arthur - MHN Bourges)

Même si cet impact reste difficile à estimer, certains travaux de modélisation montrent en revanche qu'une surmortalité de quelques adultes sur une année peut sensiblement affecter une population de chiroptères et engendrer un risque pour son maintien. C'est en particulier le cas lorsque la population concernée est déjà fragile.

Des études ont par exemple montré que chez le Petit rhinolophe et le Grand murin, une surmortalité due aux collisions de 3 à 7 femelles adultes par an dans une colonie de 100 femelles induirait un risque significatif de déclin de cette colonie (Hintermann G., et al. (2012)).



Cette sensibilité des chiroptères à l'impact est surtout liée à leur écologie et notamment à leur stratégie démographique de reproduction basée sur une grande longévité, une fécondité faible (1 à 2 jeunes par an), un besoin de disponibilité alimentaire régulière au cours de la période d'activité et des risques faibles de mortalité extérieure (prédation). Dans un environnement perturbé, la surmortalité de quelques individus est ainsi très préjudiciable au maintien de l'ensemble de la population car les capacités de reconstitution sont lentes. Si l'impact des collisions sur ces mammifères est globalement élevé, différents facteurs peuvent toutefois influencer significativement le niveau de risque et les espèces touchées :

Facteur	réducteur	aggravant
Période de l'année	<ul style="list-style-type: none"> hibernation (pas de déplacement) 	<ul style="list-style-type: none"> mai = sortie d'hibernation, transit août septembre = essaimage des jeunes inexpérimentés + transit
Milieu traversé	<ul style="list-style-type: none"> milieu pauvre en insectes 	<ul style="list-style-type: none"> terrain de chasse au droit des points de conflits entre les axes de vol et l'infrastructure
Composition des espèces	<ul style="list-style-type: none"> espèces de haut vol espèces en faible densité 	<ul style="list-style-type: none"> espèces volant bas en suivant les éléments structurants du paysage espèces fortement représentées
Position et profil en long	<ul style="list-style-type: none"> fort déblai 	<ul style="list-style-type: none"> profil rasant ou en léger remblai
Caractéristiques de la route, densité et vitesse du trafic	<ul style="list-style-type: none"> bidirectionnelle trafic dense et lent 	<ul style="list-style-type: none"> 2x2 voies trafic rapide et véhicules isolés
Catégorie de véhicule	<ul style="list-style-type: none"> voitures de tourisme 	<ul style="list-style-type: none"> poids lourd, locomotive
Conditions météorologiques	<ul style="list-style-type: none"> nuit froide et humide 	<ul style="list-style-type: none"> nuit chaude et sèche

Tableau 5 : Principaux facteurs influençant le risque de collision des Chiroptères

• Influence de la période de l'année, de l'âge des individus, de l'heure d'activité

Les études réalisées jusqu'à présent montrent qu'il existe deux pics de mortalité par collision, en mai et surtout en août - début septembre, périodes coïncidant avec une forte activité de déplacement des chiroptères (Lesiński 2007, 2008, Lesiński et al 2010 ; Gaisler et al 2009).

La première période correspond à la sortie d'hibernation des chauves-souris qui doivent fortement s'alimenter et se déplacer pour rejoindre leur site d'estivage et de mise bas. Cette période correspond également à la période de fin de gestation des femelles qui, moins agiles, seraient plus sensibles. La seconde, en fin d'été et début d'automne, correspond à une période charnière au cours de laquelle les individus doivent à la fois constituer leurs réserves en prévision de l'hiver (Néri - ENMP, 2004) et effectuer d'importants vols de transit vers les sites de swarming et d'hibernation.

La fin d'été et le début d'automne correspondent également à la période d'essaimage et de dispersion des jeunes. Le nombre de chiroptères volants est alors plus élevé et, corrélativement, celui du nombre d'individus victimes des infrastructures plus important. C'est d'autant plus le cas, que les juvéniles encore inexpérimentés sont particulièrement vulnérables durant cette période. Les secteurs proches des gîtes sont dès lors spécialement concernés.

Dans une étude menée durant les mois de septembre/octobre sur la déviation d'Arles, ce sont 59 jeunes chauves-souris pour seulement 9 adultes qui ont été victimes de collisions (CETE méditerranée, 2010).

Enfin, une majorité des espèces montre une phénologie horaire marquée avec un net pic d'activité dans les 2 premières heures de nuit (déplacements vers les terrains de chasse, vol des insectes) conduisant à une mortalité probablement plus élevée au cours de cette période.



• Influence du milieu traversé

Bien que de nombreuses chauves-souris soient sensibles à la coupure des corridors paysagers et qu'elles choisissent de faire demi-tour lorsque leur route de vol est interrompue par une infrastructure, un certain nombre d'entre elles préfèrent continuer à les emprunter au risque de se faire percuter. L'intersection entre l'axe de déplacement (haies, ripisylves, lisières forestières) et la route ou la voie ferrée constitue alors une zone de forte mortalité pouvant s'avérer préjudiciable aux populations locales de chauves-souris. En volant à basse altitude le long des structures du paysage, les murins et les rhinolophes sont particulièrement sensibles à cet impact.



Photo 7 : Exemples de trajectoires de murins de Daubenton et de pipistrelles lors du franchissement de la RN113, canal de Baisse de Raillon (Source : Google earth / Groupe Chiroptères de Provence)

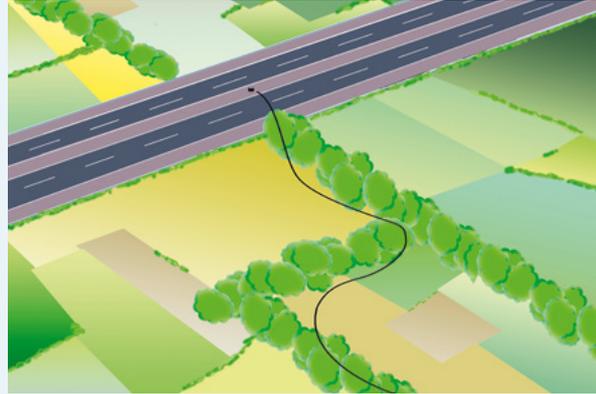


Photo 8 : Exemple de configuration susceptible d'être très meurtrière pour les Chiroptères au droit du point de conflit entre la route et l'alignement végétal (Source : Cerema - Est)

La coupure des axes de vol intervient généralement lors de la construction de nouvelles infrastructures mais elle peut également survenir lors de travaux de moindre importance :

- lorsqu'un alignement végétal ou un merlon est rompu le long d'une infrastructure, dans certains cas, plutôt que de continuer et rattraper l'autre section de la structure, certains individus s'engouffrent dans l'ouverture au risque de se rapprocher de la circulation (Comm pers. L. Arthur, 2011) ;

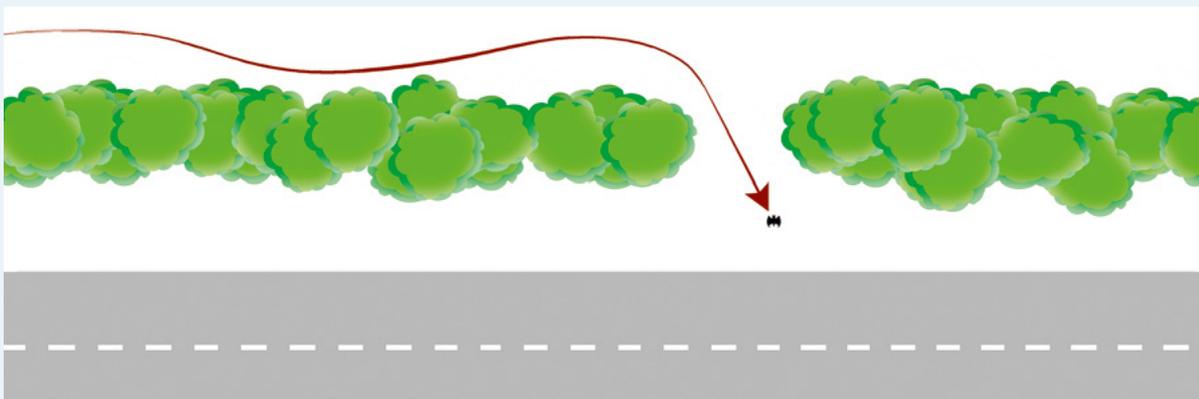


Illustration 14 : Trajectoire potentielle d'une chauve-souris lorsque l'alignement végétal est rompu (Source : Cerema - Est)

- dans le cadre d'un aménagement sur place. L'élargissement d'une route bordée d'arbres peut s'accompagner de la suppression des houppiers surplombant les voies et qui initialement étaient utilisés par les chiroptères. La suppression de ces boisements peut alors conduire à diminuer la hauteur de vol des espèces et augmenter le risque de collision ;

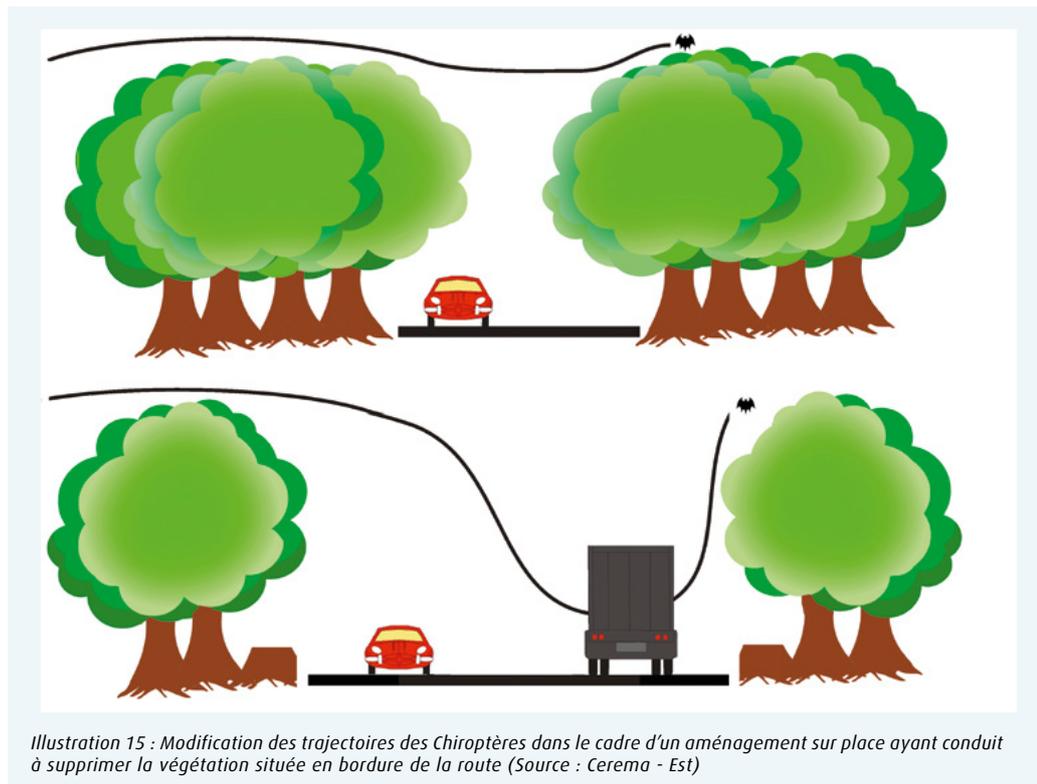


Illustration 15 : Modification des trajectoires des Chiroptères dans le cadre d'un aménagement sur place ayant conduit à supprimer la végétation située en bordure de la route (Source : Cerema - Est)

De même que pour les axes de vol, la composition des habitats bordant une infrastructure joue sans aucun doute un rôle non négligeable sur la mortalité des chiroptères par collision.

C'est en premier lieu le cas lorsque l'infrastructure coupe un complexe de milieux favorables et attractifs pour la chasse ou passe à proximité. Ainsi, la présence de milieux forestiers, de prairies humides, de retenues d'eau ou simplement d'arbres mellifères (tilleul, saules, fruitiers) le long des emprises induit inévitablement une fréquentation plus élevée des espèces en chasse, un franchissement de l'infrastructure plus fréquent et donc un risque de collision plus élevé.

Dans une étude menée par Lesiński (2007) sur un tronçon de 8 km d'une route polonaise étudiée pendant 6 ans, 1,5 individu/km/an ont, en moyenne, été victimes de la circulation routière. La mortalité observée était toutefois variable suivant les sections et des taux atteignant 6,8 individus/km/an ont été constatés sur les sections présentant une étroite bande boisée contiguë à la route et 2,7 individus/km/an dans la traversée des forêts. En revanche sur les sections situées en milieux ouverts et dans les zones périurbaines ce taux diminue pour atteindre de 0,7 à 0,9 individu/km/an.

De la même manière, dans une étude menée en République tchèque, Gaisler et al. (2009) ont constaté que la présence de milieux aquatiques en bordure de route a tendance à favoriser la présence des Chiroptères. Une activité et corrélativement une mortalité plus importante ont été révélées sur une section de 4,5 km située entre deux lacs artificiels (106 victimes de 10 espèces) en comparaison avec le deuxième tronçon de 3,5 km (13 cadavres de 3 espèces) ne présentant aucun plan d'eau ou forêt directement adjacente à la route.



Étude de mortalité des chauves-souris par collision le long de la RN 113 entre Saint-Martin-de-Crau et Arles - Groupe des Chiroptères de Provence - Life+ Chiro Med - 2010.

Sur 14 km de l'infrastructure (2X2 voies limitée à 110 km/h, 6 000 à 9 000 véhicules/nuit pendant la période d'étude), un plus grand nombre de cadavres de chauves-souris a été découvert au droit de deux sections bordées de milieux attractifs pour la chasse des Chiroptères.

- 14 cadavres (principalement des pipistrelles) ont ainsi été comptabilisés en deux mois sur 370 m de linéaire aux abords d'un échangeur dont les milieux connexes et les délaissés situés entre les voies sont des boisements constitués de peupliers blancs, de saules blancs et un marais calcaire ;
- 11 cadavres de pipistrelles ont été retrouvés sur 400 m de linéaire sur une section longée par des boisements de chênes verts, des pâturages, un étang et une zone industrielle éclairée durant la nuit.



Illustration 16 : Principaux secteurs de mortalité routière observés sur la RN113 (Source : Ophélie Planckaert et Sarah Fourasté/ Groupe Chiroptères de Provence)

Dans certains cas, c'est l'autoroute qui est à l'origine de la création d'habitats favorables susceptibles d'attirer les chauves-souris (cf. chapitre 2.1).

Il semble également que la hauteur de la végétation puisse jouer un rôle sur la hauteur de franchissement des voies par les Chiroptères et indirectement sur le risque de collision.

Dans une étude menée aux États-Unis (Russel A. et al., 2009) sur le comportement de franchissement d'une autoroute par les individus d'une colonie de murins, les chercheurs ont montré que les chauves-souris ont franchi l'autoroute au dessus de la circulation aux endroits où la hauteur de la canopée était supérieure à 20 m à moins de 10 m de l'autoroute alors que les individus ont traversé à hauteur de la circulation lorsque la végétation était plus basse (< 6 m). Il est toutefois fort probable que l'influence de la végétation reste variable suivant les espèces.

• Influence de la nature des peuplements de chiroptères, de leur stratégie de chasse et des caractéristiques de leur vol

Quasiment toutes les espèces peuvent être concernées par les collisions routières, même les espèces de haut vol, a priori peu sensibles (Lesiński, 2007). Seul le Molosse de Cestoni semble encore échapper à ce constat (absence de donnée).

Au-delà de l'influence des différents facteurs de collision (âge, paysage, ...), il semble que la représentation des espèces touchées soit également en lien avec la structure même des populations locales présentes aux abords de l'infrastructure.

De la même manière, il existe logiquement une relation entre le nombre d'individus d'une espèce victime de collision et la densité d'individus de cette espèce présente dans le milieu. Les espèces les plus fréquemment touchées sont naturellement celles qui sont les plus représentées dans la zone considérée (Lesiński, 2007).

En Pologne, Lesiński et al (2010) ont par exemple observé sur deux sections de routes traversant des zones périurbaines des taux de mortalité variant de 0,7 à 5,7 ind/km/an en raison semble-t-il de la présence, sur l'une des sections, de colonies à proximité.



En constatant que le nombre d'espèces augmente avec la distance à la route, Berthinussen et Altringham (2011), ont toutefois suggéré que certaines espèces étaient potentiellement plus sensibles au risque de collision.

Les Chiroptères entrent en collision lorsqu'ils survolent les infrastructures à hauteur des véhicules au cours de leur déplacement ou de leur activité de chasse. Disposant d'un sonar de courte portée les conduisant à voler le plus souvent à faible altitude au contact des éléments du paysage, les rhinolophes et les oreillards apparaissent ainsi particulièrement menacés par les collisions. Les autres espèces les plus fréquemment touchées sont les pipistrelles, les Murins de Daubenton, à moustaches et de Natterer.

Modélisation par trajectographie du risque de mortalité des Chiroptères sur une voie ferrée - Source : Biotope 2013

Deux catégories d'espèces ont été mises en évidence :

- les grosses espèces avec un risque < 5 % de risque de collision ;
- les petites espèces avec un risque de 40 à 90 % (en rouge).

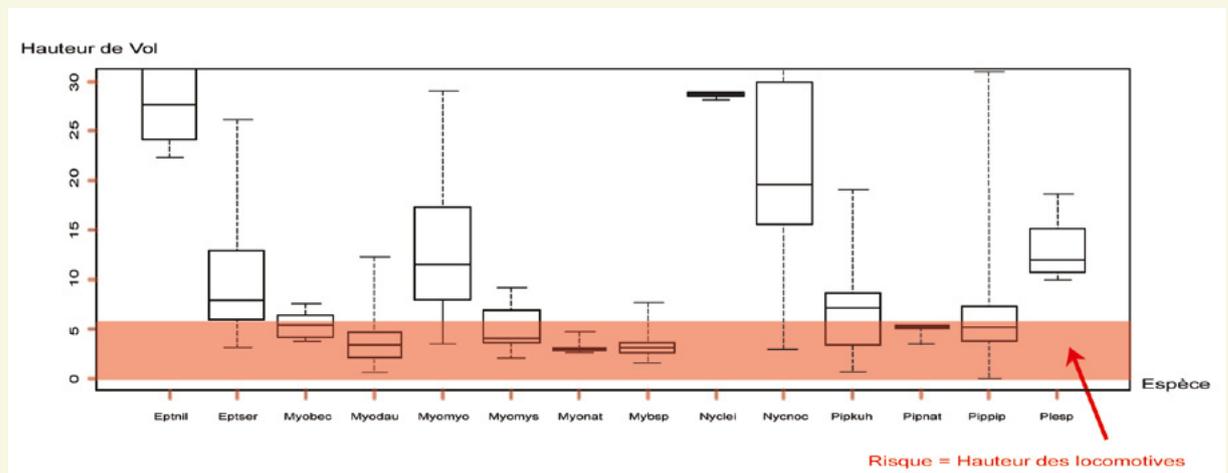


Illustration 17 : Résultats de la modélisation obtenue sur la ligne ferroviaire Belfort-Delle.

La sensibilité aux collisions des rhinolophidés et des oreillards est par ailleurs accrue par leur moindre capacité à éviter les collisions en raison de la lenteur de leur vol. Il semble également que la méthode de chasse des espèces conditionne cette sensibilité. Les espèces glaneuses et chassant en milieu forestier comme les murins apparaissent ainsi très sensibles.

Moins dépendantes des éléments du paysage et volant à plus haute altitude les espèces comme les noctules et les sérotines, sont, avant tout, exposées à un risque de collision lorsqu'elles s'approchent de la route pour chasser.



Photo 9 : Rhinolophe euryale (Source : Jean-Michel Bompar)

Enfin, en exploitant des domaines vitaux de tailles différentes, les espèces sont plus ou moins sensibles à la fragmentation et aux collisions. Sauf cas particulier, dans un territoire fragmenté, il est fort probable qu'une espèce qui a tendance à exploiter de vastes territoires et à effectuer de longs déplacements pour se nourrir, ait plus de chance de devoir franchir un plus grand nombre d'infrastructures qu'une espèce peu encline aux déplacements, chaque franchissement constituant alors un risque de collision pour l'espèce.



• Influence de la position et du profil en long de l'infrastructure

De par la tendance des chiroptères à suivre les structures du paysage, il est vraisemblable que le profil en long d'une infrastructure joue un rôle sur le comportement des chiroptères face à cette nouvelle barrière et indirectement sur le niveau de la fragmentation. C'est très certainement le cas pour les espèces volant à faible hauteur comme les murins ou les rhinolophidés (moins chez les pipistrelles). Malheureusement les connaissances sur le comportement des espèces vis-à-vis du profil en long d'une infrastructure sont encore lacunaires.

En remblai, la présence de l'obstacle physique et la largeur plus importante de la coupure dans le paysage laisse toutefois supposer que les chiroptères ont certainement pour une partie d'entre eux tendance à suivre le nouveau relief, notamment lorsque la hauteur du remblai est nettement supérieure à la hauteur de vol des individus.

Même si *a priori* les zones de déblai sont moins accidentogènes, elles n'en restent pas moins des zones susceptibles d'être utilisées par les chiroptères. Certaines espèces sont susceptibles de descendre sur le talus soit pour traverser l'infrastructure, soit pour y chasser (Comm. Pers. Arthur, 2009). L'absence de traitement et un entretien irrégulier des dépendances vertes constituent en effet des milieux favorables aux insectes et créent indirectement des zones propices à la chasse des chiroptères.



Photo 10 : Trajectoires potentielles d'un Chiroptère à l'approche d'un remblai (Source : Cerema - Est)

Le risque pour les espèces reste dans bien des situations difficile à évaluer car il dépend non seulement des caractéristiques de la route mais également de la position de l'infrastructure dans le paysage, de la topographie du site, des espèces, etc.

• Influence des caractéristiques de la route, de la densité et de la vitesse du trafic

La vitesse et la densité du trafic semblent être des facteurs décisifs influençant le nombre de chiroptères victimes de la route (Limpens et al, 2005). Il apparaît ainsi que plus la vitesse du véhicule est élevée moins la chauve-souris est capable de l'éviter et plus le risque de collision est élevé. Il semble qu'un trafic continu soit potentiellement plus dissuasif qu'un trafic discontinu.

Dans un ordre décroissant de dangerosité :



Les routes à deux fois deux voies et les autoroutes seraient potentiellement les plus meurtrières pour les chauves-souris à la fois parce que la vitesse y est plus élevée mais aussi parce que la distance de franchissement et donc le temps d'exposition au risque est plus important.

Dans une étude polonaise sur la mortalité routière avant et après l'aménagement sur place d'une infrastructure, alors qu'aucun cas de mortalité de chauves-souris (sur 1 600 cadavres de vertébrés récupérés) par collision n'avait été constaté préalablement aux travaux, de nombreux cas de mortalité ont été observés après aménagement. Les auteurs ont ainsi estimé que les victimes du trafic après travaux étaient très certainement liées à l'augmentation de la vitesse sur la route (>100 km/h) et l'accroissement du trafic de poids lourds la nuit (Owadowska & Szpakowski 2005 in Lesiński et al 2010).

Il semble cependant d'après Arthur et Lemaire (2009) que dans certaines conditions, les petites routes présentant un faible trafic soient également très meurtrières. Étant peu fréquentées et végétalisées, elles sont attractives pour la chasse, les chiroptères se font « surprendre » par les rares véhicules qui circulent.



De juin à octobre 2006, le muséum de Bourges (Arthur et Lemaire, 2009) a réalisé une étude de la mortalité routière des chauves-souris en recensant les victimes directes des collisions sur un véhicule en déplacement. Le choix s'est porté sur un petit camion qui sillonnait chaque nuit le sud du département du Cher pour livrer un quotidien local. Le conducteur débutait sa tournée au coucher du soleil et la terminait au lever du jour. Il a suivi chaque nuit deux itinéraires différents sur 200 kilomètres pendant toute la période d'estivage.

Les deux parcours traversent un maillage étroit de bocage, plusieurs grands massifs forestiers, des plaines céréalières et des zones urbaines.

Après 63 nuits de conduite, 38 chauves-souris ont été percutées. L'essentiel des chocs a été noté entre 3 et 4 heures du matin (16 impacts sur 24). Les accidents sont survenus à des vitesses comprises entre 45 km/h et 100 km/h.

L'impact des infrastructures ferroviaires sur la mortalité des chiroptères est quant à lui très peu connu. Il apparaît, par analogie avec le domaine routier, qu'avec un trafic éparé et une vitesse élevée, l'impact d'une ligne ferroviaire est très certainement non négligeable.

• Influence de la catégorie de véhicule

En ce qui concerne la circulation routière, avec une hauteur de l'ordre de 3-4 m, des déplacements fréquents de nuit et une vitesse qui reste élevée, les poids lourds sont les véhicules favorisant le plus les collisions avec les chiroptères. Au-delà des chocs directs avec les camions, les turbulences provoquées par leur déplacement auraient également tendance à rabattre les chiroptères sur la chaussée (Highways Agency, 2006 ; Bickmore et Wyatt, 2006 et 2003 ; Lemaire et Arthur, 1999).

Pour le transport ferroviaire, l'impact n'a, à notre connaissance, jamais été étudié, mais la taille des motrices et leur vitesse (jusqu'à 150 km/h pour les TER et Corail, et 320 km/h pour les TGV) laissent penser qu'ils sont responsables de beaucoup de collisions (Lemaire et Arthur, 1999). Pour les lignes LGV, les risques de collisions sont cependant minimaux entre juin et juillet, période pendant laquelle les TGV circulent pour la plupart de jour, (tranche horaire diurne maximale, de 6h-22h) (Ecoconseil et CPEPESC Franche-Comté, 2004). Les risques augmentent, par contre, dès le mois d'août et au printemps lorsque les nuits sont encore longues. Bien que moins rapides, les trains classiques (TER, Corail) circulent par contre régulièrement de nuit avec une vitesse qui reste élevée.

• Influence des conditions météorologiques

Le vent, les précipitations, la température, la pression atmosphérique ainsi que la luminosité sont autant d'éléments dont sont dépendantes les chauves-souris.

Au cours des périodes chaudes, les routes chauffées en journée par le soleil accumulent la chaleur qu'elles restituent en partie au cours de la nuit. Le rayonnement émis par la route durant la nuit attire alors de nombreux insectes puis indirectement les chauves-souris qui identifient ces milieux comme présentant une ressource alimentaire sans avoir connaissance du risque de collision. Les oreillards, par exemple, chassent au sol ou récupèrent les insectes morts victimes de collisions.

À l'inverse, lorsque les conditions ne sont pas favorables, ces facteurs influent sur l'activité des insectes et la chasse est alors moins fructueuse et le risque de collision, consécutivement, moins élevé. Néanmoins, même si les chauves-souris sont moins enclines aux déplacements lorsque les conditions climatiques sont défavorables, ces conditions constituent un facteur susceptible d'augmenter le risque de collision.

• Influence de la lune

Il semble que la lune joue un rôle et ait tendance à diminuer les activités de chasse en période de pleine lune et ce même lorsque cette dernière est obscurcie par les nuages (C. Le Gouil, 2011). Elle ne semble toutefois pas jouer un rôle en période de transit sur les espèces comme les rhinolophes (comm. pers. Laurent Arthur, MNH Bourges, 2015).

1.2.2.2 - Dérangement lié à la circulation et au bruit des véhicules

Même si de nombreux chiroptères traversent les infrastructures, il apparaît que les chauves-souris perçoivent les véhicules comme une menace et montrent un comportement d'évitement anti-prédateur en réponse à leur présence.



Les données ne concernent cependant que les infrastructures routières.

Dans une étude réalisée aux États-Unis (Zurcher, Sparks, Bennett, 2010), des chercheurs ont étudié le comportement des Chiroptères à l'approche des infrastructures situées à proximité de l'aéroport international d'Indianapolis et en particulier au droit de 5 sections coupant les axes de vol des chauves-souris. Sur 211 séquences d'approche de chauves-souris, 60 % d'entre elles ont montré un comportement d'évitement, en inversant leur course à une distance moyenne de 10 m d'un véhicule. À l'inverse, en l'absence de voitures, seules 32 % des chauves-souris ont inversé leur course. La hauteur de vol des chauves-souris, la vitesse du véhicule, le type de véhicule ou le niveau de bruit émis par les véhicules n'ont, par contre, semble-t-il, pas eu d'effet sur la probabilité pour les chauves-souris de modifier leur vol.

Outre l'effet de menace, la circulation en phase exploitation semble aussi avoir un effet négatif majeur sur l'activité de recherche de nourriture des chauves-souris.

Les résultats d'une étude menée au Royaume-Uni le long de sections non éclairées d'une autoroute du Nord de l'Angleterre sur laquelle circulent 30 à 40 000 véhicules par jour, ont montré que, toutes choses égales par ailleurs, l'activité des chauves-souris est 2,5 fois plus élevée à 1 600 m de la route qu'à proximité immédiate (Berthinussen et Altringham, 2011).

Schaub et al. (2008) ont démontré par des expériences menées sur le Grand murin, que les aires d'alimentation très proches des autoroutes et sans doute aussi des autres sources de bruit intense à large spectre sont moins adaptées pour les chauves-souris à l'écoute passive (repèrent leurs proies par le bruit et non par écholocation) ou « glaneuses » (chassent les insectes sur le sol ou dans le feuillage en émettant des faibles niveaux d'ultrasons). Les chercheurs indiquent que l'influence du bruit diminue avec la distance par rapport à la route. Il semble toutefois probable que les chauves-souris se nourrissant à 50 m de l'autoroute soient encore impactées par le bruit du trafic.

Berthinussen et Altringham (2015), indiquent qu'au-delà de 60 m, il semble qu'il n'y ait plus de perturbation notable pour la chasse à l'écoute passive.

En Europe, les espèces de chiroptères potentiellement sensibles au bruit, comprennent le Grand Murin (*Myotis myotis*), le Petit Murin (*Myotis blythii*), le Murin de Bechstein (*Myotis bechsteinii*) et toutes les chauves-souris du genre *Plecotus* (Arlettaz et al, 2001 ; Swift et Racey, 2002 ; Siemers et Swift, 2006).

1.2.2.3 - Impact de la lumière

Bien que la sensibilité des Chiroptères à la lumière soit variable selon les espèces, les chauves-souris semblent systématiquement l'éviter quand elles ne chassent pas à proximité (Highways Agency, 2006). Au droit des infrastructures, les zones non éclairées semblent ainsi plus souvent utilisées par les chiroptères pour leur franchissement. Il est notamment supposé que l'absence de lumière est attractive pour les chauves-souris en déplacement, car elles seraient ainsi moins susceptibles d'attirer l'attention de leurs prédateurs (National Roads Authority, 2005). Il semblerait que ce phénomène soit également conditionné par leurs capacités sensorielles. Diverses données indiquent que la vision d'une chauve-souris est meilleure dans la pénombre que dans la lumière vive (Eklöf, 2003).

Notion de « Trame noire »

L'éclairage artificiel et non maîtrisé est devenu la source d'une véritable pollution lumineuse et de perturbation pour les espèces faunistique en particulier pour les chiroptères (perturbation des déplacements, modification du système proie-prédateur, etc.). C'est pour ces raisons qu'on parle aujourd'hui de trame noire en tant que zones propices et/ou stratégiques pour favoriser le déplacement et le développement des espèces touchées par les nuisances nocturnes. La trame noire correspond ainsi à une continuité d'espaces non éclairés et silencieux formant un réseau écologique cohérent et fonctionnel répondant à l'objectif de préservation de ces espèces.



Certaines espèces sont particulièrement lucifuges (murins, oreillards et rhinolophes). Pour celles-ci, l'éclairage des infrastructures et la lumière des phares peuvent, dans certaines conditions, constituer de véritables barrières. L'impact peut s'avérer particulièrement néfaste lorsque la lumière éclaire les accès et les voies de passage utilisés par les chauves-souris. Les nouvelles technologies LED ne sont pas en reste et les premières expérimentations sur l'évaluation de leur impact conduisent aux mêmes conclusions.

Stone et al. (2012) ont montré que les lampadaires LED engendrent une réduction importante de l'activité de vol des chauves-souris volant lentement (*Rhinolophus hipposideros* et *Myotis* spp.). L'activité de ces chauves-souris a été considérablement réduite, même pour des faibles niveaux de rayonnement (3,6 lux). Par contre aucun effet de l'éclairage LED sur le vol relativement rapide des *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus pygmaeus* et *Nyctalus / Eptesicus* spp n'a été constaté.



Photo 11 : Lumières expérimentales LED le long d'une haie utilisée comme route de déplacement par le Petit rhinolophe (Source : Stone, 2012)

De la même manière, la lumière des lampadaires placés près d'un gîte est susceptible d'altérer le rythme biologique des espèces et de retarder la sortie des individus. Elle engendre par conséquent une réduction du temps de nourrissage, alors que la tombée de la nuit constitue une période particulièrement favorable à la chasse. (Verkem et Moermans, 2002 ; Downs et al., 2003 ; Theiler, 2004 ; Krättli et SSF, 2005 ; Boldogh et al., 2007 ; Patriarca & Debernardi, 2010). Dans certaines situations, l'éclairage peut même pousser certains individus à abandonner le gîte.

En revanche en période de chasse, d'autres espèces comme les sérotines ou les pipistrelles profitent des lampadaires pour venir chasser à proximité (Rydell, 1992 ; Blake et al., 1994). Les lampes à mercure (blanches) sont à ce titre, très attractives car elles émettent une composante ultraviolet attirant beaucoup d'insectes nocturnes et indirectement les chauves-souris qui viennent s'en nourrir. C'est notamment le cas lorsque, au sein d'un espace sombre, la source de lumière est unique. En plus d'être facilitée par une forte concentration d'insectes, l'alimentation des chauves-souris y est également favorisée par des altérations du comportement présentées par de nombreux insectes qui sont exposés à la lumière.

Les recherches portant sur l'influence de l'éclairage public dans un certain nombre de pays d'Europe du Nord ont ainsi enregistré une moyenne de 2 à 5 individus par km se nourrissant le long des routes éclairées par des lampes blanches alors qu'en moyenne moins d'un individu a été comptabilisé sur les autres portions de route (Bickmore, 2003).

En constituant des zones de chasse artificiellement favorables à certaines espèces, les équipements situés en bordure d'infrastructures renforcent ainsi le risque de collision pour les chiroptères (Rydell, 1992 ; Hintermann et al, 2012) ainsi que le risque de prédation nocturne (chouettes, chats).

Enfin, la concentration des insectes sur un même lieu peut indirectement conduire à une exploitation privilégiée de la ressource par certaines espèces au détriment de la disponibilité en insectes pour les autres, à la fois d'un point de vue quantitatif (détourne ou détruit une partie de la biomasse disponible) mais également qualitatif.

2 - Les impacts indirects et induits

Les impacts indirects correspondent à des actions qui, bien que n'ayant pas un effet direct sur les espèces, ont des impacts sur ces dernières. Dans le cas des impacts induits, il s'agit d'impacts qui ne sont pas directement liés au projet mais qui en découlent. Ces impacts peuvent être différés dans le temps et plus ou moins éloignés du projet.



2.1 - Impacts liés à la création d'habitats favorables

La construction d'une infrastructure peut être à l'origine de l'attraction des chiroptères à proximité de la circulation. Certains équipements placés en bordure des emprises, tels que les bassins de traitement le long des autoroutes ou les bassins de rétention le long des lignes à grande vitesse peuvent par exemple être utilisés par les chiroptères pour s'abreuver ou chasser (Lemaire et Arthur, 1998). Ces équipements peuvent notamment attirer les espèces de haut vol qui initialement n'étaient pas spécialement concernées par les collisions.



Illustration 18 : Exemple de bassin de rétention favorable aux Chiroptères – Autoroute A31 (57)
(Source : www.geoportail.gouv.fr)

2.2 - Impacts de l'aménagement foncier, agricole et forestier

Le passage d'une infrastructure au sein d'un territoire s'accompagne généralement d'une perte de surface agricole et d'une déstructuration dans l'organisation du parcellaire d'exploitation. En compensation des dommages ainsi occasionnés, obligation (article L.123-24 du code rural) est faite au maître d'ouvrage de l'infrastructure de participer financièrement à l'exécution des opérations d'aménagement foncier et des travaux connexes (au sein du territoire perturbé). La prise en charge financière des procédures a ainsi tendance à favoriser le développement de ces dernières.

Aujourd'hui les opérations d'aménagement foncier sont mieux réglementées et moins destructrices que par le passé. Toutefois en ayant pour objectif le regroupement du maximum de petites parcelles éclatées au sein du territoire en un minimum de parcelles de grande taille pour faciliter leur exploitation, l'aménagement foncier agricole et forestier s'accompagne nécessairement de profondes modifications et généralement d'une simplification dans l'organisation des territoires. Ceci conduit bien souvent à la suppression des haies et boisements et très souvent au retournement des prairies. En supprimant ainsi les éléments constitutifs des axes de vol et des terrains de chasse des chiroptères, la réorganisation du parcellaire se traduit par des bouleversements sévères dans le fonctionnement écologique de l'espace des chauves-souris.

Pour ces dernières, l'impact de l'aménagement foncier peut s'avérer nettement plus néfaste que l'impact direct de l'infrastructure.



Conséquence du remembrement et de la fragmentation des haies sur l'activité des Chiroptères du Coglais (35) - Berthe S., Petit E., Anotta P. - Actes des XIII^e rencontres nationales chauves-souris de la SFEPM, Bourges, mars 2012.



Illustration 19 : Points d'écoute dans les milieux non remembrés

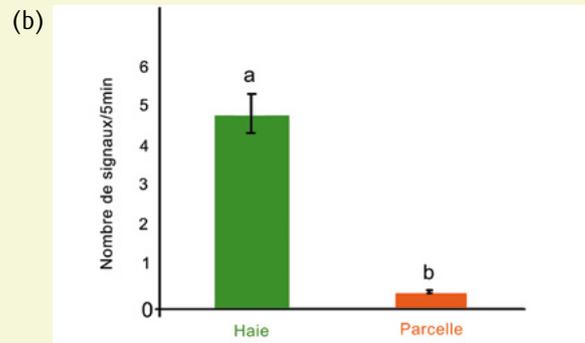
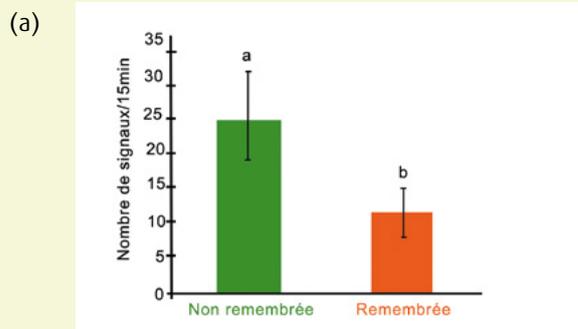


Illustration 20 : Points d'écoute dans les milieux remembrés

L'étude a permis de mettre en évidence que :

- l'activité des Chiroptères est significativement plus faible en zone remembrée.

- l'activité est significativement plus faible lorsqu'on s'éloigne à 20 m de la haie ce qui prouve que les Chiroptères les utilisent pour chasser et se déplacer.



- dans des haies interrompues par des trouées, l'activité baisse significativement lorsque les trouées sont supérieures à 40 m ce qui laisse penser que les trouées de plus de 40 mètres sont assimilées à des milieux ouverts par les chauves-souris.

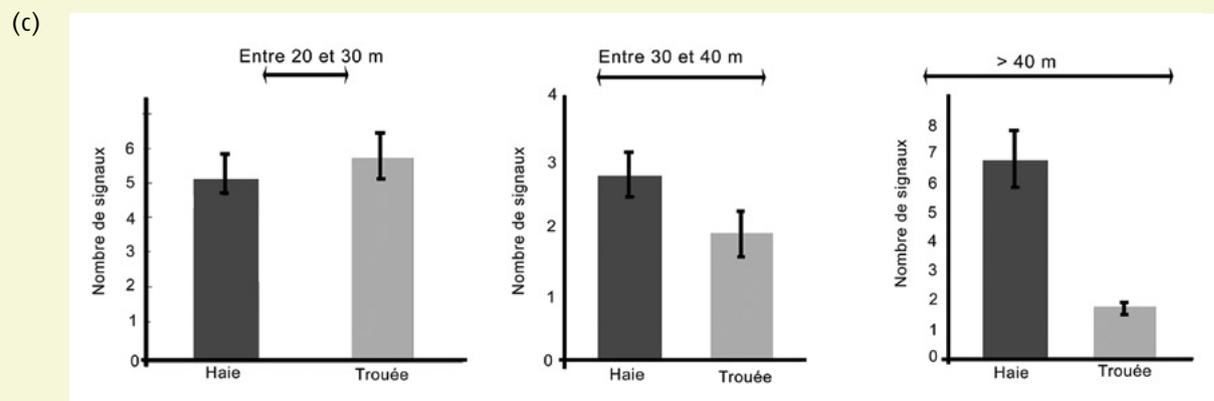


Illustration 21 (a), (b) et (c) : Activité des Chiroptères mesurée dans le cadre de l'étude



Malgré ce constat, la prise en compte de ces impacts induits dans les projets d'infrastructures reste très souvent fragmentaire. Cette situation est en fait liée à l'organisation même des processus d'aménagement foncier et de construction de l'infrastructure qui sont totalement dissociés.

En effet, bien que le maître d'ouvrage de l'infrastructure finance l'opération et que le Préfet conserve un pouvoir de contrôle sur la démarche, c'est la Commission Communale d'Aménagement Foncier (CCAF) pilotée par le Conseil Départemental, maître d'ouvrage de l'opération, qui prend les décisions (mode d'aménagement, périmètre, travaux connexes, etc.). Le maître d'ouvrage de l'infrastructure, qui en outre ne participe pas à la CCAF, n'a ainsi aucune possibilité d'intervention sur les décisions prises au sein de cette commission.

La réalisation du projet d'infrastructure et la procédure d'aménagement foncier peuvent constituer ainsi deux opérations totalement dissociées à la fois en terme de gouvernance mais également d'ordonnancement. Chaque opération dispose ainsi de ses propres études environnementales.

La procédure d'aménagement foncier n'est d'ailleurs engagée qu'une fois le tracé calé et les emprises exactes connues, c'est-à-dire au stade Avant-Projet Détaillé. Au préalable, les effets induits de l'aménagement foncier sur les milieux naturels dans le cadre du projet d'infrastructure ne peuvent donc qu'être estimés. Ainsi, si la coordination entre les opérations n'est pas assurée entre les deux maîtres d'ouvrage, cette organisation peut conduire à des situations contradictoires entre les mesures prises en faveur des milieux naturels dans le cadre du projet d'infrastructure et le projet de réorganisation du parcellaire (Conseil Départemental).

L'article R.122-5 III du code de l'environnement indique toutefois que, pour les infrastructures de transport, l'étude d'impact comprend une analyse des enjeux écologiques et des risques potentiels liés aux aménagements fonciers, agricoles et forestiers.

RD384 - Déviation d'Eclaron - Valcourt (52)

Dans le cadre de l'aménagement de la déviation, des haies permettant de réduire la fragmentation de l'espace en conduisant les Chiroptères vers les ouvrages, ont été mises en place le long de l'infrastructure.

Malheureusement, les travaux engagés en parallèle se sont traduits par la suppression et la modification en profondeur des structures paysagères et des boisements situés de part et d'autres de la nouvelle infrastructure. De tels bouleversements se sont, sans nul doute, accompagnés d'impacts majeurs plus importants sur les déplacements et l'état des populations locales de chiroptères que le seul passage de la route.



Photos 12 et 13 : Déboisement ayant fait suite à la réalisation de la déviation d'Eclaron - Valcourt (Source : Cerema - Est)

2.3 - Impacts sur les zones humides et les milieux aquatiques

La pollution des zones humides dégrade les terrains de chasse des espèces inféodées à ce type de milieu. Souvent, l'activité des chauves-souris est plus importante en amont des rivières, où la qualité de l'eau est meilleure qu'en aval, excepté pour le Murin de Daubenton qui peut chasser en aval et dans les zones eutrophisées car l'abondance en insectes dont il se nourrit est suffisante (Highways Agency, 2006).

Pour le domaine routier, la pollution des zones humides provient du ruissellement sur la chaussée routière (hydrocarbures, métaux lourds et produits chimiques). Cette pollution peut limiter le nombre de proies (Bickmore 2003 et Bickmore et Wyatt, 2006) et risque d'augmenter la toxicité pour les chiroptères qui viennent y chasser ou s'y abreuver.



De la même manière, l'utilisation d'herbicides sur les voies ferroviaires et les pistes est indirectement susceptible de polluer les zones humides proches des voies. Les quantités utilisées sont cependant beaucoup plus faibles qu'auparavant et les analyses menées sur les dernières LGV montrent que l'on n'arrive pas à en quantifier l'impact.

L'impact des pollutions sur les chiroptères reste toutefois très difficile à quantifier et aucune étude n'a, à ce jour, été menée sur ce sujet (Highway Agency, 1999). Il a toutefois été rapporté par Entwistle et al. (2001) que les pesticides absorbés par les insectes contamineraient les chauves-souris, par bioaccumulation dans la chaîne alimentaire. Une contamination indirecte de ce type peut par exemple s'avérer potentiellement importante si les chauves-souris utilisent les bassins de traitement des eaux pour s'abreuver.

La modification des apports hydriques d'une zone humide située en aval d'une infrastructure est susceptible de la dégrader et de diminuer son intérêt pour la chasse (Bickmore, 2003).

2.4 - Impact lié à la modification de l'accessibilité du public au site sensible

La mise en place d'une route ou d'un nouveau chemin d'accès (nouveau cheminement agricole, voie d'accès pour la sécurité, etc.) peut faciliter l'accessibilité au public des gîtes qui auparavant n'étaient pas desservis ou étaient mal desservis et ainsi indirectement perturber leur tranquillité notamment en période d'hibernation.

3 - Quelques effets positifs

3.1 - Création d'habitats secondaires et de routes de vol

Un aménagement routier peut amener la création de nouveaux milieux, parfois favorables aux chauves-souris. Ainsi, le creusement de trouées dans des parcelles forestières destinées à faciliter le déplacement des engins, peut parfois avoir un effet positif si les lisières ainsi créées sont de bonne qualité (augmentation de la disponibilité en insectes) (Ecoconseil et CPEPESC Franche-Comté, 2004), si l'impact de la destruction reste limité (absence de destruction de gîtes) et si le peuplement forestier initial est appauvri en terme de capacité d'accueil pour les espèces.

La végétalisation des bords des routes peut créer de nouveaux terrains de chasse et de nouvelles routes de vol (Highway Agency, 1999 ; Bickmore et Wyatt, 2003 et 2006) à condition que la configuration de la route ne favorise pas les collisions. Cette configuration peut s'avérer parfois favorable notamment dans la traversée des secteurs déjà fortement banalisés comme les zones de grandes cultures. La création de linéaires propices à travers le paysage pourrait ainsi permettre la connexion entre différentes aires d'alimentation et de repos. Cette possibilité est cependant dépendante des caractéristiques des dépendances vertes qui doivent être favorables à l'accueil des chauves-souris sans favoriser le risque de collision.

3.2 - Création de gîtes

La réalisation d'une infrastructure s'accompagne de la construction de nombreux ouvrages d'art dont certains constituent parfois des gîtes très favorables à l'accueil des chauves-souris (Arthur et Lemaire, 1994 et Arthur et al, 1996). La plupart des espèces sont ainsi susceptibles de gîter dans les ouvrages d'art. Certaines espèces sont particulièrement attirées par cette catégorie de gîtes anthropiques comme les Murins de Daubenton (*cf.* chapitre 4 : Mesures environnementales).

Les ponts procurent notamment des conditions favorables à l'accueil des chauves-souris en raison de la protection offerte contre les prédateurs, une situation souvent favorable dans le paysage (au-dessus d'un cours d'eau, dans une vallée), la présence de cavités sombres, peu ventilées et des températures relativement stables tels que les joints de dilatation, les corniches, les espaces entre le tablier et les piles du pont, les tabliers creux, les pavements extérieurs, les drains, les barbacanes, les disjointoiements (Cornut, Girard-Claudon, 2012).



Photo 14 (en haut à gauche) : Noctule commune dans une corniche (Source : Sophie Bareille)

Photo 15 (en bas à gauche) : Murin de Daubenton (Source : Sophie Bareille)

Photo 16 (à droite) : Grand murin dans un drain (Source : Sophie Bareille)



LGV Méditerranée – Exemple de suivi de fréquentation d'un ouvrage dans la Drôme

Durant l'hiver 2009-2010, des membres du groupe Chiroptères Rhône-Alpes ont mené un suivi d'occupation hivernal sur deux ponts de la Ligne à Grande Vitesse. Chaque semaine, de novembre à mars, le nombre de chauves-souris et les espèces présentes, ont été relevés. Le suivi a été prolongé l'été avec des intervalles de visites plus longs.

Au moins quatre espèces ont fréquenté les ouvrages (pipistrelles, noctules, murins). Les périodes d'occupation varient en fonction des espèces, les noctules par exemple ne sont présentes qu'en hiver.

Le pic de fréquentation s'observe en été avec un total de 128 individus en juin. Les effectifs hivernaux sont fluctuants, indiquant que même en période d'hibernation, il y a des mouvements d'individus.

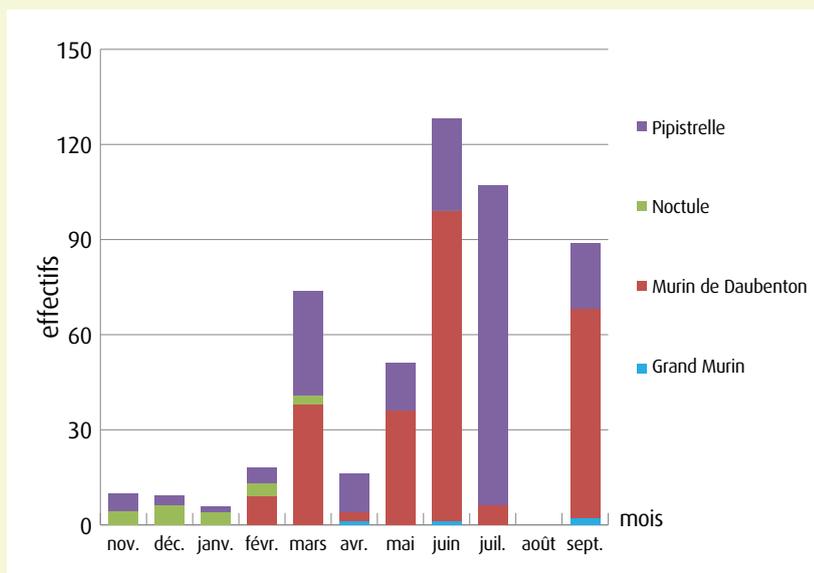
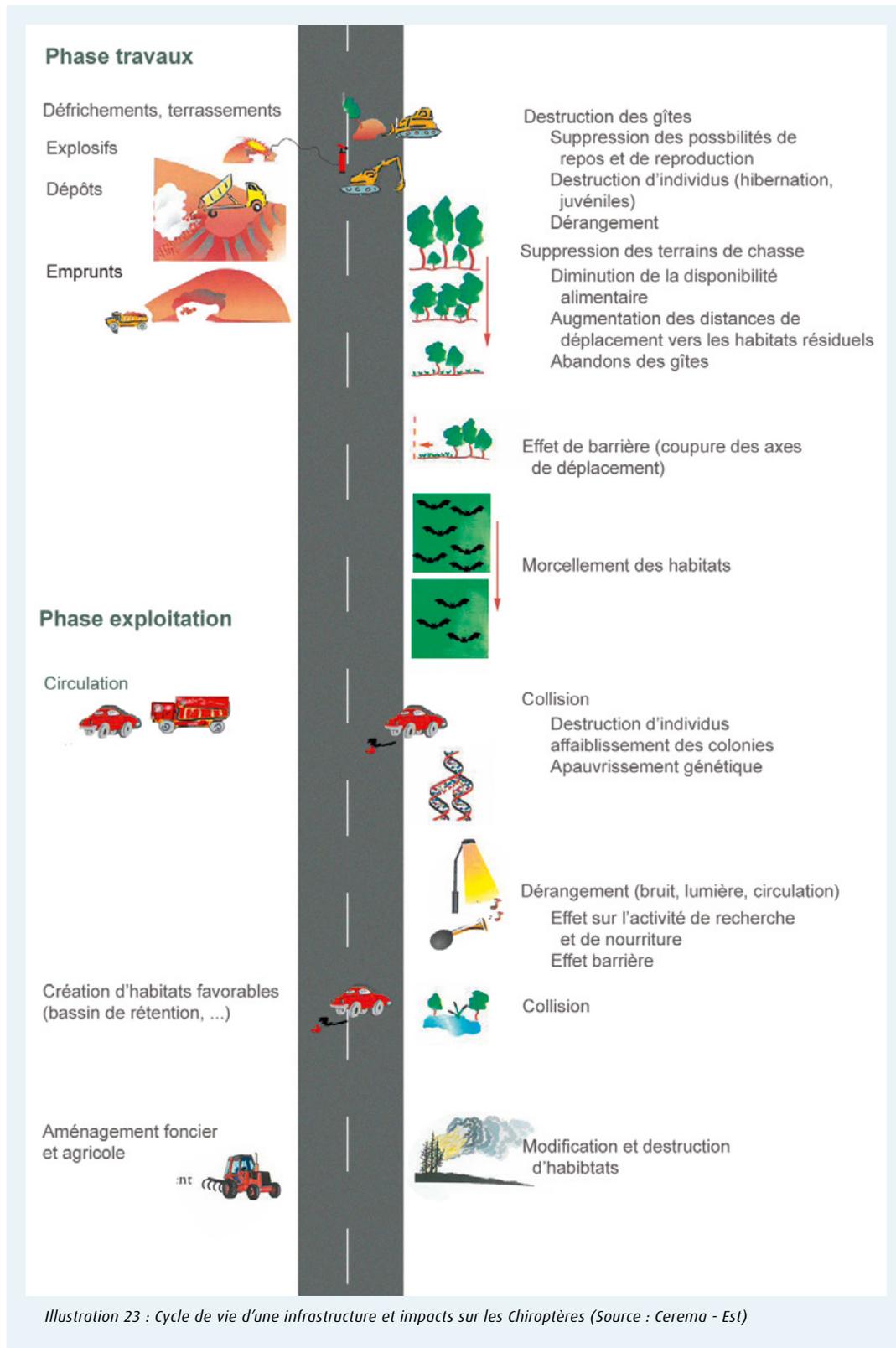


Illustration 22 : Graphique représentant l'occupation des deux ponts par les différentes espèces (Source : Cornut et Girard-Claudon, 2012)



L'illustration 23 ci-dessous synthétise de façon schématique les principaux impacts sur les chiroptères d'une infrastructure tout au long de son cycle de vie.



Chapitre 3

Inventaire des Chauves-souris dans le cadre d'un projet d'infrastructure

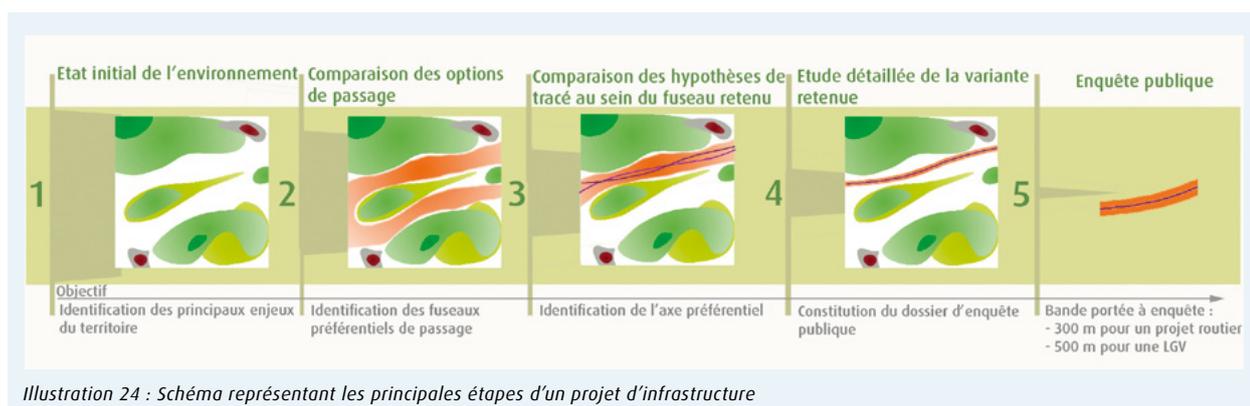


Illustration 24 : Schéma représentant les principales étapes d'un projet d'infrastructure

L'objectif des inventaires est de connaître, avant l'implantation du projet, les populations d'espèces présentes, leur organisation dans l'espace et l'utilisation qu'elles font des milieux, de manière à identifier les enjeux majeurs (gîtes, zones de nourrissage, etc.) pour évaluer les impacts qu'engendrera le passage de l'infrastructure. Ces inventaires doivent être suffisamment fins pour permettre d'apprécier à la fois les impacts directs et indirects résultant de la construction, mais également les effets induits non directement liés au projet, tout en distinguant les effets permanents des effets temporaires du chantier.

Un état initial suffisamment fin permet bien souvent de s'adapter aux évolutions du projet et de la réglementation et permet aussi, dans de nombreux cas, d'éviter de mener des inventaires complémentaires sur une nouvelle saison. Il est notamment préférable de veiller le plus en amont possible à la préparation de certaines procédures qui n'aboutiront parfois qu'au stade ultérieur. C'est en particulier le cas pour les dossiers de dérogation « espèces protégées » (ou les dossiers d'incidences Natura 2000, déjà pris en compte dans l'étude d'impact).

L'inventaire des chiroptères au sein d'une zone d'étude est cependant rendu difficile par l'activité nocturne de ces animaux qui émettent des sons inaudibles pour l'homme et qui peuvent se déplacer sur de longues distances à grande vitesse (jusqu'à 60 km/h) (Vincent, 2007). Ils ont également la particularité d'utiliser de manière différente le territoire en fonction des saisons et des espèces.

À l'inverse de nombreux autres groupes faunistiques, cette complexité d'inventaire rend donc peu réaliste la recherche tous azimuts des espèces et des milieux fréquentés par les chiroptères au sein d'une vaste aire d'étude. Les inventaires chiroptérologiques doivent donc être progressifs, évolutifs et ciblés au cours des différentes phases d'études.

Lors du lancement des études préalables, ces difficultés doivent bien être intégrées, notamment dans le cadre de la rédaction des cahiers des charges qui doivent être adaptés, clairs et précis.



Autoroute A304 – Charleville-Mézières – Frontière Belge

Dans le cadre de l'étude d'APS du projet d'autoroute A304, les études de niveau APS ont été conduites sur un fuseau restreint autour du parti d'aménagement retenu. Suite au passage en Conseil National de la Protection de la Nature (CNPN), l'État a demandé entre autres, au maître d'ouvrage de veiller à limiter les effets induits des projets d'aménagements connexes sur les espèces et en particulier sur les Chiroptères et notamment les effets des opérations de réaménagement foncier. Cette demande s'est traduite pour le maître d'ouvrage par la réalisation de nouvelles investigations au sein des périmètres potentiels de remembrement et par un décalage d'une année avant le nouveau passage en CNPN.

Au-delà du simple recensement des espèces, les études préalables à un projet doivent en priorité chercher à identifier les habitats et évaluer convenablement les connexions fonctionnelles existantes entre toutes les structures du territoire utilisées par les espèces. Il convient ainsi de déterminer les grandes composantes du fonctionnement écologique des populations, à savoir :

- les gîtes (de mise bas et d'hibernation en particulier) ;
- les terrains de chasse et les routes de vol.

Les méthodes employées pour atteindre ces objectifs sont dépendantes de la situation locale, de l'importance du projet, du niveau d'étude, des espèces potentiellement présentes et de la présence ou non d'enjeux particuliers (ex : site Natura 2000).

La méthodologie proposée ci-après ne constitue donc pas un cadre strict mais elle a pour objectif de fournir au maître d'ouvrage une démarche de référence l'assurant d'une qualité d'expertise.

1 - Définition de l'aire d'étude

L'aire d'étude doit être définie en fonction de l'importance et des spécificités de chaque projet et des populations de Chiroptères concernées. L'état initial doit être réalisé sur la zone et les milieux susceptibles d'être affectés par le projet.

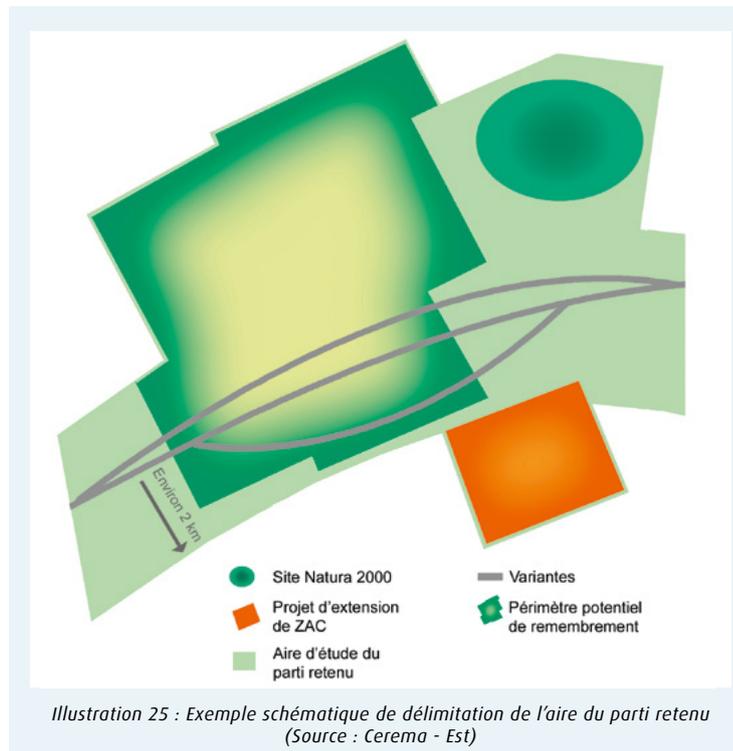
Elle correspond dans l'absolu à l'étendue géographique utilisée par les chiroptères, potentiellement directement (destruction d'habitats, de gîtes, etc.) ou indirectement (remembrements, perturbation du régime aquatique, etc.) soumise aux effets du projet.

La définition de l'aire d'étude est cependant rendue complexe par l'examen des nombreuses variantes et par l'importance des capacités de déplacement des chiroptères. Il est ainsi conseillé de distinguer deux échelles de travail :

- **l'aire d'étude préalable** correspondant à une zone suffisamment large qui permet de disposer d'une connaissance globale des enjeux du secteur et de prendre en compte les espèces les plus enclines aux grands déplacements (Murins). Cette zone peut s'étendre très largement (10 à 20 km). Elle correspond à l'aire retenue pour effectuer le pré-diagnostic ;
- **l'aire d'étude du parti retenu sur laquelle s'effectue le diagnostic (inventaires)** correspondant à un fuseau d'une largeur de l'ordre de 2 km (à ajuster en fonction des caractéristiques des milieux traversés et des espèces potentiellement présentes) de part et d'autre du projet. Excepté pour quelques espèces (dont les minioptères), cette distance correspond à l'aire d'influence sur les jeunes de la majorité des espèces (Barataud et al., 2005). Cette aire permet d'intégrer la zone d'implantation potentielle de l'infrastructure (large de l'ordre du kilomètre au stade AVP) où pourront être envisagées les variantes.

Cette dernière zone d'étude minimale doit toutefois être **étendue à tous les secteurs susceptibles d'être concernés par les éventuels impacts étendus du projet et notamment tous les impacts indirects, induits** (aménagement foncier ou urbanisation par exemple) et éventuellement cumulés avec d'autres projets connus. Les limites s'appuient alors sur les éléments physiques du territoire facilement identifiables (parcellaire agricole, occupation du sol, topographie, hydrographie, etc.) ou sur les frontières biogéographiques (types de milieux, territoires de chasse, etc.).

Enfin, l'aire d'étude du parti retenu doit également tenir compte des sites présentant un statut particulier (Zone Natura 2000, ZNIEFF, etc.) et des corridors déjà identifiés.



2 - Démarches d'inventaire

Les démarches d'inventaire doivent en priorité répondre aux objectifs de prise en compte et de conservation des espèces. Il est rappelé que les protocoles proposés ici pour y répondre n'ont pas vocation à être utilisés systématiquement pour tous les types de projets, mais en l'état actuel des connaissances, ils permettent de guider les maîtres d'ouvrage dans leurs démarches en conformité avec le code de l'environnement.

Phase	Objectifs	Aire d'études	Méthodologie	Finalité
1 Pré-diagnostic	Évaluation des potentialités et de l'intérêt chiroptérologiques au sein d'une vaste aire d'étude	Aire d'étude préalable	<ul style="list-style-type: none"> Recherche bibliographique Analyse cartographique 	<ul style="list-style-type: none"> Éviter les principaux enjeux connus (habitats, espèces en présence...) Évaluer le niveau des études complémentaires à effectuer
2 Diagnostic	Recensement des espèces et identification des gîtes, des axes de déplacement, des terrains de chasse	Aire d'étude du parti retenu	Analyse cartographique Inventaire de terrain (écoutes ultrasonores)	Quantifier et qualifier l'activité chiroptérologique du territoire
3 Analyse des enjeux	Mise en évidence des enjeux chiroptérologiques de la zone d'étude	Aire d'étude du parti retenu	Analyse des données issues de la phase 1 et 2	<ul style="list-style-type: none"> Choisir la variante la moins pénalisante (Éviter) Évaluer les impacts de la variante retenue Définir les mesures (Réduire, Compenser)

Tableau 6 : Principales étapes nécessaires à la définition des enjeux chiroptérologiques

2.1 - Le pré-diagnostic

C'est une étape essentielle de la démarche quel que soit le type de projet et le niveau d'étude (étude d'opportunité, avant-projet, etc.).



Le pré-diagnostic s'effectue généralement à une échelle assez vaste, correspondant à l'**aire d'étude préalable**. Il comporte :

- une phase de recherche bibliographique au cours de laquelle sont recueillies les données concernant les périmètres d'alerte (ZNIEFF, NATURA 2000, SRCE, etc.) et les données chiroptérologiques locales historiques et actuelles et en particulier la localisation des gîtes connus. Une enquête devra être menée auprès des services de l'État, des collectivités, des parcs naturels, des forestiers, des associations, des chiroptérologues locaux ou encore des groupes de spéléologie. Des données sur l'emplacement des gîtes peuvent également être recueillies sur des cartes anciennes conservées dans les services des archives ;

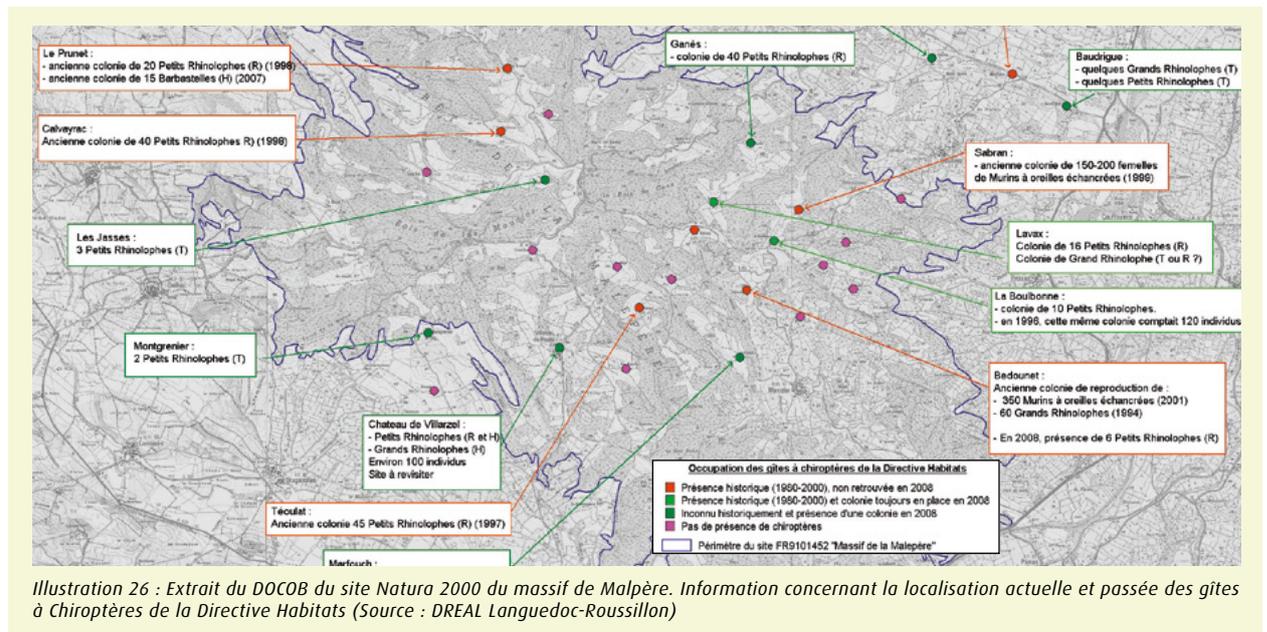


Illustration 26 : Extrait du DOCOB du site Natura 2000 du massif de Malpère. Information concernant la localisation actuelle et passée des gîtes à Chiroptères de la Directive Habitats (Source : DREAL Languedoc-Roussillon)

- une analyse préliminaire de la potentialité chiroptérologique de la zone concernée. Il s'agit d'effectuer une analyse globale du territoire et de ses caractéristiques géomorphologiques en cherchant notamment à identifier les habitats favorables aux chiroptères (zones humides, vallées, forêts, etc.). En complément des informations existantes, cette première analyse permet d'obtenir une première évaluation des capacités d'accueil du territoire pour le peuplement régional et local.

C'est à partir de cette première analyse et notamment en fonction de la quantité de données disponibles sur la zone, du type de projet et de l'importance des enjeux connus, qu'il est possible d'évaluer la sensibilité du secteur et définir précisément le niveau des études de terrain à effectuer ultérieurement. Lors de l'étude d'opportunité, le pré-diagnostic est généralement suffisant. Dans ce cas, il doit permettre d'éviter les milieux les plus sensibles et d'aider à définir les grands partis d'aménagement les moins impactants pour les chauves-souris. Il faut toutefois souligner que l'absence de donnée chiroptérologique ne signifie pas forcément qu'il n'existe pas d'enjeu sur la zone considérée.

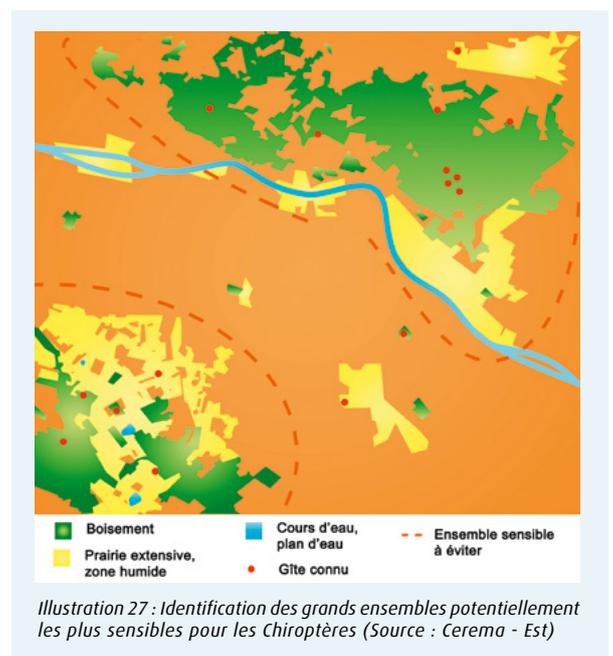


Illustration 27 : Identification des grands ensembles potentiellement les plus sensibles pour les Chiroptères (Source : Cerema - Est)



2.2 - Le diagnostic

Le diagnostic intervient généralement au cours des phases préalables à la réalisation du dossier d'enquête publique préalable à l'autorisation de projet, notamment dans le cadre des dossiers d'étude d'avant-projet puis de projet. Il peut également servir lorsqu'il est correctement mené, au montage des dossiers de dérogation d'espèces protégées et aux dossiers d'évaluation d'incidence Natura 2000. Il correspond à l'évaluation précise des enjeux et des sensibilités chiroptérologiques du site. Sur la base d'inventaires de terrain, il vise à caractériser, au sein de l'**aire d'étude du parti retenu**, le cortège de l'ensemble des espèces fréquentant la zone d'étude.

Outre l'identification des espèces, l'organisation de ces inventaires a pour objectif de caractériser les trois grandes composantes du fonctionnement écologique des Chiroptères :

- les gîtes ;
- les routes de vol ;
- les habitats de chasse.

C'est l'identification de ces différents éléments et les interrelations existantes entre ceux-ci qui permettront d'appréhender l'activité des chiroptères au sein de la zone et d'évaluer les enjeux.

L'utilisation de ces composantes étant variable au cours de l'année, l'étude doit être réalisée à différentes saisons et sur un cycle biologique complet, c'est-à-dire une année entière, voire plus, afin d'intégrer les variations interannuelles des populations.

2.2.1 - Inventaire des gîtes

Catégorie de gîte	Objectifs
Gîtes non arboricoles (ponts, grottes, mines, etc.)	Localiser les gîtes accueillant des chauves-souris
	Identifier et évaluer les effectifs des espèces présentes à chaque période de l'année
	Définir le rôle des gîtes et leur sensibilité vis-à-vis du projet
Gîtes arboricoles	Évaluer les potentialités des milieux forestiers
	Recenser les espèces fréquentant les boisements et évaluer l'intérêt des milieux forestiers pour l'accueil des chauves-souris

Tableau 7 : Principaux objectifs de l'inventaire des gîtes à Chiroptères

La recherche des gîtes vise en premier lieu à identifier les enjeux forts pour les chiroptères et à évaluer l'impact direct sur les espèces, de la suppression ou de la dégradation du site par le passage de l'infrastructure sur ou à proximité des milieux fréquentés.

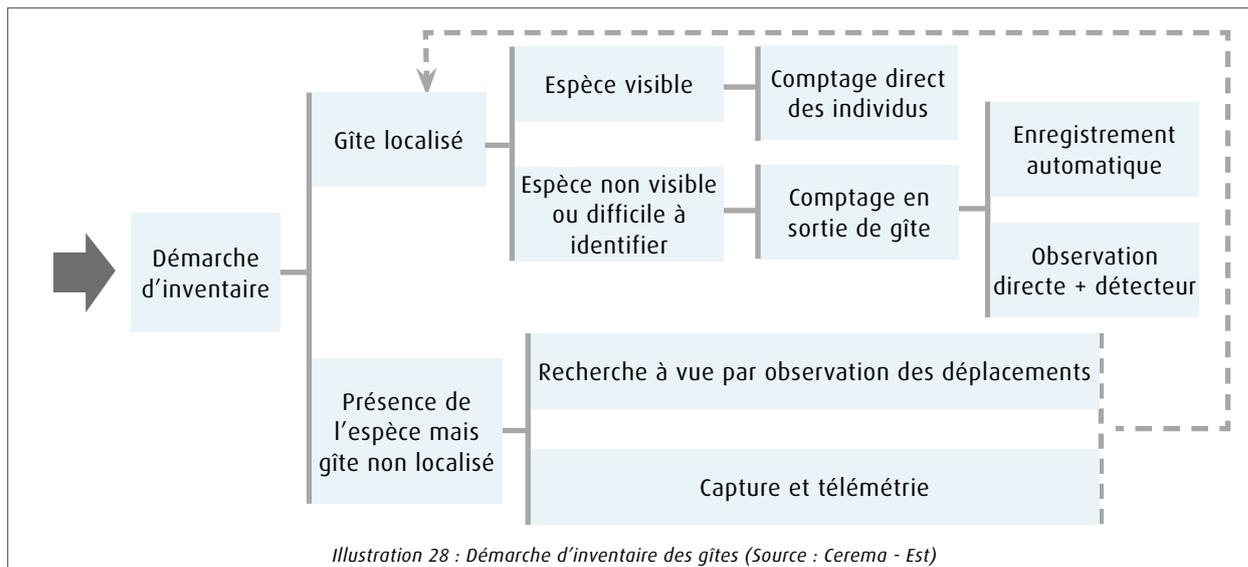
Associée à une analyse des déplacements, la localisation des gîtes permet également d'identifier et de définir le rôle des connexions fonctionnelles susceptibles d'être touchées par le projet. En effet, la sensibilité d'une route de vol dépend entre autres, de sa position par rapport aux gîtes et des espèces qui l'utilisent.

Les gîtes de toutes les espèces sont à prendre en considération. Les plus importants sont parfois connus et identifiés dès la phase de pré-diagnostic, mais les données concernant les petits ouvrages et/ou les gîtes en milieu forestier sont souvent plus fragmentaires. Des recherches complémentaires peuvent donc s'avérer indispensables.

La définition du rôle de chacun des gîtes reste cependant assez difficile car ces derniers peuvent être interconnectés au cours de l'année, voire au cours de la saison. Les gîtes sont ainsi souvent occupés par plusieurs espèces avec des fonctions différentes pour chacune d'entre elles selon les périodes considérées. Un gîte peut par exemple être utilisé comme site de transit de courte durée pour une espèce et par une autre, sur une plus longue période, pour la mise bas et l'élevage des jeunes. Parfois, les gîtes peuvent même être désertés à certaines saisons. Pourtant, même si la fréquentation est de courte durée, le gîte n'en reste pas moins un élément potentiellement indispensable au maintien de l'espèce et à l'accomplissement de son cycle biologique.

Au final, l'objectif est de localiser les gîtes, de définir leurs fonctions (mise bas, estivage, hivernage, transit, rassemblements automnaux pour la reproduction), d'identifier les espèces présentes et d'apporter des informations sur le niveau des populations. Le niveau de l'impact pourra alors être évalué au regard du statut des espèces, des effectifs et de la sensibilité de l'espèce à la perturbation. L'impact sera ainsi d'autant plus élevé que l'espèce est patrimoniale, que son effectif sur le territoire d'étude est élevé (responsabilité du territoire pour la conservation de l'espèce à une échelle plus grande) et que cette espèce est sensible.

• Démarche méthodologique



La recherche des gîtes consiste essentiellement à prospecter et visiter un maximum de milieux potentiellement favorables à l'accueil des chiroptères, par l'observation directe des animaux ou la recherche d'indices de présence (restes de proies, guano, cadavres, marquages d'urine, odeurs). L'évaluation des populations présentes s'effectue, dans la plupart des cas, par comptage direct des animaux.

De façon à distinguer les différentes catégories de gîtes, les recherches devront être effectuées :

- de novembre à février⁽²⁾ pour la recherche des gîtes d'hivernage. Ces derniers correspondent le plus souvent aux cavités souterraines (grottes, mines, cave, etc.) ;
- de mai à août⁽²⁾ pour les gîtes d'estivage. Ces gîtes sont généralement épigés (bâtiments, arbres, etc.) ou hypogés pour certaines espèces, notamment dans la moitié Sud de la France ;
- durant les périodes de transit (printemps, automne), d'autres sites peuvent également être utilisés et participent à l'accomplissement du cycle biologique des espèces. C'est en particulier le cas pour les gîtes faisant l'objet de regroupements automnaux pour la reproduction. Bien que les connaissances soient encore partielles sur le fonctionnement de ces derniers, il semble qu'ils jouent un rôle très important dans la reproduction et la dynamique des populations de chauves-souris. Dans l'éventualité où de tels regroupements sont observés ou connus au sein de la zone d'étude, il convient d'étudier plus précisément ces sites.

Les espèces de chauves-souris ne sont cependant pas toutes faciles à repérer. C'est le cas par exemple lorsque les espèces sont installées dans des fissures ou des anfractuosités étroites et difficilement accessibles (ex : Murin de Natterer, Murin de Bechstein, etc.). D'autres espèces sont simplement compliquées à identifier à vue comme par exemple l'Oreillard roux et l'Oreillard gris ou les pipistrelles. Enfin, dans certains cas, ce sont les milieux qui sont difficilement accessibles (ex : milieu souterrain, arbre, falaise).

Lorsqu'une simple recherche à vue n'est pas efficace (accès difficile, bâtiment, etc.), d'autres techniques complémentaires d'inventaire doivent être utilisées. Des comptages en sortie de gîte peuvent alors être envisagés soit en utilisant des systèmes d'enregistrement automatique, soit par observation directe en se positionnant à la sortie du gîte avec un détecteur d'ultrasons.

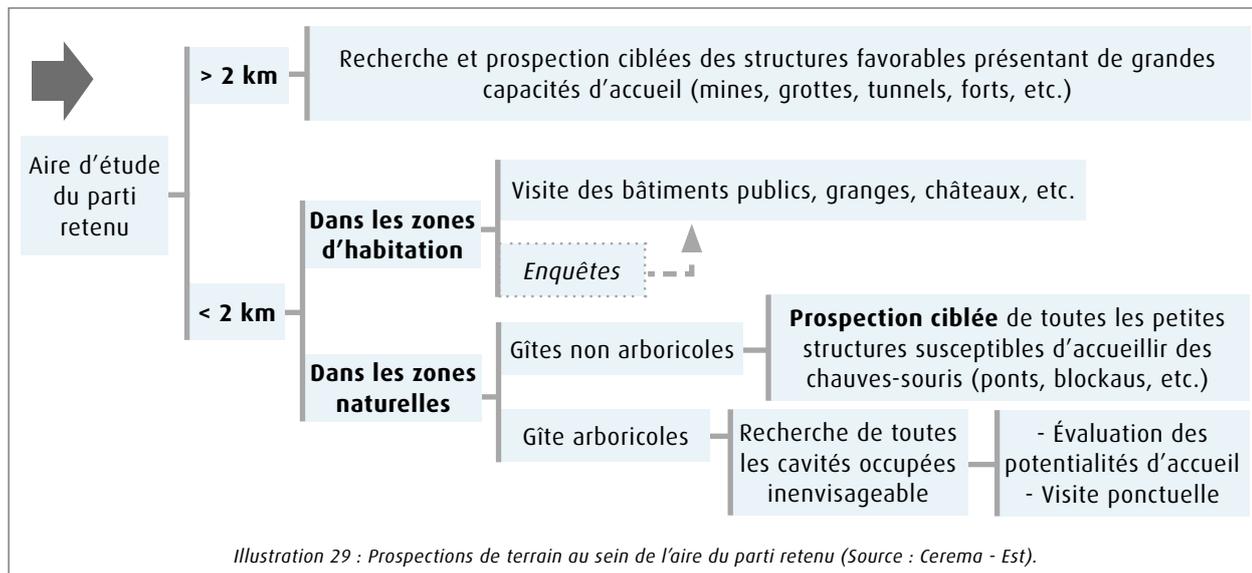
Parfois la présence de chauves-souris peut également être constatée sur un territoire sans que les gîtes soient identifiés. Des techniques peuvent alors être utilisées pour localiser les cavités :

- soit à vue : le principe est de poster des observateurs sur les zones de passage potentiel (corridors, linéaires, etc.) jusqu'à retrouver le site de départ. Bien qu'elle soit potentiellement efficace, cette méthode est relativement lourde en moyens humains et en temps ;
- soit par télémétrie : après capture en plein vol et pose d'émetteurs, les individus sont suivis par radiopistage jusqu'à leur gîte. Très efficace, cette technique n'est cependant pas à la portée de tous et nécessite une autorisation indispensable pour la manipulation de l'animal et son équipement (cf. annexe 6).

(2) Les périodes sont indiquées à titre indicatif, elles peuvent légèrement varier en fonction des années, des espèces et de la région géographique.



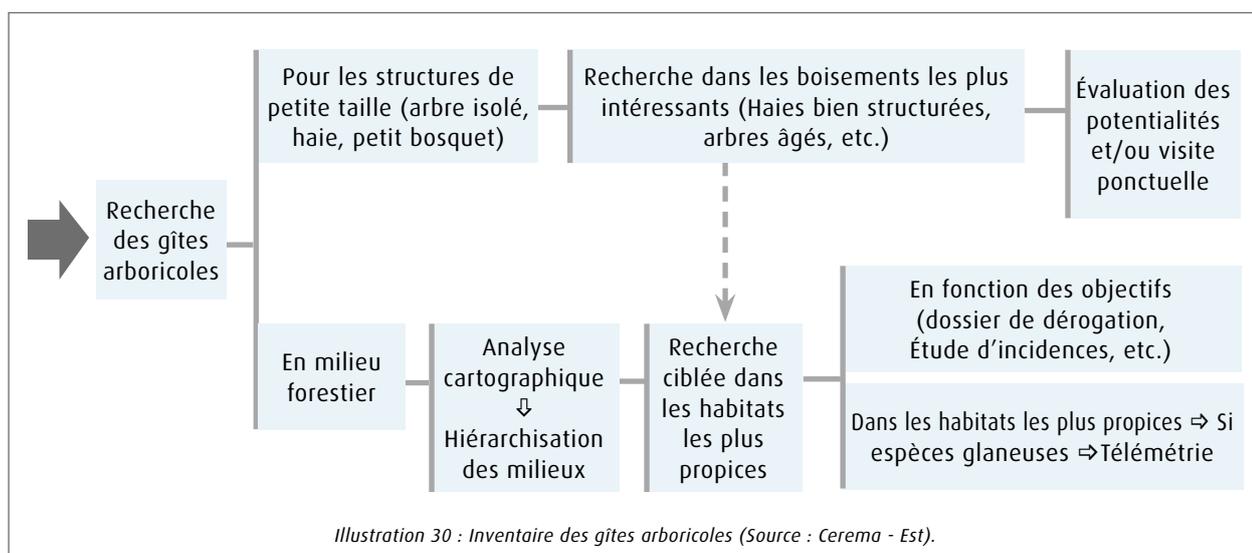
Le nombre de gîtes étant potentiellement très élevé au sein d'une zone d'étude, la démarche se doit d'être progressive en fonction de la distance par rapport au projet et des caractéristiques de l'opération.



Si au-delà de deux kilomètres (cf. définition de l'aire du parti retenu), les recherches spécifiques de nouveaux gîtes peuvent se limiter aux structures favorables présentant une très grande capacité d'accueil et où la présence de chiroptères n'est pas encore connue (ensembles fortifiés, mines, grottes, tunnels, etc.), à moins de deux kilomètres, toutes les structures susceptibles d'accueillir les chauves-souris méritent d'être vérifiées. Les vieilles fermes isolées, les ouvrages militaires, les ponts (fissures, drains, disjointoiements, etc.) seront inspectés. Dans l'éventualité où le tracé est défini, une attention particulière doit être portée sur les milieux susceptibles d'être détruits.

Lorsque le périmètre de recherche englobe une zone urbaine, la priorité est généralement donnée aux habitats les plus intéressants et les plus accessibles, comme les bâtiments publics, les églises, les granges et les châteaux. Des enquêtes auprès des habitants peuvent également renseigner sur la présence de gîtes à chauves-souris (Bickmore et Wyatt, 2003).

• Cas particulier des gîtes arboricoles





Jusqu'à présent, l'étude du cortège chiroptérologique et notamment la recherche de gîtes au cours des phases amont des projets d'infrastructures se concentraient essentiellement sur la recherche des espèces dans les milieux Anthropophiles (pont, bâtiments) ou les grandes cavités naturelles (grottes). Ce constat semble être lié à la connaissance encore partielle de l'écologie des espèces arboricoles et aux difficultés d'inventaire des chauves-souris dans les milieux forestiers. La destruction des boisements (de petite ou de grande taille) doit pourtant être considérée avec la plus grande attention lors de l'élaboration d'un projet car ces milieux peuvent constituer des sites de tout premier ordre pour les chauves-souris. Des recherches spécifiques doivent donc être également menées au sein des structures boisées et en particulier dans les boisements âgés (forêts, haies, petits bosquets, ripisylves, etc.).

Si des visites ponctuelles peuvent être effectuées en milieu ouvert dans les structures de petites tailles (arbre isolé, haies, etc.) où les cavités sont peu nombreuses, la recherche systématique ou par échantillonnage de l'occupation des cavités arboricoles en milieu forestier n'est par contre pas envisageable car les cavités propices peuvent y être très nombreuses. Une telle recherche est par ailleurs compliquée car les chauves-souris choisissent généralement les cavités les plus hautes (Tillon, 2012).

Dans un premier temps, il est donc conseillé d'effectuer une analyse des potentialités d'accueil des boisements à partir des caractéristiques des peuplements forestiers. Il s'agit plus particulièrement de localiser les biotopes favorables à partir de l'analyse des données cartographiques des habitats forestiers (photos aériennes, BD topo et BD végétation de l'IGN, etc.) puis de vérifier cette analyse sur le terrain. La plupart des espèces contactées en milieu forestier sont susceptibles de loger dans les arbres.

Plusieurs informations sont à recueillir :

- le type d'habitat (boisement de feuillus, mixte, de résineux) ;
- les essences présentes (chênes, saules, etc.) ;
- l'âge des peuplements (jeune, âgé) et les diamètres minimal et maximal des arbres pour chacun d'eux ;
- la superficie ;
- la structure (homogène, arbres isolés) ;
- le mode de traitement (taillis sous futaie, futaie régulière, etc.) ;
- et l'environnement général (présence d'un point d'eau à proximité ou d'une clairière, d'arbres morts et de bois mort au sol).

Même si chaque espèce de chiroptères possède ses propres exigences en matière de choix de gîtes, plusieurs critères communs semblent favorables aux chauves-souris forestières (Brigham, 2007 ; Tillon, 2008 ; Pénicaud, 2006), à savoir la présence :

- d'un réseau d'arbres à cavités, de vieux arbres et de bois morts ;
- de boisements de feuillus autochtones plutôt âgés avec des sous étages ;
- de zones humides et de cours d'eau.



Illustration 31 : Cavités privilégiées par les Chiroptères (Source : Pénicaud, 2000)

En milieu forestier, les chauves-souris occupent préférentiellement :

- les fissures causées par les intempéries (*Myotis nattereri*, *Plecotus* sp., *Barbastella barbastellus*, *Pipistrellus* sp. et les *Myotis* de petite taille (Tillon 2008) ;
- les anciens trous de pics (*Myotis bechsteinii*, *Nyctalus* sp, *Eptesicus serotinus*, *Plecotus auritus* et les autres *Myotis*) (Larrieu, 2005 ; Tillon 2008).

La majorité des gîtes se trouvent surtout dans des arbres sains, plus rarement dans les arbres dépérissants ou morts pour lesquels certaines espèces se spécialisent sur les écorces décollées.

Un Murin de Bechstein a été découvert dans un tilleul de 8 cm de diamètre (Comm. pers CPEPESC Lorraine – 2013).



En fonction de ces critères et de l'analyse des peuplements forestiers, l'intérêt de chaque parcelle pour l'accueil des chiroptères peut ainsi être évalué et hiérarchisé.

Une fois les peuplements les plus propices repérés, une écoute au détecteur (sur 3 campagnes) permet dans un second temps, de vérifier l'intérêt des peuplements (cf. chapitre techniques d'inventaires). Il est préconisé d'effectuer environ 1 point d'écoute par kilomètre dans les habitats jugés peu propices et jusqu'à 3 par kilomètre dans les milieux les plus propices (vieille chênaie). Ces chiffres sont à ajuster selon les potentialités d'accueil du milieu.

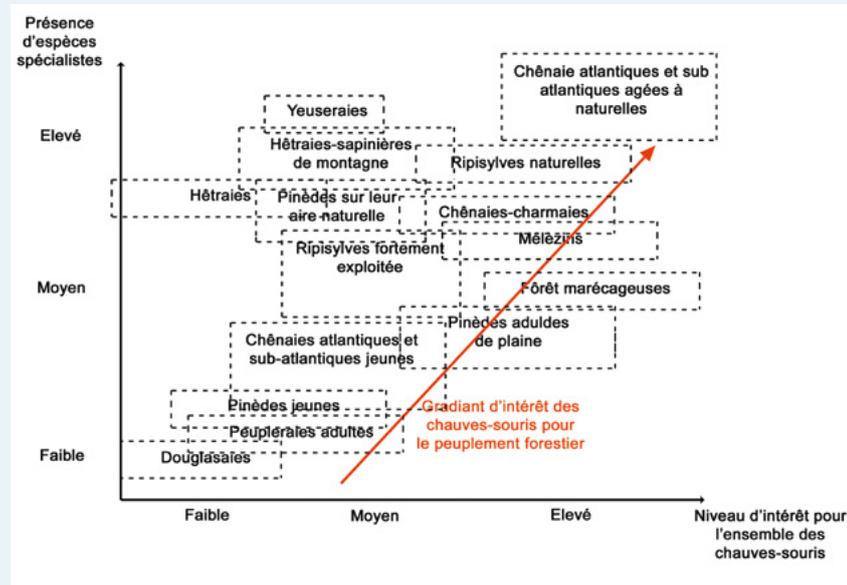


Illustration 32 : Intérêt des types de peuplements pour les Chiroptères (Source : L. Tillon)

Pour réaliser un inventaire quasi complet sur 3 campagnes, l'idéal voudrait que chaque point d'écoute dure 1 h, ce qui s'avère difficilement envisageable sur de vastes projets. Les points d'écoute doivent cependant durer au minimum 20 minutes, le meilleur compromis étant 30 minutes (permet d'accéder à 70 % du cortège des espèces). En dessous, ce n'est qu'un sondage qui ne permet pas de réaliser un inventaire pour chaque secteur ou canton forestier (Tillon, 2015).

Dans les habitats favorables, il est conseillé de préférer des enregistrements automatiques en hauteur par exemple avec un micro déporté sur une à deux journées favorables, plutôt que des écoutes au détecteur au sol.

L'activité des Chiroptères est en effet beaucoup plus importante dans le feuillage car les insectes y sont plus nombreux (Tillon, 2008). Dans les peuplements structurés, l'activité est particulièrement élevée au niveau de la ligne de contact entre le feuillage des arbres les plus âgés et celui des plus jeunes.



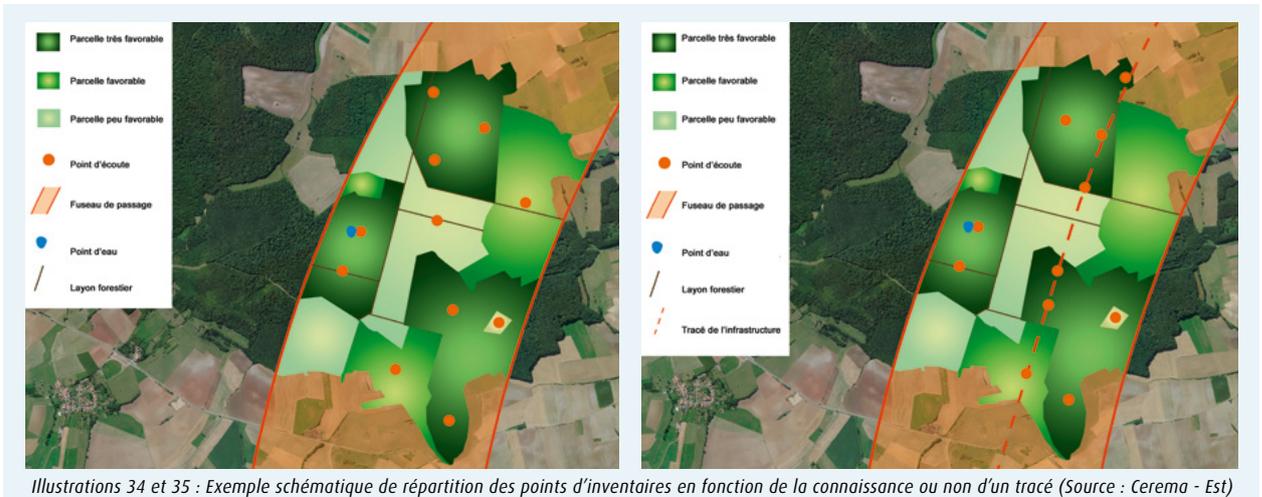
Illustration 33 : Zone de chasse préférentielle des Chiroptères en milieu forestier (Source : Cerema - Est)

La position de chaque point pourra tenir compte des caractéristiques intrinsèques de chaque parcelle (présence de layons forestiers, routes forestières, lisières, clairières, cours d'eau, point d'eau).

Si le tracé est connu, les points seront localisés en priorité au droit des points de conflit entre le projet et les milieux susceptibles d'être impactés. Des points d'écoute supplémentaires devront aussi être effectués dans les parcelles plus éloignées du projet (tout en restant dans le fuseau de 2 km) lorsque celles-ci sont particulièrement favorables.



Si le tracé n'est pas connu, on ciblera en priorité les habitats les plus propices.



Inventaire des Chiroptères en forêt de Saint-Palais (18) – Enjeux de conservation - Tillon, Gautrot & Darnis, 2013

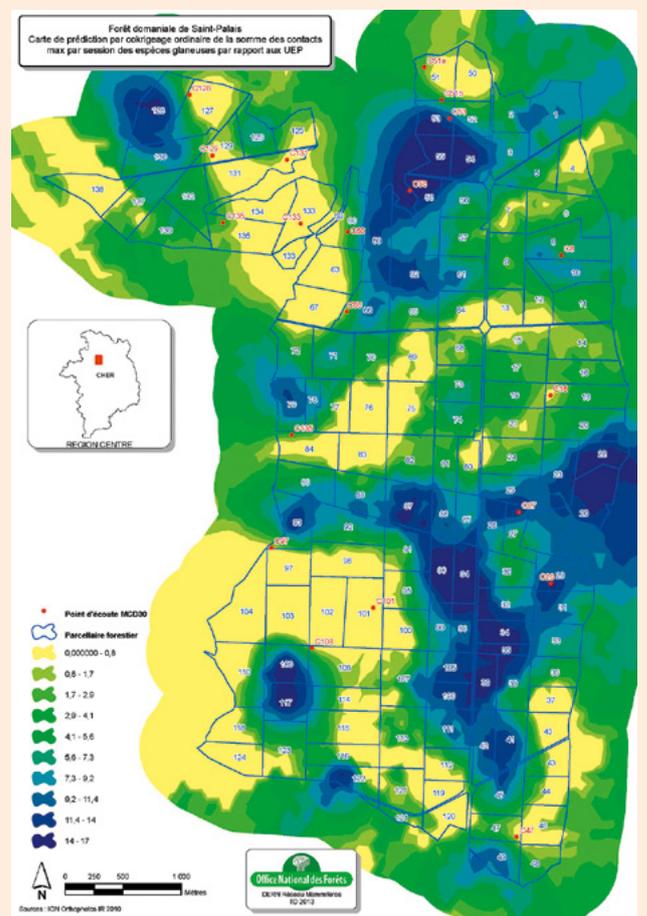
Carte de cokrigage représentant les prédictions du nombre maximal de contacts pour les espèces glaneuses (Myotis & Plecotus) réalisée en forêt domaniale de Saint-Palais (18).

Différents points d'écoute ont été disposés sur l'ensemble de la forêt, en les stratifiant par zone géographique (par canton forestier) puis par grand type de peuplement, et répétés 3 fois.

À partir de ces données pour les Murins et les Oreillards, des niveaux d'activité moyens ont été attribués à chaque catégorie de peuplements, puis une carte a été produite par canton forestier permettant de reconstituer la carte prédictive d'activité à l'aide d'ArcGIS pour ces espèces, en tenant compte des valeurs moyennes d'activité par catégorie de peuplement, puis des peuplements présents localement, et enfin au regard de l'activité réellement observée localement.

Apparaissent alors en bleu foncé les secteurs principaux d'activité (probablement pour le gîte et pour la chasse) et en bleu clair les corridors entre les secteurs principaux.

Illustration 36 : Carte de prédiction par cokrigage ordinaire de la somme des contacts max par session des espèces glaneuses



Inventaires forestiers complémentaires

À partir des résultats d'inventaire obtenus et en fonction des objectifs recherchés (montage de dossier de dérogation, études d'incidence Natura 2000), si la présence d'espèces glaneuses (Murins, Rhinolophidés) est constatée, des recherches complémentaires par télémétrie pourront être engagées pour disposer d'éléments sur la distribution ainsi que sur l'organisation des gîtes et en profiter pour connaître le statut reproducteur des animaux. Le choix de réaliser des inventaires complémentaires n'est nécessaire qu'à partir du moment où des espèces glaneuses ont été contactées. Il se justifie par la sensibilité de ces espèces à la fragmentation des habitats. Cette sensibilité est notamment liée, pour certaines d'entre elles, à leur faible capacité de dispersion et leur mode de vie en colonie éclatée (méta colonie) au sein d'un réseau de gîtes (Tillon, 2012).



Ces opérations sont cependant relativement compliquées et nécessitent des compétences particulières ainsi qu'une autorisation préalable de capture. Elles sont donc généralement réservées à des situations particulières (colonie importante, dossier de dérogation, étude d'incidence Natura 2000).

Ces inventaires complémentaires ont cependant pour avantage de disposer :

- de la localisation précise des zones de gîtes et ainsi de pouvoir retenir la variante de tracé la moins défavorable aux populations d'espèces sensibles présentes. Au-delà de la protection des espèces, l'évitement des impacts sur les noyaux de population par un choix judicieux de variante ou par des ajustements mineurs, permet au maître d'ouvrage de s'affranchir de mesures compensatoires parfois difficiles à mettre en œuvre ;
- d'informations suffisamment précises (statut reproducteur, importance des populations, etc.) pour rédiger dans de bonnes conditions, les dossiers d'incidences Natura 2000 et/ou de dérogation d'espèces protégées. Ces informations permettront notamment de justifier de la compatibilité du projet avec le maintien de la population dans un état de conservation satisfaisant ou de justifier de mesures compensatoires adaptées aux impacts résiduels avérés et non potentiels. En effet, lorsque la connaissance est restreinte, les mesures compensatoires sont généralement calculées sur la base de l'habitat forestier détruit, sans tenir compte des habitats réellement occupés.

Les études de télémétrie nécessitent d'équiper 8 à 10 individus d'une même colonie (de l'espèce forestière la plus représentative) au mois d'août, puis de rechercher les gîtes (de jour) pendant une dizaine de journées. Cette technique est bien plus rapide et fiable que la recherche des gîtes à vue en grim pant et en vérifiant les cavités dans les arbres (un technicien bien expérimenté peut vérifier au maximum 10 arbres dans la journée c'est-à-dire extrêmement peu à l'échelle d'un massif, pour une détectabilité d'occupation inférieure à 10 % (Tillon, 2008). La méthodologie proposée nécessite quant à elle environ 2 à 3 jours de capture pour équiper les espèces puis 10 journées (voire demi-journées) de recherche de gîtes.

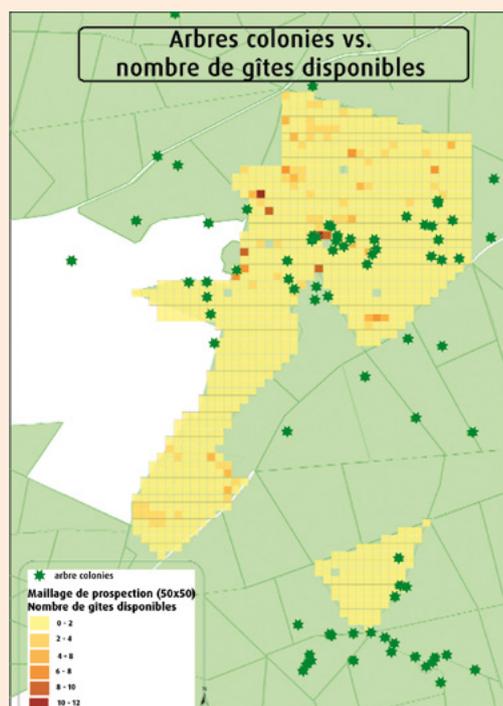
Chaque colonie forestière n'utilise pas un gîte mais un réseau d'arbres gîtes en partie parce que la taille des cavités est généralement trop petite pour accueillir toute la colonie. Ils changent ainsi fréquemment de lieu de repos au sein d'un même milieu. Les espèces ne fonctionnent donc pas en colonies indépendantes mais en méta-colonie avec des groupes utilisant des réseaux d'arbres gîtes pouvant aller d'une dizaine de gîtes à plus d'une centaine (Kerth, 2008, Tillon, 2012).

Prise en compte des Chiroptères dans la gestion forestière de la forêt de Rambouillet - Symbioses - Tillon, 2012

Dans le cadre des recherches de gîtes effectuées par suivi télémétrique, 33 individus de Murins de Bechstein ont utilisé 104 gîtes différents au cours de 4 semaines de suivis.

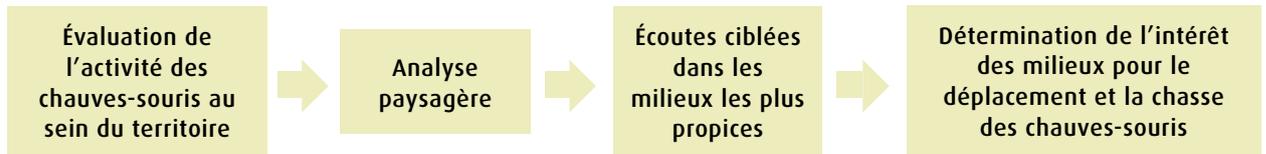
Les 42 Murins de Natterer suivis de la même façon en ont utilisé 114 en seulement 2 semaines.

Illustration 37 : Représentation des cavités disponibles (trous de pics et fentes) selon un maillage de 50x50 m, et des arbres utilisés par les chauves-souris lors du suivi (étoiles vertes)





2.2.2 - Étude de la fréquentation par les Chiroptères : Localisation des terrains de chasse et identification des routes de vol



Le passage d'une infrastructure au sein d'un territoire est susceptible de détruire des routes de vol et de rendre totalement inaccessibles des territoires de chasse indispensables à certaines colonies (Kerth, Melber, 2009). À terme, ces coupures peuvent fortement affecter la qualité du territoire et la reproduction de certaines espèces, et donc la pérennité de certaines populations de chiroptères. L'évaluation des impacts d'un projet d'infrastructure nécessite donc au préalable, de connaître précisément le cortège des espèces présentes et leur mode d'utilisation du territoire. Si la prospection des gîtes permet de disposer d'un certain nombre d'informations préliminaires sur les espèces présentes, de nombreuses autres chauves-souris sont susceptibles de fréquenter le territoire. Des inventaires complémentaires au sein de l'aire d'étude s'avèrent donc nécessaires pour collecter de nouvelles données et comprendre comment les chiroptères utilisent les milieux.

L'étude de la fréquentation de l'ensemble des milieux n'est toutefois pas envisageable à l'échelle d'une vaste aire d'étude. En paysage forestier, les investigations proposées dans le cadre de la recherche de gîtes et de l'activité à l'aide de la détection ultrasonore, sont par ailleurs suffisamment complètes et ne nécessitent pas d'expertise de terrain supplémentaire.

Dans ces milieux fermés, l'identification et la localisation précise des terrains de chasse et des routes de vol sont d'ailleurs assez compliquées à cartographier, car les déplacements sont souvent diffus et différents entre les espèces, en raison de leur mode de chasse (Vincent, 2007).

Cette partie de l'analyse concernera plus finement les milieux ouverts pour lesquels les prospections complémentaires s'appuieront sur une analyse préliminaire du territoire. Cette analyse correspond le plus souvent à une analyse paysagère fine visant à identifier les milieux potentiellement favorables à la présence ou au passage des Chiroptères (grandes haies et petits champs, zones majoritairement pâturées, étendues d'eau et cours d'eau, prairies humides, etc.). Une attention particulière doit être apportée aux connexions fonctionnelles potentiellement utilisées par certains chiroptères (notamment les plus sensibles) pour rejoindre les différents domaines vitaux.

L'analyse paysagère peut être effectuée à partir d'une carte d'occupation des sols ou de photos aériennes, de la topographie et d'une visite de terrain (fortement recommandée). Il est alors possible de localiser les routes de vol et les habitats de chasse les plus probables à partir de ces éléments que complètent les données initialement acquises sur les colonies du territoire d'étude, les connaissances disponibles sur les capacités et modalités de déplacement des espèces présentes et sur leurs exigences écologiques en matière d'habitats (cf. tableaux 1 et 2).

La définition des milieux potentiellement fréquentés par les espèces peut également faire l'objet de modélisations plus poussées réalisées à l'aide de logiciels (cf. illustration 36 pour le milieu forestier).

Une fois les milieux ouverts favorables ainsi repérés, des inventaires localisés seront engagés pour vérifier le passage des chiroptères.

Différentes méthodes (cf. annexe 6) peuvent alors être utilisées en fonction des objectifs et des espèces rencontrées. Les plus couramment utilisées sont :

- la méthode des points d'écoute : écoute au détecteur des ultrasons des chiroptères en un point donné ;
- la réalisation de transects : inventaires réguliers au détecteur effectué le long d'un linéaire ;
- les enregistrements automatiques (périodes d'au moins 3 nuits) : enregistrement automatique des ultrasons en un point donné ;
- une combinaison des méthodes précédentes.



Illustration 38 : Localisation des zones d'inventaire au droit des structures susceptibles d'être utilisées par les Chiroptères (Source : Cerema - Est)



Si les inventaires doivent permettre d’appréhender les principaux enjeux sur la totalité de l’aire potentiellement perturbée, une attention particulière sera apportée au droit des intersections entre les axes de vols et les territoires de chasses (zones humides, forêts, etc.), et l’infrastructure.

Généralement, chaque point d’inventaire nécessitera une campagne de trois nuits d’écoutes (pression d’inventaire optimale à ajuster en fonction du projet et des enjeux) à chaque période de forte activité (transit, mise bas et élevage des jeunes, émancipation des jeunes et premières migrations) et une supplémentaire pendant la période estivale (soit deux campagnes pendant la période de mise bas et d’élevage des jeunes) même si dans certaines régions (région de montagne, région méditerranéenne) deux campagnes peuvent suffire (Tillon, 2011). En effet, en montagne les rigueurs du climat réduisent fortement l’activité en début de saison et en région méditerranéenne les températures sont trop élevées, et les milieux en général trop secs en été.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
En règle générale				n°1			n°2		n°3			
En région méditerranéenne				n°1					n°2			
En montagne						n°1		n°2				

Illustration 39 : Période de forte activité au cours desquelles les inventaires doivent être privilégiés

La présence d’une infrastructure existante à proximité du projet doit également faire l’objet d’une attention particulière. Les coupures existantes peuvent déjà avoir fortement modifié le comportement des Chiroptères au sein du territoire. Il est possible que les animaux aient changé leur route de vol en favorisant des franchissements sécurisés au droit d’une ancienne infrastructure. Ainsi dans un souci de continuité des déplacements, des inventaires spécifiques au droit des ouvrages favorables de l’ancienne infrastructure pourront être envisagés pour identifier des connexions fonctionnelles (Hintermann et al, 2012).

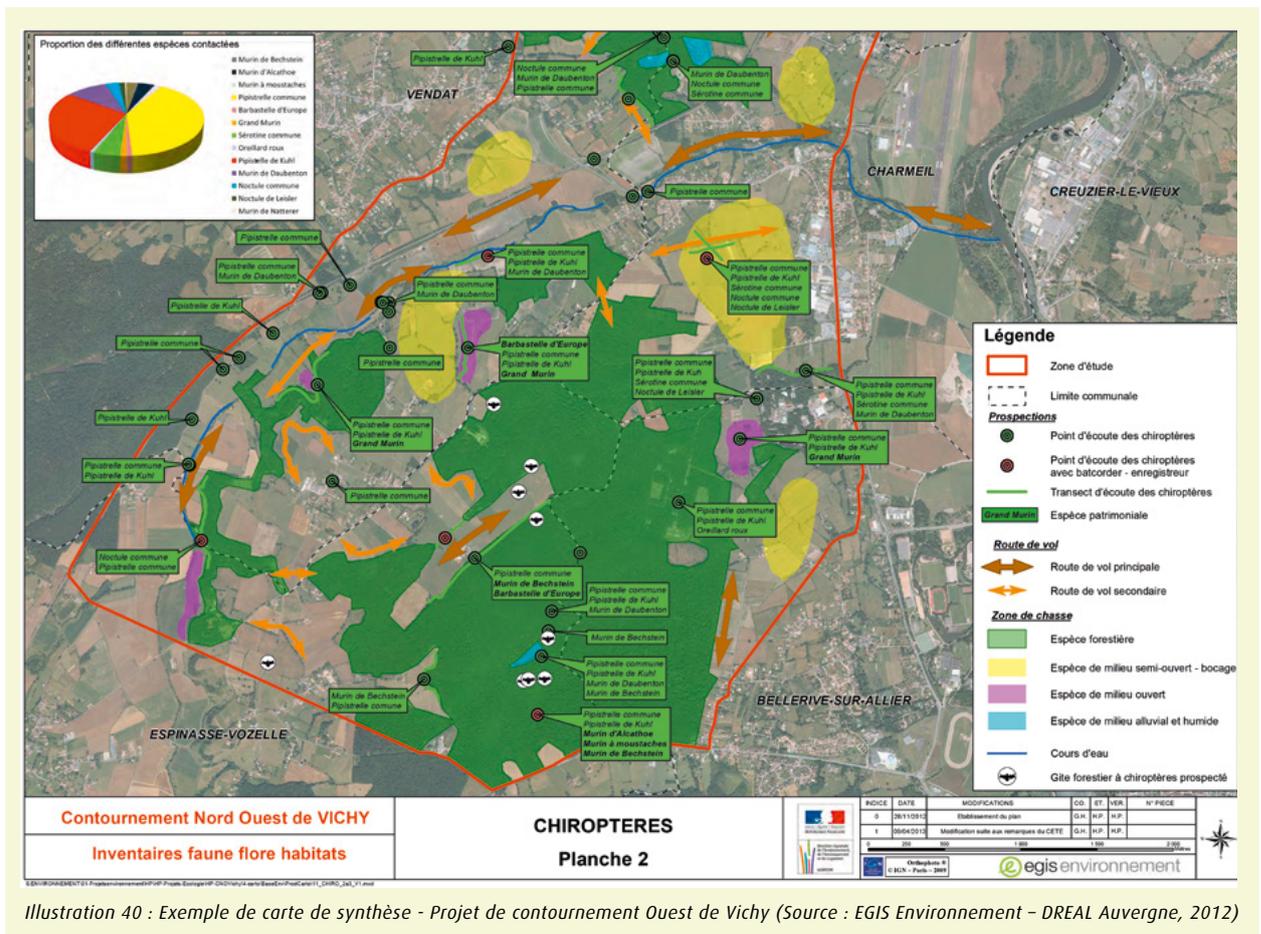
Le choix de la ou des méthodes d’inventaire dépend de l’objectif du projet et des enjeux spécifiques qui en découlent. Même si les techniques sont nombreuses (cf. annexe 6), la plus courante et la moins perturbante pour les espèces correspond aux écoutes ultrasonores (détecteurs, enregistreurs automatiques, etc.).

Dans tous les cas, lors de la rédaction des études d’impact (et dès la réponse à l’appel d’offre), le prestataire devra décrire précisément les méthodologies d’inventaire, les dates de prospection, le nombre de jours de prospection, la durée des contrôles effectués, etc.

Seule la mise à disposition de ces informations permettra de juger de la pertinence des études réalisées et des résultats obtenus.

Les inventaires ainsi réalisés doivent au final permettre de mesurer :

- la diversité des espèces fréquentant les différents milieux de l’aire d’étude
- le niveau d’activité de chaque espèce présente notamment à partir des informations suivantes :
 - pour les points d’écoute : le nombre de contacts (total et par espèce) obtenus par unité de temps. L’analyse de l’activité en un point donné doit, cependant, rester prudente car les espèces s’adaptent à la saison et aux émergences locales d’insectes. L’activité ne peut donc pas être extrapolée à un cycle complet ;
 - pour les transects : le nombre de contacts (total et par espèce) par unité de distance ;
- la catégorie d’activité (déplacement, chasse, etc.) ;
- la période d’activité (transit, mise bas, etc.).



2.3 - L'évaluation des enjeux du territoire

L'analyse de l'état initial doit conduire à une évaluation des enjeux à partir de la sensibilité et de la vulnérabilité des espèces et des milieux. L'objectif est d'aboutir à une appréciation qualitative de leur intérêt sur une échelle de valeur simplifiée, c'est-à-dire à une hiérarchisation justifiée de ces enjeux.

En la confrontant au projet d'infrastructure, l'évaluation des enjeux doit alors permettre d'apprécier le niveau des impacts du projet dans l'objectif de comparer et d'orienter les options de passage puis la définition des mesures.

Plusieurs approches à des échelles différentes permettent de définir l'enjeu chiroptérologique d'une zone :

- **l'approche espèce**

Elle se définit à partir :

- du niveau d'enjeu de l'espèce

Il est généralement déterminé à partir de la patrimonialité de l'espèce, elle-même établie à partir du statut de protection et de conservation de celle-ci à différentes échelles géographiques (européenne, nationale et locale).

La qualification de l'état de conservation peut notamment être définie à partir des listes rouges des espèces de faune complétées des informations pouvant être recueillies auprès d'autres organisations compétentes (associations spécialisées, etc.). Il est également nécessaire de disposer des informations portant sur l'état quantitatif des populations, leur dynamique, l'aire de répartition aux différentes échelles géographiques (définition de la responsabilité dans la conservation de l'espèce).



Critères susceptibles d'être utilisés :

- statut de protection (national, européen) ;
- statut déterminant ZNIEFF ;
- statut sur la Liste Rouge UICN France ;
- statut sur la Liste Rouge régionale ;
- espèces PNA (Plan National d'action) ;
- responsabilité régionale (La responsabilité régionale pour la conservation d'une espèce a été déterminée par le MNHN sur la base de l'examen de la proportion relative de l'espèce sur le territoire en question par rapport au territoire national) ;
- etc.

- de la sensibilité de l'espèce vis-à-vis d'un projet d'infrastructure

La sensibilité d'une espèce de chiroptère vis-à-vis d'un projet d'infrastructure est essentiellement définie par le comportement de vol des espèces et la sensibilité aux perturbations (ex : destruction de gîte, fragmentation, lumières). Les espèces les plus sensibles sont les espèces volant à basses altitudes, lucifuges, sensibles à la coupure des axes de vol, etc.

- de la représentativité de l'espèce sur la zone

Plus les effectifs sont importants, plus les risques sont élevés pour les espèces. Il s'agit ici surtout de mettre en relation la représentation de l'espèce au sein du territoire potentiellement perturbé par rapport à la sensibilité de l'espèce et son niveau d'enjeu. Plus une espèce patrimoniale sensible est présente sur le territoire, plus l'enjeu est élevé.

• l'approche milieux

En fonction des observations et de l'activité constatée, l'objectif est de définir l'intérêt des milieux pour les espèces :

- en tant que gîte ;
- en tant que zone de chasse ;
- en tant qu'axe de déplacement.

Le croisement des deux approches précédentes permettra alors de définir le niveau d'enjeu et d'en déduire le risque induit par l'infrastructure sur chaque espèce identifiée au sein de l'aire d'étude. Une fois établis, ces risques pourront alors être cartographiés ou mis en forme à partir d'un tableau de synthèse.

Exemple de niveau de hiérarchisation (d'après Diagnostic et évaluation des enjeux LGV POCL, Ingérop/RFF, 2011)

- **enjeu majeur** : Passage extrêmement difficile, voire impossible, et s'accompagnant de perturbations très fortes, voire irréversibles. Les mesures de réduction ne suffisent pas, elles s'accompagnent obligatoirement de mesures compensatoires d'envergure. Ces secteurs sont à éviter autant que possible ;
- **enjeu fort** : Passage pouvant créer des impacts importants sur les espèces et les habitats d'espèces, et les mesures de réduction prises ne peuvent y remédier que partiellement, des compensations sont à prévoir. Ces secteurs sont à éviter autant que possible ;
- **enjeu moyen** : Franchissement devant s'accompagner de mesures de réduction et d'intégration importantes, qui permettent en général de remédier aux impacts ;
- **enjeu faible** : Le passage doit s'accompagner de mesures de réduction et d'intégration plus légères et moins onéreuses que celles évoquées ci-avant ;
- **enjeu très faible** : le franchissement de ces secteurs s'accompagne de mesures usuelles de réduction et d'intégration ;
- pas d'enjeu.



3 - Techniques d'inventaires

Pour rappel, le pétitionnaire qui souhaite aménager un espace avec une infrastructure doit apporter des éléments permettant d'évaluer les enjeux du territoire vis-à-vis des Chiroptères (cf. chapitre précédent). Cette évaluation nécessite la mise en œuvre de différentes techniques (cf. fiches en annexe 6). Ces techniques, qui sont nombreuses, nécessitent pour la plupart l'intervention de spécialistes. Dans la majorité des situations, des inventaires au détecteur à ultrasons et/ou via des enregistrements automatiques sont cependant suffisants pour diagnostiquer les enjeux chiroptérologiques.

	Méthodes de localisation	Objectifs	Principe général	Avantages	Inconvénients
Techniques de suivi non intrusif	Détection des ultrasons	<ul style="list-style-type: none"> • vérifier la présence de chiroptères • identifier des espèces • quantifier et identifier l'activité (chasse, déplacement) 	<ul style="list-style-type: none"> • rendre audibles les ultrasons émis par les chauves-souris 	<ul style="list-style-type: none"> • pas de capture des individus • relativement facile à mettre en œuvre • mobilité de l'observateur • identification sur place de nombreuses espèces, • inventaire qualitatif et quantitatif • pas de stress des animaux • coût peu élevé • formation assez rapide pour l'hétérodyne, mais qui ne permet de travailler que sur les grands groupes d'espèces (sans identification spécifique dans la plupart des cas) 	<ul style="list-style-type: none"> • sous-représentation des espèces à faible sonar (rhinolophes, oreillards et certains murins) ou volant très haut • identification difficile ou impossible de certains groupes d'espèces dans certains cas • le sens du déplacement n'est pas déterminé quand il fait sombre
	Systèmes automatiques (Anabat, SM2bat)	<ul style="list-style-type: none"> • inventorier les espèces • repérer les zones ou les périodes (heure, saison) de forte activité 	<ul style="list-style-type: none"> • utilisation couplée d'un détecteur de présence (ultrasonique ou infrarouge) et d'un système d'enregistrement (caméra, photo ou audio) 	<ul style="list-style-type: none"> • relativement autonome • inventaire sur plusieurs nuits entières consécutives sans nécessiter la présence d'un observateur de nuit • pas de stress • inventaire quantitatif et qualitatif selon le matériel 	<ul style="list-style-type: none"> • le sens du déplacement n'est pas déterminé • longue identification des espèces sur ordinateur • parfois victimes de vandalisme
	Amplificateur de lumière	<ul style="list-style-type: none"> • observer le comportement de vol (route de vol, traversée du tracé), compter les individus • les observer dans leur gîte 	<ul style="list-style-type: none"> • faciliter l'observation des chauves-souris dans le noir 	<ul style="list-style-type: none"> • observer sans dérangement • pratique pour les comptages en sortie de gîte 	<ul style="list-style-type: none"> • relativement cher et peu efficace selon les sites et les appareils
	Caméras infrarouges	<ul style="list-style-type: none"> • étudier le comportement des chauves-souris 	<ul style="list-style-type: none"> • filmer dans le noir absolu en éclairant les chauves-souris sans les déranger 	<ul style="list-style-type: none"> • observer sans dérangement 	<ul style="list-style-type: none"> • très consommatrices en énergie • coûteuses à l'achat
	Caméras thermiques	<ul style="list-style-type: none"> • étudier le comportement des chauves-souris 	<ul style="list-style-type: none"> • enregistrer les différences de température entre l'animal et son milieu 	<ul style="list-style-type: none"> • observer sans dérangement 	<ul style="list-style-type: none"> • coûteux à l'achat mais les prix baissent • pas de distinction entre les espèces • peu opérationnel en milieu encombré
	Trajectographie	<ul style="list-style-type: none"> • étudier le comportement des chauves-souris 	<ul style="list-style-type: none"> • visualiser la trajectoire des espèces en localisant la source d'émissions ultrasonores 	<ul style="list-style-type: none"> • permet d'étudier le comportement des espèces 	<ul style="list-style-type: none"> • coûteux à l'achat



	Méthodes de localisation	Objectifs	Principe général	Avantages	Inconvénients
Capture	Radiopistage / télémétrie (Dérogation indispensable)	<ul style="list-style-type: none"> • trouver des gîtes • connaître le déplacement des individus entre leurs gîtes et leurs terrains de chasse • déterminer les domaines vitaux 	<ul style="list-style-type: none"> • pose de microémetteurs radio sur le dos des chauves-souris et détermination des emplacements successifs par triangulation d'azimuts synchrones 	<ul style="list-style-type: none"> • extrêmement riche en informations 	<ul style="list-style-type: none"> • très contraignante humainement, matériellement lourd à mettre en place • très invasive, traumatisante pour les individus • temps considérable d'analyse des données • contrainte de représentativité des résultats, limités aux individus équipés • nécessite une autorisation spéciale de capture et d'équipement des animaux
	Capsules chimio-fluorescentes (Dérogation indispensable)	<ul style="list-style-type: none"> • étude du comportement de l'animal dans les airs et dans la végétation 	<ul style="list-style-type: none"> • capsule lumineuse posée sur le dos de l'animal 	<ul style="list-style-type: none"> • outil d'étude du comportement très intéressant 	<ul style="list-style-type: none"> • peu d'autonomie • facilité de repérage limitée • nécessite une autorisation • risque sanitaire pour l'animal et les individus de la colonie
	Capture au filet (Dérogation indispensable)	<ul style="list-style-type: none"> • inventorier les espèces et déterminer leur statut reproducteur • opération préalable à la télémétrie 	<ul style="list-style-type: none"> • capture des individus dans des filets à maille fine (fils nylon) ou de harp-trap tendus au droit des routes de vol ou à la sortie des gîtes des chiroptères 	<ul style="list-style-type: none"> • capture possible des espèces peu détectables • identification de toutes les espèces • fournit des informations biologiques (statut reproducteur, sexe, âge) 	<ul style="list-style-type: none"> • capture difficile de certaines espèces • stress • nécessite une autorisation • peu mobile • consommateur de temps à l'installation

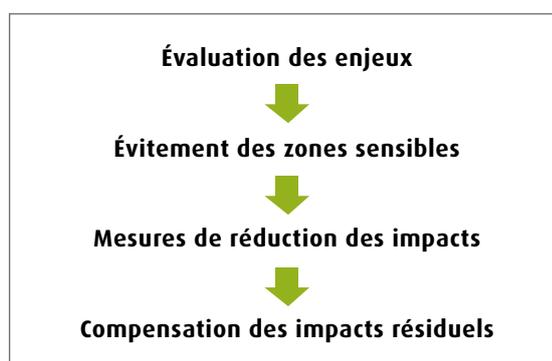
Tableau 8 : Synthèse des avantages et inconvénients des différentes méthodes



Chapitre 4

Mesures environnementales

L'impact de la réalisation d'une infrastructure de transport sur les populations de Chiroptères dépend des espèces présentes, de la nature du projet et de sa localisation dans le paysage. C'est en fonction de ces composantes et des menaces potentielles (listées au chapitre 2) que sont définies les mesures nécessaires à l'aménagement. Ces mesures environnementales doivent être définies selon une démarche progressive en les hiérarchisant suivant la doctrine relative à la séquence « éviter, réduire et compenser ».



Ces exigences sont citées dans l'article R.122-14 du code de l'environnement. Un projet doit ainsi avoir pour priorité d'éviter les impacts sur l'environnement, en particulier lors des choix fondamentaux du projet (nature du projet, localisation), par rapport à toutes les autres actions consistant à réduire ces impacts. Dès lors que les impacts négatifs sur l'environnement n'ont pu pleinement être évités, des mesures de réduction doivent être engagées par la mobilisation de solutions techniques de moindres impacts, à coût raisonnable, pour diminuer les impacts négatifs résiduels au niveau le plus faible possible. Enfin, en dernier lieu, s'il reste des impacts résiduels significatifs, le maître d'ouvrage doit compenser ces impacts.

Cette démarche doit donc conduire à prendre en compte l'environnement, le plus en amont possible, dès la conception des projets d'autant plus que l'impossibilité de compenser peut, dans certains cas, remettre en cause le projet.

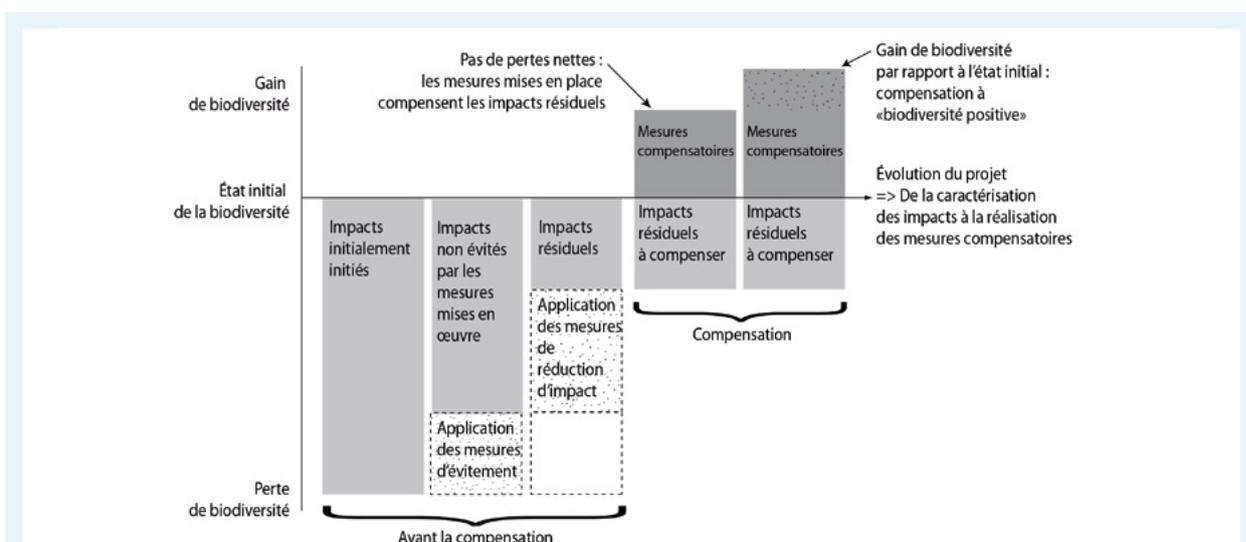


Illustration 41 : Hiérarchisation des mesures d'évitement, d'atténuation et de compensation (Source : UICN d'après Business and Biodiversity Offsets Program. BBOP Phase one (2004-2008). Overviews, Principles, Interim Guidance and Supporting Materials. <http://bbop.forest-trends.org/guidelines/>)



1 - Mesures d'évitement des impacts

Les mesures d'évitement doivent être adaptées à chaque étape du projet en fonction des connaissances disponibles et/ou issues des investigations menées. L'objectif est, à chaque étape et en fonction du niveau de connaissance et des sensibilités identifiées et hiérarchisées, de favoriser les options de passage évitant les zones d'enjeux (cf. illustration 24).

À une grande échelle, dans le cadre de la recherche des fuseaux de passage, à l'image des autres thématiques de l'environnement, la prise en compte des enjeux chiroptérologiques doit s'attacher, en premier lieu, à éviter les enjeux majeurs connus ou les sites potentiellement très favorables. Pour les chiroptères, il s'agit principalement des grands massifs forestiers constitués de vieux boisements, des principaux gîtes souterrains, des périmètres d'alertes définis pour partie ou spécifiquement pour les chiroptères (zone Natura 2000, ZNIEFF, etc.). Au cours de cette étape, les connaissances généralement fragmentaires que l'on a de l'utilisation du territoire par les chiroptères, ne permettent que rarement d'être plus précis.

Au stade de la recherche du projet qui sera soumis à l'enquête publique, les études d'environnement préalables doivent permettre de comprendre le fonctionnement du territoire et le rôle des habitats pour les espèces. Il est alors plus aisé d'éviter les impacts. À ce stade, en plus des gîtes à épargner, le projet doit éviter au maximum la fragmentation des habitats les plus importants et la coupure des principales routes de vol existantes.

Une fois le tracé retenu, c'est surtout en phase travaux, qu'une attention particulière doit être apportée. Pour éviter la destruction accidentelle des structures essentielles aux chauves-souris (haies, gîtes), il est conseillé de les identifier sur le terrain (drapeaux, clôtures, affichettes, etc.) (Bickmore et Wyatt, 2003 & Keeley, 2005). Un suivi des travaux par un chargé de mission environnement est nécessaire si des enjeux majeurs ont été identifiés, et des mesures préconisées.

Nota : Le respect des structures utiles aux chauves-souris peut être intégré au cahier des charges des entreprises intervenantes.

2 - Mesures de réduction des impacts

Même si dans le déroulement des démarches de construction d'une infrastructure, il n'est pas toujours aisé d'en tenir prioritairement compte, il est nécessaire que les mesures de réduction soient fonctionnelles le plus tôt possible, idéalement avant la destruction des milieux (Keeley, 2005 ; Highway Agency, 1999). Dans le cadre des dossiers de dérogation d'espèces protégées, cette anticipation est souvent exigée.

Le maître d'ouvrage doit également veiller à la cohérence des mesures prises en faveur des Chiroptères avec les autres mesures qui parfois peuvent s'avérer incompatibles (par exemple : certains aménagements paysagers).

2.1 - Mesures de réduction des effets temporaires

2.1.1 - Réduction du dérangement en phase chantier

Le travail de nuit est à éviter, au moins pendant les périodes les plus sensibles pour les chauves-souris (notamment la période de mise bas) (Limpens et al., 2005 ; Bickmore et Wyatt, 2003). (cf. 2.2.1)

Si le travail de nuit est indispensable, l'éclairage doit être très localisé pour éviter d'éclairer les alentours et ainsi réduire l'effet barrière. Des structures occultantes (brises-vent, panneaux) temporaires peuvent, dans ce cas, être installées autour du chantier notamment lorsque celui-ci est proche de zones sensibles (routes de vol, gîtes, territoire de chasse).

De jour, si le chantier est amené à porter sur des sites souterrains ou des gîtes utilisés, les plannings d'intervention devront être définis pour éviter de déranger les animaux pendant leur période normale de présence sur le site.

Il est également conseillé d'éloigner des gîtes, les zones de stockage, de travail ou les voies d'accès au chantier.

Enfin, il est également préférable d'intervenir sur les structures utilisées par les chauves-souris avant la période d'activité. En ce sens, les destructions d'habitats de chasse et/ou corridors de vol seront réalisées préférentiellement en dehors des périodes de vols des chiroptères, c'est-à-dire durant l'hibernation. L'objectif est ici d'organiser la coupe des corridors de végétation (excepté les vieux arbres à cavités dont l'abattage doit être organisé en automne (cf. 2.2.1)) et de stériliser les milieux favorables à la chasse situés dans les emprises (ex : retournement des prairies) avant la période sensible des individus relative à la mise bas.



2.2 - Mesures de réduction des effets permanents

2.2.1 - Mesures de réduction de la mortalité durant la phase travaux (procédure de destruction de gîtes)

Cette mesure extrême (qui nécessite une autorisation particulière) car il s'agit d'espèces protégées, doit être mise en œuvre aux périodes durant lesquelles les chauves-souris sont les moins vulnérables, c'est-à-dire hors période de mise bas et d'élevage et hors hibernation. L'automne, et en particulier septembre - octobre, est la période la plus propice pour entreprendre des travaux susceptibles d'engendrer une mortalité. En effet, les conséquences pour les chauves-souris, qui ont fini de se reproduire et qui n'ont pas encore commencé à hiberner, sont moindres (Highway Agency, 1999). Le cas particulier des gîtes de swarming doit être, néanmoins, pris en compte.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gîte de mise bas	Vert	Vert	Vert	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Jaune	Vert	Vert	Vert
Gîte d'hivernage	Rouge	Rouge	Rouge	Jaune	Jaune	Vert	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
Gîte d'hivernage et de mise bas	Rouge	Rouge	Rouge	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Vert	Vert	Rouge	Rouge

Illustration 42 : Période de sensibilité des espèces aux interventions en fonction de leur cycle biologique (en rouge : période à proscrire, en jaune : période à éviter, en vert période conseillée)

La vérification de l'absence des chauves-souris dans le gîte potentiel ou connu est indispensable avant l'intervention sur la structure et la présence d'un chiroptérologue est conseillée lors de la destruction de manière à pouvoir prendre d'éventuelles mesures d'urgence pour sauver les animaux (Limpens et al. 2005 ; Keeley, 2005 ; Highway Agency, 1999).

Si des chauves-souris sont repérées, des procédures d'exclusion doivent être mises en place durant les périodes favorables (cf. illustration 42) :

- soit, si elles sont accessibles, en les attrapant et relâchant à l'extérieur du gîte et en les empêchant de revenir (obstruction des accès). Dans ce cas, il faut avoir une autorisation spéciale de capture ;
- soit, en les dérangeant (bruit, vibrations, démolition partielle) pour qu'elles partent d'elles-mêmes (Magnin, 1994 ; Maugard, 1995 ; Highway Agency, 1999 ; Lemaire et Arthur, 1999a ; Pénicaud, 2000a ; Keeley, 2005). Il est, ici, nécessaire de disposer, au préalable, d'une autorisation spéciale de perturbation intentionnelle à fin de sauvegarde de la faune sauvage ;
- si les chauves-souris sont inaccessibles, la mise en place de valves à sens unique au droit des entrées est, dans certains cas, également envisageable. Ces dispositifs doivent être mis en place en avril ou en août (une fois l'autorisation de perturbation obtenue) et ne doivent surtout pas être mis en place de mai à août durant la période d'élevage des jeunes (sauf si la cavité n'est pas de nature à accueillir de gîtes de reproduction) ;
- pour les autres cavités, il faudra également veiller à empêcher l'installation des chauves-souris avant la destruction en obstruant les cavités (une autorisation préalable de perturbation intentionnelle des espèces est, comme dans les cas précédents, nécessaire).



Photo 17 : Exemple de dispositif anti-retour utilisé dans le cadre de la réfection d'un ouvrage d'art (Source : CPEPESC Franche-Comté)



Photo 18 : Cavité bouchée à l'aide de papier (Source : Cerema - Est)



Photo 19 : Cavité bouchée à l'aide de gaine d'isolation de tuyau de chauffage (Source : S. Bareille)

Pour la destruction des gîtes forestiers, les périodes sont identiques (automne). Les gîtes étant souvent difficiles à localiser notamment lorsque les surfaces boisées à détruire sont importantes, c'est l'ensemble des travaux de défrichage qui devra être calé sur cette période (septembre - octobre).



2.2.2 - Mesures de réduction des collisions et de la fragmentation des habitats

2.2.2.1 - Limiter l'attractivité des emprises

Les structures susceptibles d'attirer des chauves-souris (bassin de rétention, végétation) doivent être étudiées en amont pour ne pas ajouter un risque de collision supplémentaire (Highways Agency, 2006 ; Highway Agency, 1999 ; Lemaire et Arthur, 1999a). Il faudra notamment veiller à les éloigner de la chaussée (> 20 m du bord de chaussée lorsqu'il s'agit de milieux de chasse comme les bassins de rétention).

La gestion de la végétation doit également faire l'objet d'une attention particulière. Sur les sections sensibles, les plantations doivent être évitées et les espèces végétales attractives pour les insectes et indirectement pour les chiroptères doivent être prohibées en bordure de l'infrastructure. L'utilisation de plantes non mellifères est par exemple préférable (Ransome, 1996 dans Bickmore et Wyatt, 2003).

Si des plantations sont néanmoins nécessaires (par exemple pour dévier une route de vol), celles-ci devront être éloignées de l'infrastructure de 20 m minimum (cf. 2.2.2.7.1). Si un risque existe, l'utilisation de palissade, grillage ou fausse haie peut également être envisagée.

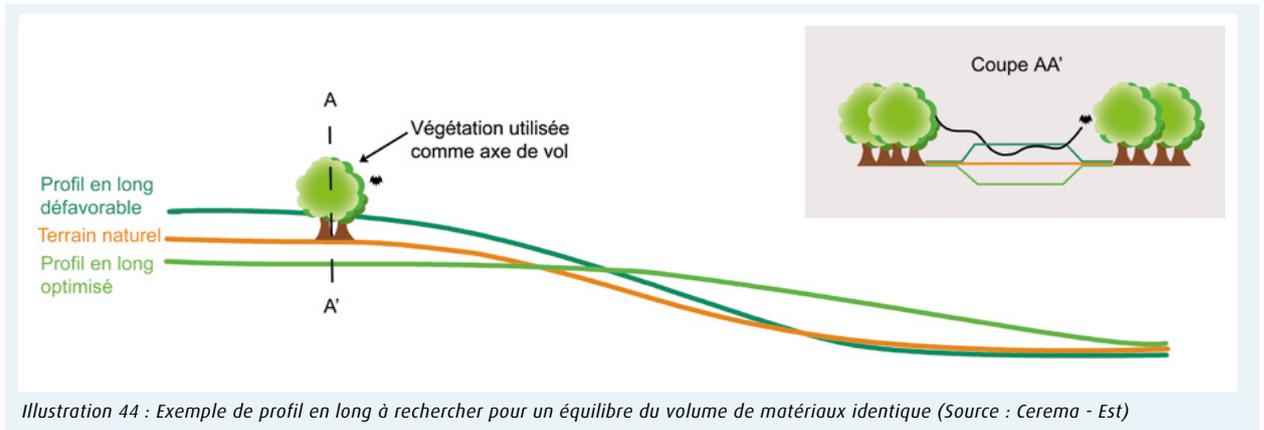
Pour éviter la présence des espèces en bordure d'infrastructure, il est également envisageable de réaliser un aménagement minéral des dépendances. Une telle mesure n'est toutefois envisageable que sur de petites sections et lorsque les matériaux sont disponibles à proximité.



2.2.2.2 - Optimisation du profil en long

Il est possible dans de nombreux cas, notamment lorsque le relief est peu chahuté, de travailler sur le profil en long pour tenir compte des enjeux chiroptérologiques et concevoir un projet adapté aux espèces.

Dans les milieux à enjeux, les sections à accotement direct ou présentant un léger remblai doivent ainsi être évitées et on préférera une route en déblai.



2.2.2.3 - Éclairage des abords de l'infrastructure

Il est préférable d'éviter l'éclairage de l'infrastructure afin de ne pas perturber les espèces lucifuges ni d'attirer les insectes et par ce fait les espèces de chauves-souris moins sensibles à la lumière à proximité des voies de circulation. (cf. 2.2.3)

2.2.2.4 - Limitation de la vitesse des véhicules

Même si les collisions létales peuvent se produire à vitesse réduite, il semble que la diminution de la vitesse permette de limiter l'impact des collisions.

Capo et al. (2006), ont observé sur la Rocade sud-est de Bourges, que la mortalité avait baissé très nettement sur une des sections situées à l'approche d'un nouvel échangeur. Cette diminution de la mortalité a été attribuée à la diminution de la vitesse des véhicules.

Exclusivement envisageable sur les infrastructures routières, la limitation de la vitesse peut se faire soit :

- simplement par une signalisation adaptée ;
- la mise en œuvre de dispositifs spécifiques (bandes rugueuses, chicane, etc.) ;
- la réalisation ou le positionnement judicieux d'un rond-point.

Projet d'aménagement de la VR52 – DREAL Lorraine/Atelier des Territoires – 2012

Dans le cadre du projet, l'un des ouvrages faune va déboucher sur une section de voirie correspondant à l'ancienne infrastructure qu'il est prévu de conserver pour assurer le transit local. Cette situation étant loin d'être optimale le maître d'ouvrage a proposé une limitation de la vitesse (50 km) sur l'ancienne voirie et la mise en place de bandes rugueuses pour prévenir la faune de l'arrivée des véhicules.



Illustration 45 : Projet d'aménagement de la VR52 (57) (Source : L'Atelier des Territoires/DREAL Lorraine, 2012)



2.2.2.5 - Utilisation d'un revêtement routier ultrasonore (expérimentation)

Il s'agit d'une expérimentation réalisée dans le cadre du programme Life+ Chiro Med par le Groupe chiroptères de Provence mais qui pourrait bien, à terme, constituer une mesure intéressante pour limiter le franchissement des chiroptères sur des points particuliers lors du passage des véhicules.

Sur les secteurs dangereux pour les chiroptères, l'idée est de favoriser un type de revêtement routier, adapté à l'espèce considérée, dont les émissions sonores issues du roulement des véhicules sont capables d'avertir les chauves-souris de leur arrivée.

Ces dispositifs nécessitent toutefois d'identifier préalablement et de manière assez fine les points de franchissement des chauves-souris afin de disposer judicieusement les avertisseurs en tenant compte de la vitesse des véhicules et du déplacement des animaux. La configuration du dispositif doit ainsi permettre aux chauves-souris d'être averties et de disposer d'un temps suffisant pour réagir (demi-tour, élévation de la hauteur de vol, etc.).

Si les premiers résultats sont encourageants (cf. ci-dessous), il semble toutefois, pour le moment, qu'un tel dispositif ne soit pas adapté à des routes à grande vitesse de largeur importante sur lesquelles les véhicules roulent à grande vitesse (110 – 130 km/h). Les chauves-souris n'auraient, dans ce cas, pas le temps de réagir à l'avertissement sonore généré par les véhicules roulant sur ce revêtement, ni de gérer l'abondance de véhicules (life + Chiro Med, PNR de Camargue, 2013).

Revêtement routier et avertisseur sonore pour le Grand rhinolophe – Groupe Chiroptères de Provence – Life + Chiro Med – Conseil Général des Bouches du Rhône (CD 13) – 2011-2013

Dans le cadre de l'entretien des routes du département, le CD 13, en collaboration avec le Groupe Chiroptères de Provence, a équipé deux sections de routes départementales (RD 570 et RD 572) d'un enrobé (BBT-M06-classe 2) préalablement testé en laboratoire et qui apparaît (parmi les 6 testés) comme l'un des enrobés émettant les sons les plus puissants dans la gamme de sensibilité de l'espèce visée, le Grand rhinolophe (l'enrobé ECF-06 était, a priori, celui émettant les sons les plus puissants dans la gamme recherchée mais celui-ci n'entraîne pas dans le cadre du marché du CD).

- **Pour la RD 570**, la section retenue a été équipée de deux bandes, de 20 m de long, disposées en amont et en aval à 20 m de la zone de franchissement des espèces.



Photo 20 : La pose du BBTM a été intégrée dans une opération de rénovation déjà programmée (Source : CD 13/Groupe Chiroptères de Provence)

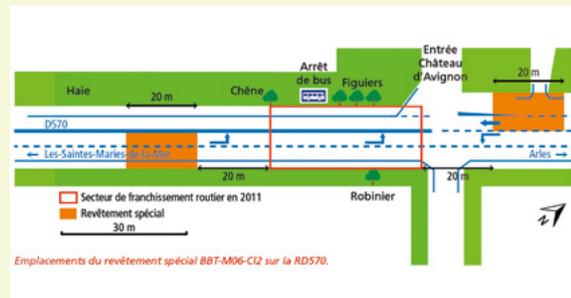


Illustration 46 : schéma des aménagements effectués sur la RD570

- **L'aménagement de la RD 572** a bénéficié du résultat des premiers travaux effectués sur la RD 570. Ce ne sont ainsi plus 2 bandes de 20 m mais 3 bandes de 10 m de long chacune espacées de 15 m qui ont été aménagées afin d'augmenter le nombre de transitions entre enrobé classique et enrobé spécifique et de répartir les sources des signaux sonores sur l'ensemble de la zone.

La dernière bande se situe à 40 m de l'extrémité de la zone de manière à pouvoir avertir les Chiroptères souhaitant franchir l'infrastructure à l'extrémité de la zone de franchissement identifiée (58 m).

Les suivis des dispositifs en place sur la RD 570 ont d'ores et déjà permis de montrer leur efficacité pour les Grands rhinolophes qui semblent globalement plus hésitants à franchir la route qu'avant la pose du dispositif.

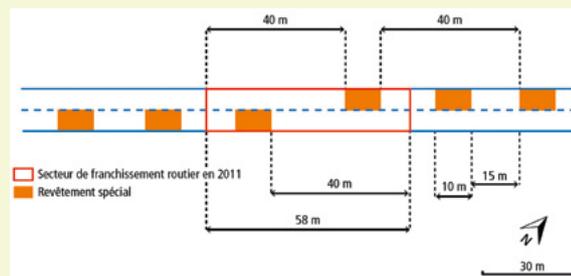


Illustration 47 : schéma des aménagements effectués sur la RD 572



Ainsi, alors que 74 % des individus suivis traversaient la chaussée directement avant la mise en place du dispositif, seuls 65 % des individus l'ont traversé directement une fois l'aménagement réalisé. De la même manière, près de 23 % des individus suivis ont effectué un demi-tour avec le dispositif en place alors qu'ils n'étaient que 2 % à le faire lors de l'étude préalable.

Le surcoût estimé lors de l'opération sur la RD 570 est de l'ordre de 1 700 euros (remplacement du BBTM-10 par du BBTM-6) sachant que l'amenée du matériel, le robage, la reprise de la signalisation et l'alternat lié au chantier, ne sont pas comptabilisés (déjà sur place).

Dans le cas de la RD 572, le coût qui comprend le déplacement des engins, l'enlèvement de l'enrobé et son remplacement, s'élève à 5 000 € pour 6 bandes de 10 m de long sur 3 m de large (une demi-journée de chantier).

2.2.2.6 - Aménagement de passages sécurisés

Bien qu'ils soient volants, les chiroptères sont sensibles à la fragmentation de l'espace (coupure, collision, etc.). La réalisation d'un ouvrage de franchissement a donc pour objectif de rétablir, en un point donné, les échanges existant initialement entre les différents compartiments du territoire coupé par l'infrastructure. En offrant un accès sécurisé, les ouvrages permettent ainsi de limiter les incidences de la fragmentation des milieux naturels et de maintenir les échanges entre les différentes colonies de chauves-souris et entre les individus d'une même colonie.

Une fois l'infrastructure en place, les ouvrages de franchissement concentrent ponctuellement les perspectives de rétablissement et les coûts consentis à ces mesures. Le nombre, l'emplacement, la conception et l'aménagement de ces ouvrages doivent donc bénéficier d'une attention toute particulière.

Les passages doivent être définis par rapport aux caractéristiques locales, à la perturbation prévisible sur les habitats et leur organisation et, enfin, aux populations potentiellement impactées aux différentes périodes de l'année.

Contrairement à certains groupes faunistiques, de nombreuses espèces de chiroptères ont l'avantage d'avoir une capacité d'adaptation aux modifications et s'approprient plutôt facilement et rapidement les aménagements lorsqu'ils sont correctement conçus et leur sont favorables.

Aménagement des passages pour le Minioptère de Schreibers sur la LGV Rhin-Rhône - A. Lugon, S. Roué, A. Petit - 2010

Les études de suivi des déplacements d'une colonie de Minioptères de Schreibers présente à proximité de la LGV, ont montré qu'après la réalisation de l'infrastructure et des mesures d'insertion, une proportion semblable d'individus de la colonie continuaient à utiliser les mêmes routes de vols (3 axes de déplacement) et que 52 à 100 % des individus suivis utilisaient les 3 ouvrages présents sur ces routes de vols et aménagés pour qu'ils soient favorables aux Chiroptères.



Photo 21 : Passage de la Vèze (39) situé sur l'une des routes de vol, avec maintien de la ripisylve sous l'ouvrage (Source : CPEPESC Franche-Comté)



Suivi des ouvrages de l'Autoroute A88 avant la mise en service – Sétra/GMN 2010

Le suivi de trois ouvrages (deux inférieurs et un supérieur) de l'A88 pendant la phase chantier a montré une fréquentation des ouvrages alors même que l'infrastructure était encore en chantier. Les ouvrages inférieurs ont par ailleurs été nettement plus fréquentés, notamment par le Grand rhinolophe, que les ouvrages supérieurs. Il est probable que cette différence soit liée à l'espèce, à la configuration du site et à l'absence de guides végétaux.



Photos 22 et 23 : Ouvrage inférieur suivi en phase chantier (Source : Groupe Mammalogique Normand/Emmanuel Parmentier)

Cependant, sur l'ensemble des aménagements, même si les ouvrages inférieurs sont préférés, toutes les espèces n'utilisent pas ces passages. Les espèces les plus adaptées sont les espèces volant à basse altitude et habituées à fréquenter les environnements denses. C'est le cas des vespertilionidés des genres *Myotis* ou *Plecotus* et les rhinolophidés au vol lent qui n'aiment guère voler en hauteur à portée des prédateurs. Les espèces de haut vol (noctule, sérotine) sont moins enclines à utiliser ces passages et traversent le plus souvent les infrastructures suffisamment haut pour éviter les collisions. Le comportement d'autres espèces comme les pipistrelles reste difficile à cerner (haut vol, rase motte, etc.) et même si elles empruntent volontiers les ouvrages de franchissement, leur utilisation est loin d'être systématique.

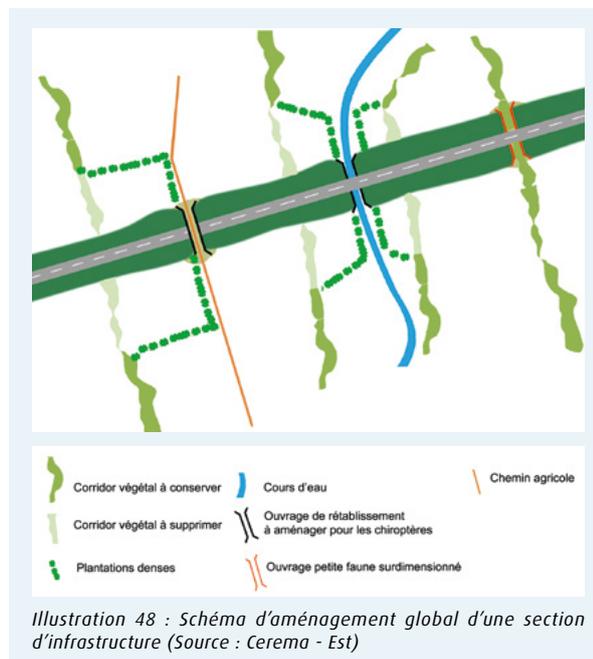
2.2.2.6.1 - Position et nombre des passages

• Lorsque l'infrastructure s'inscrit dans un habitat ouvert

L'identification des routes de vol au cours des études de l'état initial doit facilement permettre d'identifier les points de conflit entre l'infrastructure et les axes de déplacement des espèces. C'est au droit ou à proximité de ces points de conflit qu'une possibilité de rétablissement doit être recherchée.

Il est cependant parfois difficile, voire dans certains cas inutile, de prévoir un rétablissement systématique de toutes les routes de vol interceptées. C'est par exemple le cas lorsque :

- l'infrastructure coupe un milieu ouvert avec de nombreux boisements linéaires (bocage) et que les axes de déplacement sont tout aussi nombreux, et relativement proches les uns des autres. Dans ce cas, une possibilité de passage sera recherchée sur ou à proximité de l'axe le plus favorable. Une telle configuration conduira par ailleurs à s'assurer, quand c'est techniquement possible (exemple : infrastructure en remblai), d'une possibilité de passage tous les 600 mètres. Il s'agira par exemple de surdimensionner les passages inférieurs petite faune pour qu'ils soient utilisables par les chiroptères (diamètre ≥ 2 m) ;
- un futur ouvrage de rétablissement (agricole, forestier, hydraulique) est prévu à proximité de l'axe de déplacement initial. On cherchera alors à optimiser le passage en question pour qu'il soit également favorable aux chauves-souris. Dans ce cas, il faudra s'assurer de guider également les chiroptères vers l'ouvrage retenu et que l'alternative de passage reste relativement proche de l'axe initial. Une possibilité de passage (écopont, buse, passage mixte, etc.) tous les 600 m est à rechercher dans les secteurs fréquentés par les chiroptères.





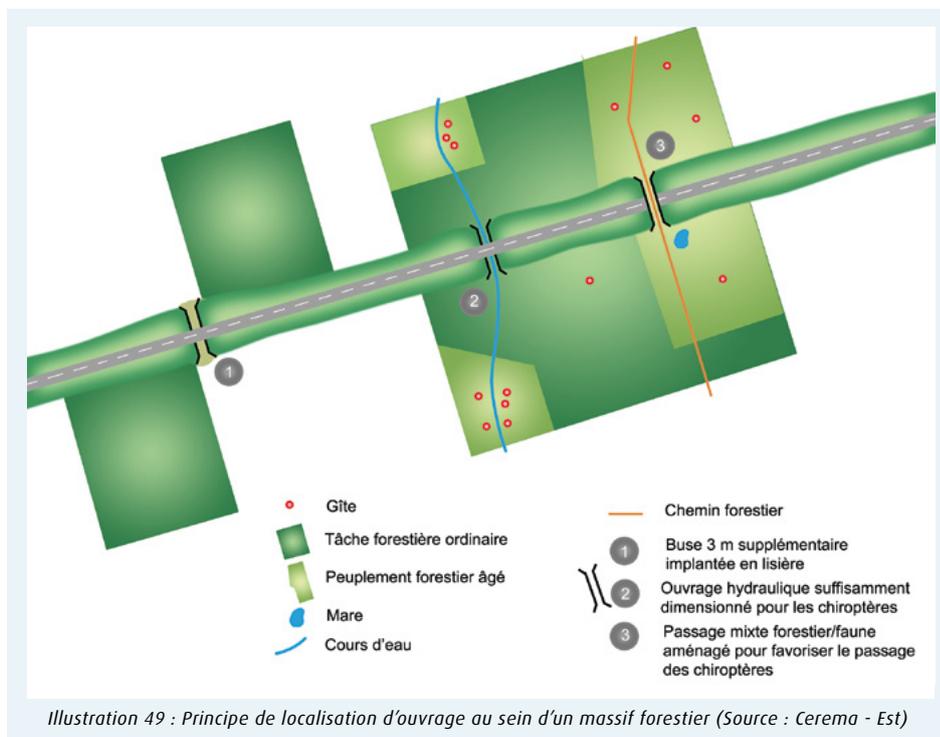
Enfin, si les passages sont définis en fonction des perturbations prévisibles au moment de la construction, ils doivent également intégrer les éventuelles évolutions dans le paysage et les changements dans l'utilisation qui en est faite par les chiroptères. La conception de l'infrastructure devra, par conséquent, intégrer ces changements potentiels en favorisant la transparence de l'infrastructure dans les sections de paysage généralement favorables aux déplacements des chiroptères (vallées, plaines alluviales, etc.). Cette implantation devra, de la même manière, tenir compte des éventuelles mesures compensatoires mises en œuvre (ex : mise en relation d'îlots de sénescence avec l'ouvrage).

• Lorsque l'infrastructure traverse un habitat forestier

Les milieux forestiers sont des milieux particulièrement favorables pour les chiroptères car ils peuvent y gîter, les utiliser comme habitats de chasse ou comme simples zones de transit. La traversée d'un milieu forestier par une infrastructure conduit, donc inévitablement, à perturber les possibilités de déplacement des espèces. Ces déplacements étant toutefois très diffus, il est bien souvent impossible d'identifier des axes préférentiels de vol. Autrement dit, il est compliqué de choisir précisément le lieu d'implantation des ouvrages de rétablissement.

L'emplacement d'un aménagement devra alors être déterminé en tenant compte de plusieurs facteurs favorables aux chauves-souris :

- la caractéristique, l'intérêt et la répartition des peuplements forestiers seront pris en compte et les passages seront préférentiellement implantés au sein des peuplements les plus anciens (en s'assurant auprès des gestionnaires forestiers que l'exploitation de ces boisements ne soit pas réalisée avant cinq ans, le temps que l'infrastructure soit « cicatrisée » et que les espèces aient intégré ce passage). L'aménageur veillera notamment à s'assurer de rétablir une connexion entre des habitats favorables nouvellement séparés par l'infrastructure ;
- les passages doivent préférentiellement être implantés au droit et dans le prolongement des structures préférentiellement utilisées (cours d'eau, lisières forestières, chemins forestiers, etc.) ;
- dans un habitat homogène, le relief pourra également constituer un élément de sélection dans le milieu forestier. Les vallées qui constituent des axes de déplacement favorables seront ainsi privilégiées ;
- la localisation des gîtes ou de réseaux de gîtes doit enfin conditionner la localisation des passages. Dès lors, il conviendra d'essayer de positionner les ouvrages de manière à permettre des échanges entre les colonies séparées par l'infrastructure.





La plupart des espèces qui se reproduisent dans les massifs forestiers ont un rayon d'action moyen de 2 km. Dans leur traversée, une possibilité de passage (en complémentarité avec les autres ouvrages) devra si possible être proposée tous les 600 m. Afin de conduire de façon plus efficace les chiroptères jusqu'aux ouvrages de franchissement, la réalisation de passages (sur les infrastructures routières à 2x2 voies ou LGV) pourra s'accompagner de la mise en place, de chaque côté de l'emprise, d'une clôture de 4 m de hauteur dans toute la traversée du massif (cf. grillages, écrans, murs) en remplacement de la clôture grande faune (ne pas ajouter de haie le long de ce grillage sauf dans les cas où l'infrastructure est éloignée de ce grillage).

2.2.2.6.2 - Type de passages sécurisés

Il n'existe pas de passages type à mettre en place de façon schématique et systématique quel que soit le projet. Les ouvrages sont en premier lieu définis par les caractéristiques du terrain et notamment par le relief prédominant qui conditionne lui-même fortement le profil en long de l'infrastructure. La localisation et les caractéristiques des ouvrages doivent être réfléchies le plus en amont possible afin que les concepteurs puissent tenir compte des enjeux, et positionner les ouvrages le plus judicieusement possible. Trop souvent les ouvrages pour la faune sont définis une fois que le profil en long est calé et non l'inverse, ce qui limite souvent les possibilités d'implantation et les dimensions des ouvrages.

Deux grandes catégories de passages sont distinguées : les passages supérieurs et les passages inférieurs. Toutes les espèces peuvent emprunter l'une ou l'autre de ces catégories. Même si des préférences existent et que globalement les passages inférieurs sont, à taille équivalente, plus efficaces pour les chiroptères que les passages supérieurs, l'efficacité des passages reste fortement dépendante des espèces, de la qualité de l'aménagement des abords et de la configuration de chaque site (cf. ci-dessous).

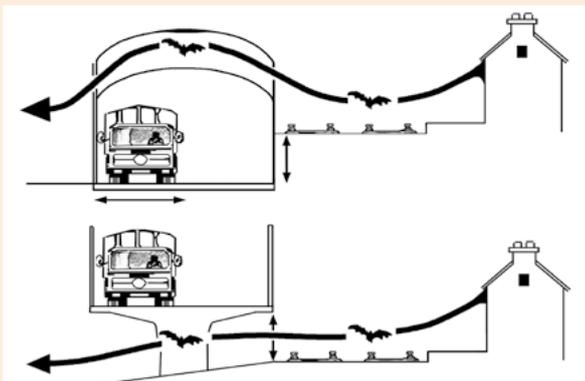


Illustration 50 : Représentation schématique du dispositif d'expérimentation



Photo 24 : passage inférieur expérimental (Furhmann and Kiefer, 1993).

Furhmann and Kiefer (1993) ont simulé, au-dessus d'une infrastructure, l'aménagement d'une passerelle et d'un souterrain à partir d'un dispositif de grillage. Le meilleur résultat a été obtenu avec le « passage supérieur ». Dans le premier cas 87 % des chauves-souris (Grands murins) ont emprunté le « passage supérieur » (16 m de large) et dans le second cas 65 % des individus ont utilisé le « passage inférieur » (8 x 2-3 m). Cette expérience a conduit à préconiser la création d'un passage passant au-dessus de la route.

• Les passages supérieurs

a - Les tranchées couvertes

Lorsqu'une infrastructure est en déblai, il est possible de la recouvrir sur une grande longueur (> 80 m) et de rétablir, ainsi par un aménagement adapté, une grande surface d'habitat. L'intérêt pour les chiroptères est particulièrement élevé car ces ouvrages assurent à la fois la transparence de l'infrastructure pour le déplacement des espèces (notamment si des structures guides de type haies y sont implantées) mais également le maintien, à terme, d'un habitat de chasse exploitable.

Compte tenu de leur coût élevé, ces aménagements ne sont justifiés qu'en présence d'enjeux écologiques particulièrement élevés. S'ils peuvent être motivés par la présence d'habitats de grande valeur pour les chiroptères, ils sont généralement aussi conditionnés par la présence d'intérêts écologiques plus globaux pour la faune et les milieux naturels (ex : Réseau Natura 2000, important corridor écologique, etc.).



Illustration 51 : Tranchée couverte de l'A19 Courtenay - Artenay dans la traversée de la forêt de Montargis (Source : IGN)



Photo 25 : Reconstitution d'une zone humide au droit de la tranchée couverte (Source : Cerema - Est)

b - Les tunnels

L'intérêt à terme d'un tunnel est relativement équivalent à celui d'une tranchée couverte, mais il a l'avantage d'éviter la destruction préalable des milieux correspondant à l'emprise de l'infrastructure. L'impact du passage d'une infrastructure est alors, à ce niveau, quasiment nul, à l'exception de la mortalité par collision d'individus souhaitant explorer le tunnel au moment du passage d'un train ou d'un véhicule.

c - Les écoponts

À l'instar des tranchées couvertes, les écoponts sont également conçus pour l'usage spécifique de la faune. Leur objectif est de rétablir les routes de vols et la connexion entre les différents habitats. L'avantage de ces ouvrages est en particulier lié à la possibilité d'implanter sur le tablier une végétation arbustive sur laquelle les chiroptères peuvent se guider et se sentir protégés pour franchir l'infrastructure.



Photo 26 : Ecopont sur l'autoroute A89 (Source : Vinci Autoroutes/ réseau ASF / OGE)



Photo 27 : Aménagement de l'ouvrage supérieur pour la Faune à Mareuil sur Cher - Autoroute A85 (Source : Cofiroute)

L'efficacité de ces ouvrages pour les chauves-souris dépend cependant :

- de l'importance de la connexion rétablie, c'est-à-dire de la largeur de l'ouvrage. Plus l'ouvrage est large, meilleure sera la connexion avec les milieux adjacents. Si généralement on parle de passages pouvant aller jusqu'à plus de 20 m pour la faune terrestre, pour les seuls chiroptères (ouvrage spécifique) cette dimension peut-être réduite (3 m) même si l'efficacité reste plus élevée pour des passages de plus grande dimension. (Bach et al., 2010) ;
- de la mise en place d'une protection visuelle contre l'éclairage des véhicules ou des locomotives (cf. grillages, écrans, mur) ;
- de la position par rapport aux axes de vol initiaux et de la qualité de la connexion rétablie entre les structures boisées situées de part et d'autre de l'ouvrage (cf. structures végétales).



Si ce type d'ouvrage est généralement préconisé sur les sections en déblai, les passages supérieurs peuvent également être réalisés sur les sections à accotement direct. Cependant, dans ce cas, il est probable que certains individus s'appuient sur la structure de l'ouvrage pour franchir l'infrastructure en longeant latéralement le passage à hauteur des véhicules ou des locomotives, au risque de se faire percuter.

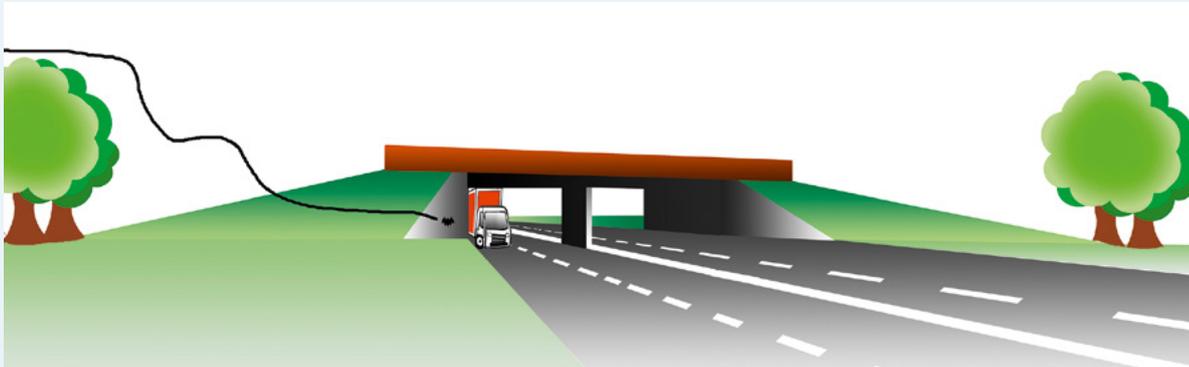


Illustration 52 : Trajectoire d'une chauve-souris utilisant l'ouvrage comme guide (Source : Cerema - Est)

Pour éviter cette situation, il est nécessaire que :

- les abords situés aux entrées de l'ouvrage constituent une plate-forme la plus large possible à hauteur du tablier ;
- la végétation guide soit positionnée au centre de l'ouvrage ;
- des systèmes de guidage (haies, écrans, grillage de 4 m) soient installés le long de l'infrastructure.

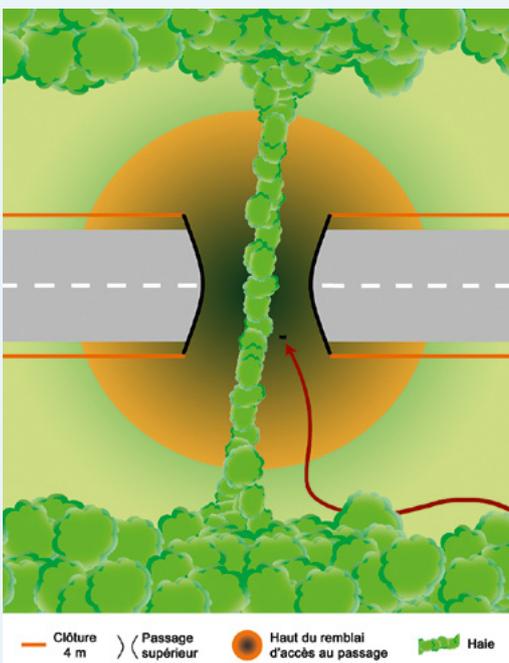


Illustration 53 : Schéma d'aménagement d'un ouvrage forestier sur lequel le cordon de végétation est placé au centre de l'ouvrage (Source : Cerema - Est)

Étude de l'efficacité du passage d'Epfig (Autoroute A35) pour les Chiroptères – Sétra/F. Feve (Expert indépendant) – 2010

Le passage d'Epfig est un ouvrage spécifique pour la faune qui franchit l'autoroute A35 sur une section située au niveau du terrain naturel.

Dans le cadre des mesures de la fréquentation de l'ouvrage par les Chiroptères, 2 systèmes d'enregistrement (Anabat) ont été installés sur l'ouvrage. Le premier a été placé côté tablier au centre du passage à faune et orienté vers l'intérieur afin d'enregistrer les contacts d'animaux passant sur l'ouvrage. Le second a été fixé à l'écran d'occultation, mais il a été orienté vers l'extérieur du passage afin d'enregistrer les contacts d'animaux suivant l'ouvrage mais passant à l'extérieur.

Sur les deux semaines de suivi effectuées, 787 contacts ont été enregistrés avec l'Anabat orienté côté tablier et 214 à l'extérieur de l'ouvrage. Bien que l'ouvrage soit relativement large (20 m), un certain nombre d'individus a donc préféré suivre la structure de l'ouvrage plutôt que de franchir l'autoroute en sécurité au-dessus du tablier.

Les suivis ont par ailleurs permis de contacter une douzaine d'espèces dont le Murin de Bechstein, le Grand murin, le Murin à oreilles échanquées, etc.



Illustration 54 : Vue aérienne de l'ouvrage d'Epfig (68) (Source : IGN)



c - Les passerelles

Prévues pour permettre le franchissement des piétons ou de chemins, ces passerelles peuvent aussi être empruntées par les chauves-souris, à condition toutefois, de ne pas présenter un profil trop ouvert et d'être connectées à des guides paysagers (Bach et al., 2004 dans Halcrow group, 2006).

Afin de renforcer l'utilisation de tels passages, notamment par les rhinolophidés et les murins, il est au minimum préconisé de prévoir des garde-corps occultants de manière à limiter les perturbations de l'éclairage des véhicules.

Évaluation de la fréquentation d'une passerelle pour piétons enjambant l'A33 (Laxou - 54) - Sétra - Association Neomys - 2012

Le suivi réalisé dans la forêt de Haye (54) (massif boisé de 10 000 ha) sur une passerelle piétonne enjambant l'autoroute A33, seule structure sur un linéaire de 3,8 km, a mis en évidence une utilisation régulière de l'ouvrage par les Chiroptères. Ce potentiel pourrait toutefois être amélioré par un aménagement des deux rambardes afin de limiter l'éclairage des phares des véhicules.



Photo 28 : Passerelle pour piétons sur l'A33 (Source : Cerema - Est)

d - Rétablissement agricole ou forestier

Il s'agit d'adapter des aménagements qui, initialement, ont été prévus pour ou en complément d'autres fonctions de façon à les rendre favorables au franchissement des chiroptères. L'objectif est de concevoir ces passages plus larges que nécessaire pour le seul trafic de manière à y implanter, sur un ou les deux côtés et tout au long, une haie buissonnante.

Même si un cordon végétal est mis en œuvre de chaque côté de l'ouvrage, l'installation d'un écran d'occultation d'une hauteur de l'ordre de 3 m (cf. 2.2.2.7.3) des deux côtés reste nécessaire car cette végétation seule ne peut assurer la protection contre l'éclairage des véhicules.

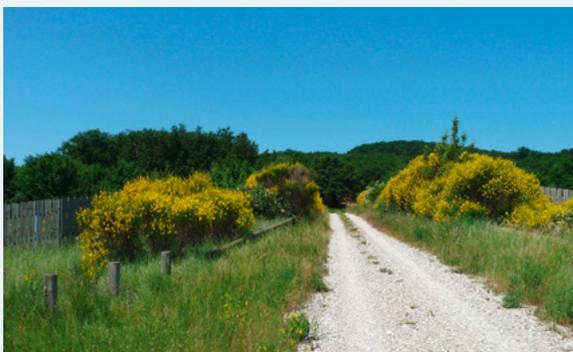


Photo 29 : Aménagement d'un ouvrage supérieur sur la LGV Méditerranée (Source : Julien Girard-Claudon)

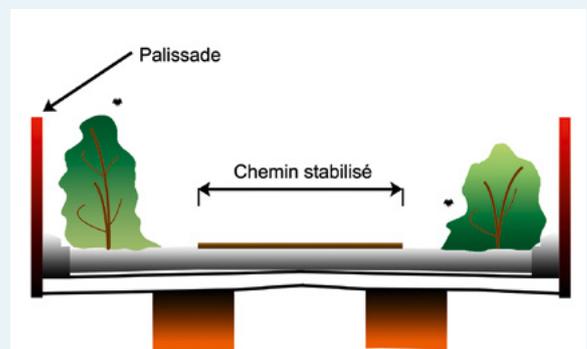


Illustration 55 : Principe d'aménagement d'un passage mixte agricole ou forestier (Source : Cerema - Est)

Les bandes enherbées doivent si possible avoir une largeur minimale de 3 m pour qu'une végétation réellement fonctionnelle puisse s'y développer.



Une étude de la fréquentation des ponts verts, menée en Allemagne par Bach et al. (2010), a montré que la présence d'une route forestière sur les ouvrages ne semblait pas avoir d'effet négatif sur l'activité des chiroptères. Par contre, ils ont pu constater une activité plus élevée :

- en fonction de la taille des passages, les ouvrages les plus larges étant les plus fréquentés ;
- sur les ponts verts présentant des structures denses ou une double rangée de haies plutôt que sur les ponts verts aux buissons dispersés ;
- sur les ponts verts relativement bien connectés à des structures directrices placées sur les deux côtés plutôt que sur les ponts présentant une connexion unique sur un côté, ou sur ceux entourés par la forêt.

Ils ont, par ailleurs, constaté qu'un pont large avec des buissons épars et une connexion non optimale à l'environnement présentait une activité beaucoup plus faible qu'un pont étroit mais bien végétalisé et connecté aux structures extérieures.

Afin d'améliorer l'efficacité du passage, les haies doivent être raccordées aux structures végétales existantes. Lors de la définition des mesures, un plan d'aménagement précis des guides paysagers intégrant la position du rétablissement doit être établi de manière à éviter une interruption des structures guides par le chemin et une perturbation de la fonctionnalité du passage pour les chauves-souris (cf. 2.2.2.7.1 : Structures végétales).

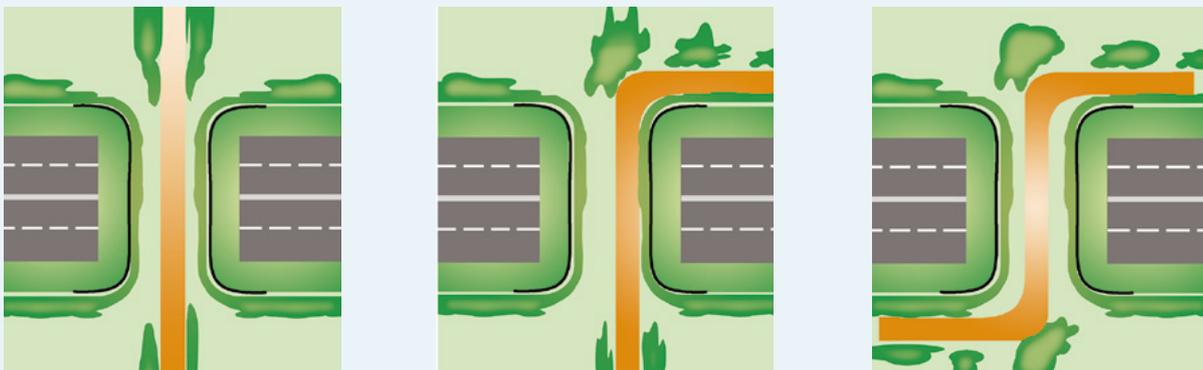


Illustration 56 : Exemples d'aménagement paysager à l'approche d'un ouvrage mixte en fonction de la position du chemin de rétablissement (Source : Cerema - Est)



Illustration 57 : Autoroute A16 (Source : Michel Gombart ©CRDP Amiens)

Passage grande faune spécifiquement potentiellement très favorable mais inscrit au sein d'un espace agricole céréalier qui le rend peu fonctionnel pour les chiroptères car totalement déconnecté des structures boisées annexes.

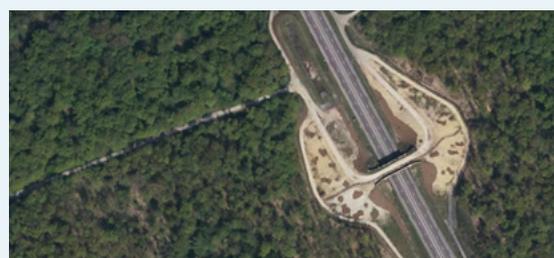


Illustration 58 : RD64 - Luxeuil-les-Bains - Lure (Source : www.geoportail.fr)



Photo 30 : RD64 - Luxeuil-les-Bains - Lure (Source : Cerema - Est)

Les conditions d'aménagement du chemin forestier et l'absence de structure de reconnections aux boisements extérieurs ne favorisent pas la fonctionnalité de l'ouvrage pour les chiroptères.



Lorsque l'aménagement d'une continuité végétale n'est pas envisageable sur le tablier, la mise en œuvre d'écran d'occultation peut, dans une moindre mesure, constituer un guide et favoriser le transit des chauves-souris en particulier si l'ouvrage est connecté aux structures végétales extérieures (cf. grillages, écran, murs). Un ouvrage sans écran, c'est-à-dire seulement équipé d'une rambarde de sécurité, est, en revanche, très peu fonctionnel.

e - Voûte arborée et « Tremplin vert » (Hop Over)

Cette mesure consiste à favoriser le franchissement de l'infrastructure à une hauteur qui soit sans risque pour les espèces. L'objectif est d'inciter l'animal à prendre de la hauteur à l'approche des voies de circulation afin qu'il passe le plus haut possible. Il s'agit de mettre en place, au plus près de l'infrastructure, de grands arbres de telle manière que la canopée des arbres situés de part et d'autre de l'axe de circulation soit jointive.

La priorité devra être portée à la conservation des structures végétales existantes. L'avantage étant de limiter dans un deuxième temps les aménagements généralement plus coûteux consentis pour réduire les impacts.

Ce type de mesures doit toutefois se limiter aux infrastructures étroites (hors LGV) ou en complément de l'aménagement de passages supérieurs légers (cf. ci-dessous). La mise en œuvre de telles mesures, sans dispositif complémentaire sur de larges infrastructures (> 40 m), a peu de chance de fonctionner (notamment pour les murins et les rhinolophidés) car les espèces peuvent assimiler la trouée à un milieu ouvert et changer de comportement (demi-tour, descente au niveau du sol). Sur les infrastructures à grande circulation s'ajoutent par ailleurs des problèmes de sécurité (distance minimale de la végétation arbustive par rapport aux voies).

Certains auteurs proposent également de renforcer l'efficacité du dispositif en intégrant des relais au centre de la chaussée (ex : poteaux). Si de tels dispositifs apparaissent a priori séduisants, ils nécessitent toutefois des mesures spécifiques de protections des véhicules (ex : GBA, glissières).

Études des routes de vol de la colonie de transit de Grand rhinolophe de Vilosnes-Haraumont – CPEPESC Lorraine/Sétra – 2011

Dans le cadre de l'aménagement de la RD 123, l'existence d'une route de vol de Grand rhinolophe coupée par l'infrastructure a conduit au maintien sur 80 m d'une voûte arborée située à 100 m de l'axe initialement utilisé.

Les suivis réalisés après aménagement ont montré que la mesure ne fonctionne pas pour l'espèce visée (d'où l'intérêt de bien positionner de telles mesures). Les résultats montrent cependant une fréquentation du houppier des arbres pour d'autres espèces.



Photo 31 : Voûte arborée maintenue dans le cadre de l'aménagement de la RD 123 (54) (Source : CPEPESC Lorraine)

Afin de favoriser le passage en hauteur, les arbres les plus proches de la voie ne doivent pas présenter un couvert inférieur arbustif et le bord de l'infrastructure doit être équipé d'un grillage (ou écran) de protection suffisamment haut (> 5 m). Par contre, il faut bien veiller à relier ces arbres de haut jet aux structures existantes de manière à obtenir une végétation croissante vers l'infrastructure.

Lorsqu'il s'agit d'un nouvel aménagement, un modelé de terrain (tremplin) peut également favoriser l'élévation du vol.

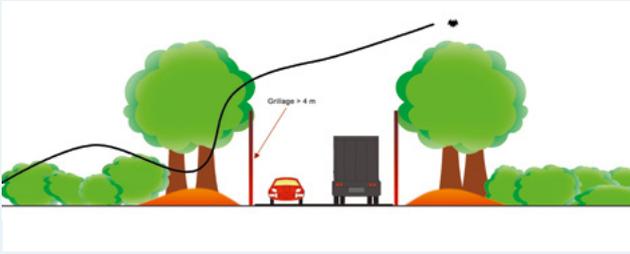


Illustration 59 : Principe du tremplin vert lorsque l'infrastructure est au niveau du terrain naturel (Source : Cerema - Est)

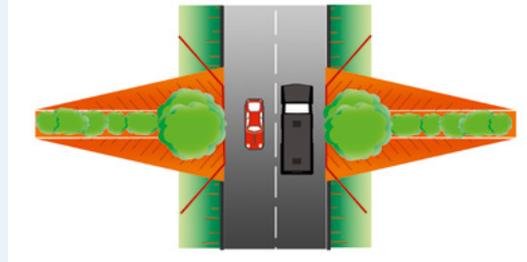


Illustration 60 : Principe du tremplin vert lorsque l'infrastructure est en remblai (Source : Cerema - Est)



Photo 32 : A65 – Tremplin vert conduisant à un passage spécifique (cf. chapitre f - Passages supérieurs « légers ») (Source : Eiffage TP)

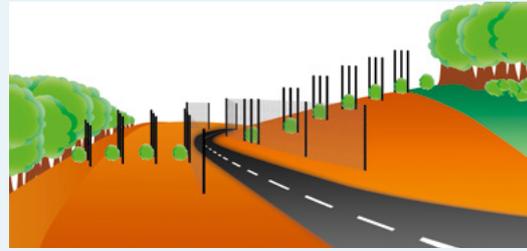


Illustration 61 : Principe de maintien de la structure guide (sur une route bidirectionnelle) avec des poteaux en attendant que la végétation pousse (Source : Cerema - Est)

f - Passages supérieurs « légers » :

Ces passages supérieurs correspondent à des structures guides sur lesquelles les chauves-souris vont s'appuyer pour franchir l'infrastructure. Elles sont généralement réalisées pour rétablir les axes de déplacement interrompus par l'infrastructure et éviter aux espèces d'abaisser leur hauteur de vol au niveau du flux de véhicules. Elles peuvent être constituées de fils ou de filets tendus horizontalement au-dessus de l'infrastructure ou encore d'une structure métallique légère. Bien qu'elles soient moins coûteuses que des ouvrages classiques, ces structures sont spécifiques aux chiroptères et ont le désavantage de ne pas offrir de nouvelles perméabilités pour les autres groupes faunistiques.



Photo 33 : Exemple de structure (fils tendus, grillage) mise en œuvre sur le réseau routier hollandais (Source : A & W Ecologisch onderzoek)

De manière générale, l'efficacité de ces structures a été très peu étudiée et les quelques retours d'expériences sont parfois contradictoires. Il semble cependant que les structures constituées de fils tendus soient, a priori, peu efficaces voire inefficaces (Berthinussen et Altringham, 2012). Il est toutefois possible que dans certaines situations bien particulières et moyennant des améliorations, des dispositifs similaires puissent être envisagés (cf. exemple de la déviation de Troissereux).



**A. Berthinussen & J. Altringham –
2012 – Institute of Integrative and
Comparative Biology, University of
Leeds – United Kingdom**

Dans le nord de l'Angleterre, une étude menée sur 4 portiques (pylônes avec 2 ou 3 fils couvrant la route) situés au droit d'anciennes routes de vol de trois infrastructures, a montré que peu de chauves-souris avaient utilisé ces structures pour traverser les chaussées. Malgré la présence de ces structures, un grand nombre des chauves-souris (de 40 à 94 %) ne se sont pas appuyées sur les guides et ont traversé la route à une hauteur dangereuse (< 5 m).



Photo 34 : Portique type (Source : Altringham)

**Déviation routière de Troissereux (Oise)/ Continuité écologique en phase chantier :
dispositif provisoire de guidage des chiroptères – Egis, en partenariat avec le Conseil Départemental
de l'Oise, Bouygues TP, DTP, Colas Nord Picardie, Biositiv**

Le scénario du projet retenu a nécessité la traversée en déblais d'un massif forestier constituant un corridor de déplacement de grande importance pour les chiroptères à proximité du site Natura 2000 des « Coteaux crayeux du Bassin de l'Oise aval (Beauvais) ». Au vu des enjeux, le Conseil Départemental de l'Oise, maître d'ouvrage de l'opération, a fait le choix, à ce niveau, de rétablir la transparence écologique par la création d'une tranchée couverte. Dans le cadre de cette opération et suite à la demande du CNPN, le groupement concepteur constructeur a mis en œuvre dans la continuité de l'axe de déplacement provisoirement interrompu, un dispositif visant à maintenir les continuités au-dessus de la tranchée en phase chantier.



Photo 35 : Dispositif de guidage installé au droit de la coupure forestière (Source : Hipollyte Pouchelle/Egis)

Ce dispositif, constitué de 2 cordes tendues l'une au-dessus de l'autre, est équipé d'une succession de boules en polystyrène taillées pour constituer des microreliefs de manière à augmenter leur détectabilité par les chauves-souris.

Afin d'évaluer l'efficacité de la mesure, des suivis ont été effectués durant la phase chantier (une fois les terrassements réalisés) avant et après la mise en place du système.

D'après Egis en charge des suivis, bien que la durée de ceux-ci ait été relativement courte (2 soirées d'écoutes et d'observation avant et 4 soirées après installation), les premiers résultats semblent montrer :

- qu'avant son installation, la coupure par le déblai du corridor boisé semblait constituer une trouée réhibitoire pour les chauves-souris ;
- qu'une fois installé, le dispositif a permis de rétablir rapidement la fonctionnalité pour le transit des chiroptères (pipistrelles, oreillards, grand murins).

Les structures réalisées avec des filets tendus semblent cependant un peu plus efficaces mais la section recouverte de l'infrastructure doit alors être assez large.



**Aménagement de l'autoroute A7 en Espagne - IV Journée de la SECEMU -
M.A. Monsalve, Almenar, Sancho, Alcocer, Ruiz et Garcia - 2012**

En Espagne dans le cadre de l'aménagement de l'autoroute A7 (mise en service en octobre 2011), la présence d'une cavité (l'une des trois plus importantes pour la Province de Valence) à proximité du projet d'infrastructure a conduit à la réalisation de 3 ouvrages supérieurs, à l'aménagement d'un tunnel (gabarit et suppression de l'éclairage) et d'autres ouvrages (modification de la végétation et de l'éclairage) et à la mise en place, sur la section la plus proche de la cavité, d'un grand filet en nylon surplombant l'ensemble de l'infrastructure (7 m de haut).



Photo 37 : Vue aérienne de la section aménagée (Source : Alejandro Enebral Fernandez - FERROVIAL-AGROMAN)

Les suivis réalisés sur ces ouvrages (écoute par ultrasons, suivi du comportement face aux ouvrages par caméra infrarouge) ont permis de démontrer :

- une adaptation des espèces aux nouveaux ouvrages ;
- une réelle efficacité du tunnel, d'une buse et du viaduc en fonction des espèces ;
- une efficacité moindre pour les passages supérieurs, mais en partie due à l'absence de végétalisation du tablier et de connexions aux structures paysagères ;
- une probable efficacité du grillage même si des suivis supplémentaires s'avèrent nécessaires pour s'assurer de son efficacité. Il n'est toutefois pas exclu que ces structures agissent comme un piège pour les espèces y pénétrant (4 cadavres retrouvés à l'intérieur).



Photo 38 : Dispositif de filet anti-collision (Source : CADEC, Taller de Gestión Ambiental S.L.)

Depuis 2003, sur ce site, la population de chauves-souris est stable.

**Fonctionnalité des passerelles pour les chiroptères construites au-dessus de la voie rapide S-3 en Pologne -
Czerniak, Miller, Grajewski, Okonski, Okonski Marcin Podkowka, 2013**

Dans le cadre du projet d'aménagement d'une section de la voie express S3 (infrastructure située à l'extrémité Ouest de la Pologne et reliant à terme la mer Baltique à la frontière avec la république Tchèque), trois portiques, équipés de filets, ont été installés en 2011 pour assurer le guidage et le franchissement sécurisé des chauves souris (notamment la Barbastelle et le Grand murin). Ces portiques, larges de 3,5 m et de 9 m de haut, traversent l'infrastructure sur une cinquantaine de mètres. Ils ont, en outre, été associés à un système de guidage avec des plantations d'arbres depuis les habitats forestiers traversés.

Des suivis ont été effectués sur ces portiques et les résultats semblaient à priori positifs. La méthodologie utilisée ne permet cependant pas de fournir un retour fiable sur l'efficacité de ces structures.

Un suivi plus strict mené pendant 3 ans sur 3 portiques semblables de Pologne (autoroute A2) semble d'ailleurs montrer que ces derniers ne fonctionnent pas (comm. pers. J. Cichocki, 2015).



Photo 36 : Passerelle pour chiroptères (Source : Cerema - Est)



Les structures métalliques constituent, quant à elles, encore des prototypes dont l'efficacité n'est pas encore totalement prouvée. En France, seuls deux projets viennent d'aboutir. Le premier sur l'autoroute A65 (une passerelle) appartenant au réseau Aliénor et le second sur l'autoroute A89 (deux passerelles) sur le réseau ASF de Vinci Autoroutes (département de la Loire).

Si ces structures apparaissent relativement simples dans leur conception, elles constituent de véritables ouvrages d'art exposés à des contraintes non négligeables : conditions climatiques (vent, neige), sécurité, accessibilité, entretien, etc.

Elles ont, toutes les deux été conçues pour le rétablissement des routes de vol existantes (rhinolopes, barbastele). L'objectif était ainsi de concevoir une structure guide rattachée à des corridors de vol, facile à mettre en œuvre et constituant un couloir protégé contre l'éclairage des véhicules.

Passerelle à chiroptères de l'autoroute A65



Photos 39 (Source : Aliénor/Eiffage TP) et 40 (Source : E. Cosson/ Groupe Chiroptères de Provence) : Ouvrage de l'autoroute A65 (Pau-Langon)

Cet ouvrage en mécano-soudé est long d'environ 50 m et large de 3 m. Le rétablissement comprend :

- deux rampes d'envol (Hop-over) ;
- une passerelle de 3 m de large surplombant les chaussées et équipée d'écran anti-éblouissement ;
- un aménagement paysager pour guider les espèces ;
- un système de grillage au niveau de l'entrée de la passerelle (cf. photo 40) pour favoriser le passage des individus dans l'ouvrage ;
- une distance anti-intrusion (espace libre) d'environ 3 m entre les extrémités de la passerelle et les rampes d'envol.

Les suivis actuels ont montré que bien que les trajectoires relevées empruntent peu l'intérieur de l'ouvrage, celles-ci apparaissent nombreuses autour de celui-ci, en trajectoire directe le long des parois et plus majoritairement au-dessus de l'ouvrage. Il semble ainsi que l'ouvrage joue son rôle comme structure guide.

Les comportements d'évitement du tunnel métallique semblent quant à eux probablement liés à la présence de caillebotis au sol qui ne masque pas les phares des véhicules et surtout à la perception acoustique de l'ouvrage par les chiroptères. La structure métallique lisse des parois parallèles de l'ouvrage semble en effet renvoyer une image acoustique défavorable et peu détectable pour les chauves-souris. Cette difficulté d'appréciation de la structure pourrait ainsi limiter leur entrée dans l'ouvrage. La mise en place d'une surface de parois plus favorable (structure rugueuse cassant le signal et le renvoyant dans toutes les directions contrairement à une surface lisse parallèle au déplacement des chiroptères) pourrait peut-être permettre d'améliorer facilement l'efficacité de la structure qui présente, par ailleurs, une conception *a priori* très favorable.



Illustration 62 : Représentation de quelques trajectoires (obtenues par trajectographie annexe 6 - 1.5) insérées dans le modèle 3D élaboré de l'ouvrage et de son contexte (Source : EGIS/CYBERIO, 2014)



Passerelle à chiroptères de l'autoroute A89

Sur deux couloirs de vol identifiés dans la Loire, deux passerelles spécifiques ont été installées au-dessus de l'autoroute A89, en lien avec les structures paysagères attenantes.

Les ouvrages sont composés d'une structure en forme de berceau avec une partie horizontale en tôle continue formant un corridor. Chaque ouvrage est long de 40 m, large de 5 m et pèse 40 tonnes.

Les premiers suivis réalisés en 2014 par caméra thermique montrent une utilisation des deux ouvrages par les chiroptères et plus particulièrement par les pipistrelles. Une partie des individus observés utilisent les ouvrages en longeant la structure à l'extérieur mais la plupart empruntent le demi-cylindre.

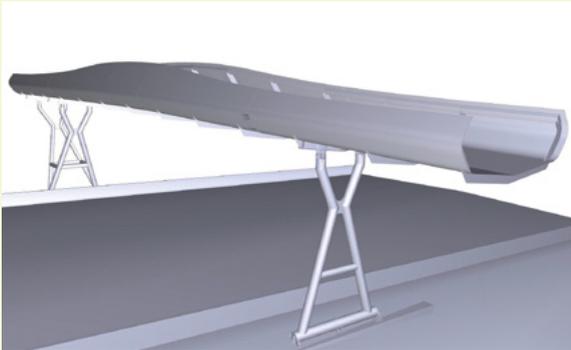


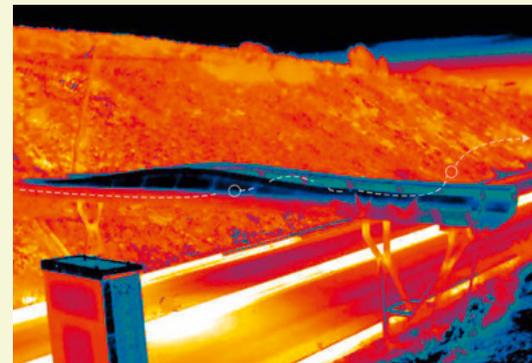
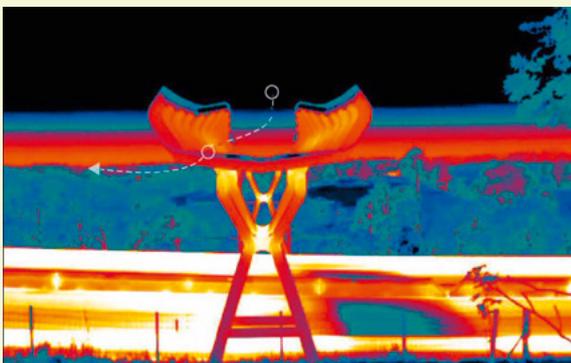
Illustration 63 : Modélisation de la passerelle à chiroptères de l'autoroute A89 Tour de Salvigny - Balbigny (Rhône Alpes) (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF - Baudin Châteauneuf - Kristen, 2012)



Photo 41 : passerelle à chiroptères de l'autoroute A89 Tour de Salvigny - Balbigny (Rhône Alpes) (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF - Baudin Châteauneuf - Kristen, 2012)

Types de passages	Types d'observations	Août 2014		Septembre 2014	
		Chiroduc de Millonnais	Chiroduc de Moulin Paris	Chiroduc de Millonnais	Chiroduc de Moulin Paris
Passages réussis	Traversée de l'A89 par l'intérieur du chiroduc	0	11	0	8
	Traversée de l'A89 par l'extérieur du chiroduc en le suivant	0	2	1	6
	Traversée de l'A89 sans suivi du chiroduc, en hauteur ou en diagonale	3	4	0	0
Passages avortés	Début de traversée puis demi-tour de l'individu	0	0	1	0
Absence de passage	Absence de traversée (chasse et/ou transit dans le champ de vision de la caméra)	16	14	2	37
Nb total d'observations de Chiroptères via la caméra thermique		19	31	4	51

Tableau 9 : Résultats des suivis 2014



Illustrations 64 et 65 : Trajectoire de vol d'individus passant dans (à gauche) et à côté (à droite) d'un des ouvrages en place sur l'A89 (les pointillés symbolisent la trajectoire globalement suivie tandis que les cercles marquent l'individu apparaissant et disparaissant de l'image) (Source : ASF/FRAPNA/NATURALIA 2015)



Dans certaines situations, les équipements comme les portiques de panneaux autoroutiers d'information (non lumineux) peuvent également être utilisés comme structures guides. Dans ce cas, il faut un panneau dans chaque sens de circulation et que ces deux panneaux soient alignés.

Bien qu'ils n'aient jamais fait l'objet d'aménagement, ces équipements pourraient éventuellement être placés à un endroit optimum et modifiés pour qu'ils soient rendus plus favorables pour le passage des chiroptères.

- **Les passages inférieurs**

- a - **Les viaducs**

En général, les viaducs sont particulièrement intéressants car ils sont réalisés pour le franchissement des vallées qui constituent bien souvent des axes de déplacement privilégiés et des terrains de chasse de premier ordre. Ils ont par ailleurs l'avantage d'être de grande largeur et d'une hauteur habituellement suffisamment grande pour préserver la majorité des habitats présents sous l'ouvrage sans supprimer les continuités écologiques.



Photo 42 : Viaduc de l'Ourcq sur la LGV Est Européenne (Source : RFF / LOGEROT D.)

La fonctionnalité de ces ouvrages pour les chiroptères n'est toutefois optimale que lorsqu'ils surplombent nettement la cime des arbres et évitent ainsi les zones de conflits avec les espèces chassant ou se déplaçant le long de la canopée. Dans le cas contraire des structures anti-collision sont à prévoir (clôtures, écran).



Exemple schématique d'une configuration défavorable aux chiroptères lorsque la cime des arbres se situe à la hauteur du tablier du viaduc (Source : Cerema - Est)



Photos 43 et 44 : LGV Est européenne - Viaducs de Jaulny (à gauche) et de la vallée de l'Aire (à droite) sous lesquels la végétation a été maintenue et dont les suivis effectués de 2006 à 2010 ont permis de constater le passage d'une dizaine d'espèces de chiroptères (Source : RFF/OGÉ/Néomys - 2010)



Les versants des vallons et vallées étant souvent arborés, il arrive parfois que les culées des ouvrages soient construites au point d'intersection entre ces cordons de végétation et l'infrastructure, constituant alors, potentiellement, des points noirs de collision. Des aménagements visant à détourner les routes de vol doivent dans ce cas être mis en œuvre au droit de ces culées (abattage des arbres proches, écran, végétation guide).

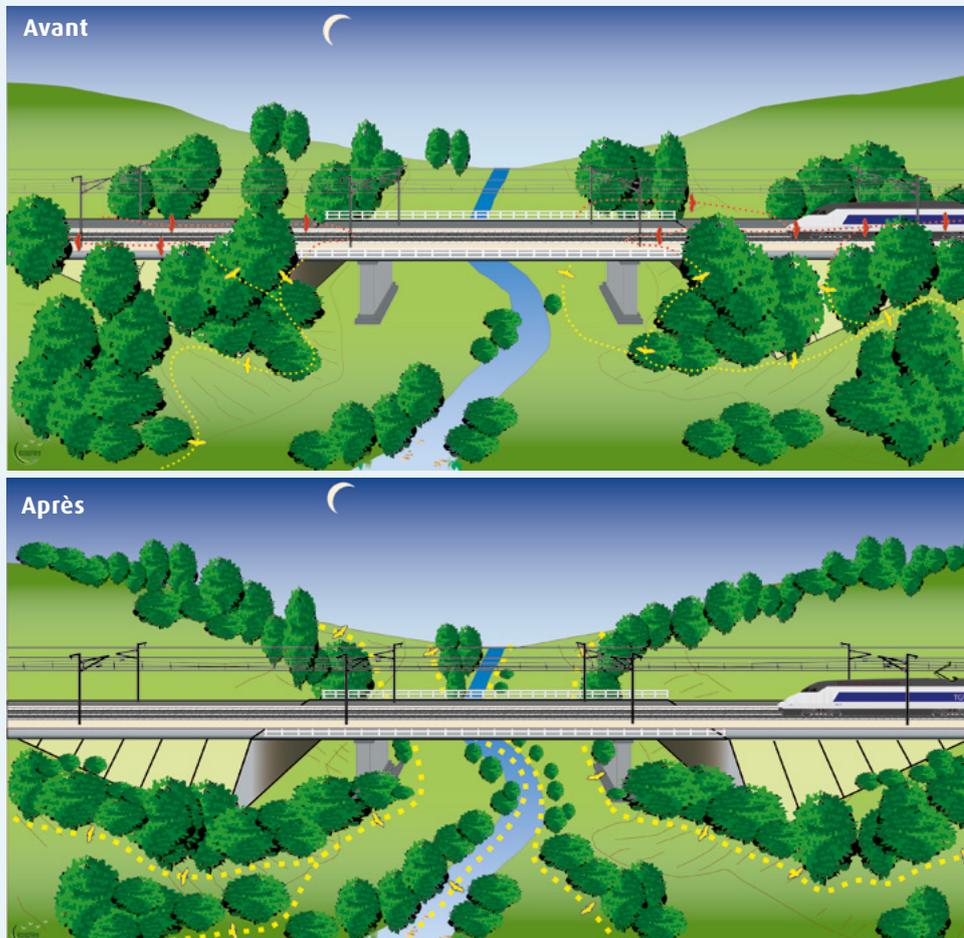


Illustration 66 : Mise en place d'une structure de la végétation favorable aux Chiroptères aux abords d'un viaduc (Source : Écosphère)

b - Les autres passages inférieurs

Ces ouvrages sont réalisés lorsque l'infrastructure est en remblai. Bien que la plupart des espèces empruntent les passages inférieurs (surtout les espèces volant à basse ou moyenne altitude), même parfois très étroits, un constat est récurrent : plus les dimensions du passage sont importantes, plus il sera utilisé par les chauves-souris. Un minimum de 4,5 m de haut par 4-6 m de large est conseillé pour que toutes les espèces puissent passer (Bickmore et Wyatt, 2003 ; Highways Agency, 2006 ; Biotope, 2011). Il semble toutefois que la hauteur de l'ouvrage soit un facteur plus déterminant que la largeur (Berthinussen et Altringham, 2015).



Photo 45 : LGV Est européenne - Passage Grande faune du Bois de Vigneule (Source : M. Gaillard - Néomys)

La réalisation d'un passage de grande dimension doit cependant être réservée aux sites à enjeux les plus élevés (axe de déplacement privilégié, rétablissement d'une série de routes de vol, espèces nombreuses ou espèces à haute valeur patrimoniale) ou encore en complément d'autres fonctions. Lorsque les enjeux sont moindres, des buses, moins onéreuses et de mise en œuvre plus facile, sont à envisager. Dans ce cas, selon les espèces et l'abondance des individus, un diamètre de 2 à 4 m est recommandé avec un optimum de 3 m (National Roads Authority, 2005 ; CEN PACA, 2011) (cf. tableau 10).



Les suivis réalisés dans une buse métallique de l'autoroute A8 ont permis d'enregistrer 593 contacts sur 6 nuits correspondant au passage de murins, de petits et grands rhinolophes - Autoroute A8 (Le-Muy – Roquebrune) – CREN Provence Alpes Côte d'Azur/Sétra – 2011.

Photo 46 : Buse métallique de diamètre 2 m
(Source : Cerema - Est)



Synthèse des données internes au bureau d'études Biotope – Biotope/Sétra – 2011

La réalisation d'une synthèse des données collectées sur plus de 85 passages souterrains suivis par la Société BIOTOPE a montré que :

- les rhinolophes peuvent fréquenter des ouvrages de petite taille (1 m). L'activité atteint son maximum pour des hauteurs supérieures à 3 m ;
- les pipistrelles ne passent pas dans les ouvrages inférieurs à 3 m de haut et le maximum de fréquentation est atteint pour 6 m de haut et 40 m de large ;
- les murins empruntent peu les ouvrages de hauteur inférieure à 2 m et la fréquentation atteint un maximum pour des hauteurs supérieures à 5 m.



Illustration 67 : Localisation des passages suivis par le bureau d'études Biotope dans le cadre de ses études
(Source : Biotope, 2009, 2010)

Suivi d'ouvrages de franchissement pour la faune sur l'Autoroute A89 (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF/OGÉ – 2012)



Illustration 68 : Localisation de la buse



Photo 47 : Buse de diamètre 2,20 m



Photo 48 : Chiroptère empruntant l'ouvrage

Le suivi, effectué pendant un an sur une buse de 2,20 m de diamètre de l'autoroute A89 (buse datant de 2007, date d'ouverture de l'autoroute), a montré que sur 111 passages d'animaux observés, 18 appartenaient à des chauves-souris (essentiellement des oreillards).

Il s'agit ici probablement d'un minimum car certaines espèces sont trop petites et/ou trop rapides pour déclencher les appareils de suivis mis en place.



Ces ouvrages peuvent être spécifiques mais leur association à un rétablissement agricole ou forestier ne limite pas leur efficacité si la circulation de nuit est nulle ou très faible. Logiquement, de nombreuses espèces de chiroptères étant cavernicoles, la longueur des ouvrages n'apparaît pas comme une contrainte.

Pour garantir une bonne intégration et efficacité du passage dans les ouvrages inférieurs et ainsi éviter le franchissement de l'infrastructure à hauteur du trafic, il est conseillé :

- d'équiper l'ouvrage d'un écran opaque de protection visuelle pour éviter les perturbations des phares des véhicules en mouvement ;



Photo 49 : Ouvrage inférieur de l'autoroute A88 équipé d'un écran d'occultation (Source : Groupe mammologique Normand)

- de le connecter aux structures boisées extérieures ;



Photo 50 : Cordon de végétation connecté à l'ouvrage passant sous l'autoroute A35 (Source : Cerema - Est)

- de favoriser l'utilisation du passage en diminuant progressivement la hauteur du boisement à l'approche de son entrée (attention un entretien régulier est alors à prévoir avec son coût inhérent). Les chiroptères qui suivent la frondaison de la végétation auront, alors, tendance à diminuer leur hauteur de vol et passer dans l'ouvrage (les espèces volant au ras du sol continueront à voler en rase-mottes) ;

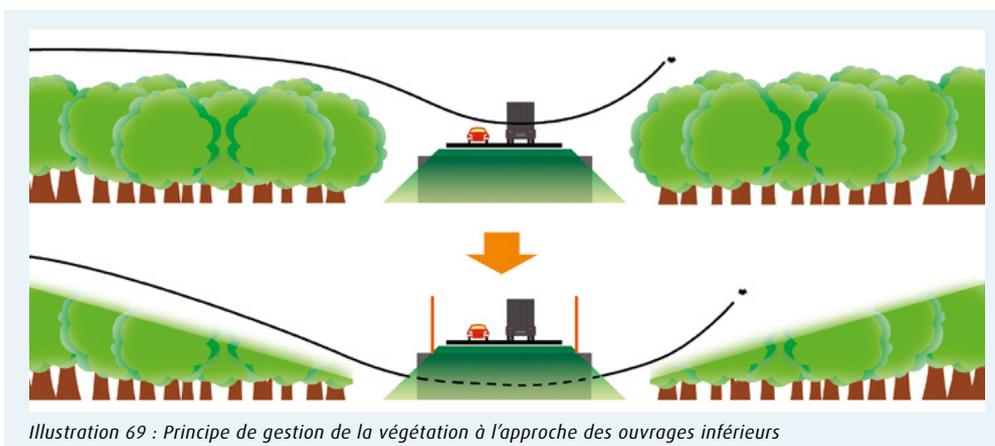


Illustration 69 : Principe de gestion de la végétation à l'approche des ouvrages inférieurs



- d'éviter l'éclairage de l'ouvrage afin de ne pas décourager les chauves-souris et les détourner vers une route de vol plus sombre mais plus dangereuse (Limpens et al, 2005 ; Keeley, 2005 ; Halcrow group, 2005 ; National Roads Authority, 2005).

Dans le cadre du suivi des passages inférieurs de l'Autoroute A50 (2011) sur la commune d'Ollioules, l'équipement de l'ouvrage d'une caméra thermique ainsi que la présence d'un opérateur au droit de l'ouvrage ont montré que, contrairement aux autres passages, l'ouvrage éclairé n'était pas utilisé par les chauves-souris.

Photo 51 : Passage inférieur suivi par caméra thermique (Source : Géraldine Kapfer - Groupe Chiroptères de Provence)



D'autres facteurs peuvent également jouer un rôle sur l'efficacité du passage pour les chiroptères :

- une végétation trop importante à l'entrée d'un passage sans couloir échappatoire pour les animaux peut réduire sensiblement sa fonctionnalité (Barbotte, 2010) ;
- la présence d'eau dans l'ouvrage constitue, par contre, un élément attractif supplémentaire pour la plupart des espèces (murins, Pipistrelle commune, Pipistrelle pygmée, etc.), car elle représente, outre sa fonction de corridor de déplacement, un milieu de chasse intéressant (Barbotte, 2010).

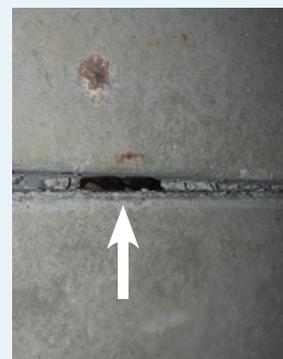
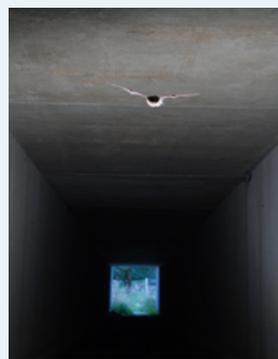


Photo 52 : Entrée d'une buse obstruée par la végétation (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)



Photo 53 : Passage souterrain A71/La Loubière (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)

Pour l'aménagement de petits passages inférieurs (buse, dalot, etc.), il est préconisé, quand cela est possible, de laisser ou créer des disjointoiements de 2 à 3 cm de large entre les éléments préfabriqués. Ces disjointoiements constituent en effet de petites chambres idéales pour les chauves-souris (cf. 3.1.6.).



Photos 54, 55, 56 : Exemple d'un ouvrage utilisé par les chauves-souris pour franchir l'infrastructure (Rocade de Bourges) en période estivale et utilisé par d'autres espèces pour hiberner. (Photo du milieu : Murin de Daubenton, photo de droite : pipistrelles) (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)



Espèce	Dispositif	Commentaires	
Petit rhinolophe <i>Rhinolophus hipposideros</i> Grand rhinolophe <i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • espèce susceptible d'utiliser des ouvrages de 1x2 m mais la fréquentation devient maximale à partir de 3 m de haut • raccordement de l'ouvrage à des guides paysagers indispensables 	Petites à grandes espèces qui chassent près de la végétation et des structures linéaires. La route de vol est facilitée par la végétation	
Murin de Natterer <i>Myotis nattereri</i>	<ul style="list-style-type: none"> • pour les ouvrages hydrauliques, les petites sections peuvent être utilisées (hauteur de l'ouvrage 1,5 m au-dessus du niveau moyen de l'eau, largeur 2-3 m) • les ouvrages terrestres doivent être nettement plus grands (hauteur 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion avec des guides paysagers indispensable 		
Murin à oreilles échancrées <i>Myotis emarginatus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • utilise les ouvrages de grandes dimensions : hauteur 4,5 m, largeur 6 m ou hauteur de 3 m lorsque la largeur est > 10 m • connexion indispensable avec des guides paysagers 		
Murin de Bechstein <i>Myotis bechsteini</i>	<ul style="list-style-type: none"> • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion indispensable avec des guides paysagers 		
Oreillard roux <i>Plecotus auritus</i> Oreillard gris <i>Plecotus austriacus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) • pour les ouvrages hydrauliques, dimensions légèrement plus petites également envisageables • connexion indispensable avec les guides paysagers 		
Barbastelle <i>Barbastella barbastellus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion indispensable avec les guides paysagers 		Petites à grandes espèces qui chassent le long des bordures et qui suivent les structures
Murin de Brandt <i>Myotis brandtii</i>	<ul style="list-style-type: none"> • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion indispensable avec des guides paysagers 		
Murin à moustaches <i>Myotis mystacinus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • pour les ouvrages hydrauliques, les petites sections peuvent être utilisées (hauteur de l'ouvrage 1,5-2 m de tirant d'air, largeur 3-6 m) • pour les autres ouvrages une dimension plus grande est préconisée (hauteur 4,5 m, largeur 4-6 m) • connexion indispensable avec des guides paysagers 		
Murin des marais <i>Myotis dasycneme</i>	<ul style="list-style-type: none"> • pour le franchissement d'un cours d'eau utilisé comme axe de déplacement, des petits ouvrages sont utilisés (hauteur de l'ouvrage 1 m, largeur 2 m) • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion absolument indispensable avec des guides paysagers (ouvrages inférieurs et supérieurs) 		Petites à grandes espèces qui chassent au-dessus de l'eau et qui suivent les structures
Murin de Daubenton <i>Myotis daubentonii</i>	<ul style="list-style-type: none"> • pour les ouvrages hydrauliques, les ouvrages d'une section relativement faible peuvent être utilisés : buses de 2 m minimum de diamètre ou ouvrage de 1 à 1,5 m de tirant d'air et 1,5 à 2 m de largeur • pour les autres ouvrages une dimension plus grande est nécessaire (hauteur 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion avec les guides paysagers importante pour les ouvrages inférieurs et supérieurs 		



Espèce	Dispositif	Commentaires
Grand murin <i>Myotis myotis</i> Petit murin <i>Myotis blythi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) • connexion indispensable avec les guides paysagers 	Grande espèce qui chasse surtout en milieu forestier, qui suit les structures, mais traverse également les milieux ouverts
Minioptère de Schreibers	<ul style="list-style-type: none"> • connexion indispensable avec les guides paysagers • utilise les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4-5 m, largeur 4-6 m) 	Espèce se déplaçant le long des structures du paysage mais tout à fait capable de survoler des zones de grandes cultures
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i> Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i> Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i> Sérotine de Nilsson <i>Eptesicus nilssonii</i> Vespertilion bicolor <i>Vespertilio Murinus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • survol des infrastructures à grande altitude • les ouvrages de grandes dimensions (hauteur de l'ouvrage 4,5 m, largeur 4-6 m) ne constituent qu'une mesure complémentaire possible et ne sont nécessaires que dans certains cas particuliers (ex : infrastructure située au voisinage des gîtes). 	Petites à grandes espèces qui chassent dans les milieux semi-ouverts à ouverts et qui suivent parfois les structures
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i> Pipistrelle pygmée <i>Pipistrellus pygmaeus</i> Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i> Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	<ul style="list-style-type: none"> • espèces qui survolent les infrastructures • empruntent les ouvrages de façon non systématiques et uniquement lorsqu'ils présentent des caractéristiques suffisantes (hauteur de l'ouvrage 4,5 m, largeur 4-6 m) • pour les ouvrages hydrauliques, dimensions légèrement plus petites également envisageables 	Petites à grandes espèces qui chassent le long des structures entourées de milieux semi-ouverts et qui suivent les structures

Tableau 10 : Indications utiles sur les dimensions des ouvrages pour chaque espèce de chauves-souris (Source : Limpens et al., 2005, Hintermann et al., 2012, Lugon, 1999)

2.2.2.7 - Connexion sécurisée entre les habitats

La plupart des espèces de chiroptères ayant tendance à suivre les structures du paysage pour se déplacer et notamment les éléments linéaires, l'objectif est de maintenir ou de créer de nouveaux corridors, pour assurer le lien entre les habitats situés de part et d'autre de l'infrastructure.

Ces dispositions s'appliquent en particulier aux espèces dont la portée des émissions d'ultrasons est faible comme les rhinolophidés ou les murins. D'autres espèces comme les noctules, les sérotines, sont moins concernées car elles volent relativement haut dans le ciel sans nécessairement s'aider des structures de la végétation.

2.2.2.7.1 - Structures végétales

En premier lieu, il est nécessaire de préserver au maximum les corridors en présence, de les renforcer, voire d'en reconstituer certains, afin de guider les espèces vers des passages sécurisés.



LGV Rhin-Rhône - Pont-rail de la Vèze - RFF

La préservation de la ripisylve a été intégrée au Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) et au marché de construction de l'ouvrage. L'entreprise n'a supprimé que quelques éléments indispensables au déroulement du chantier.

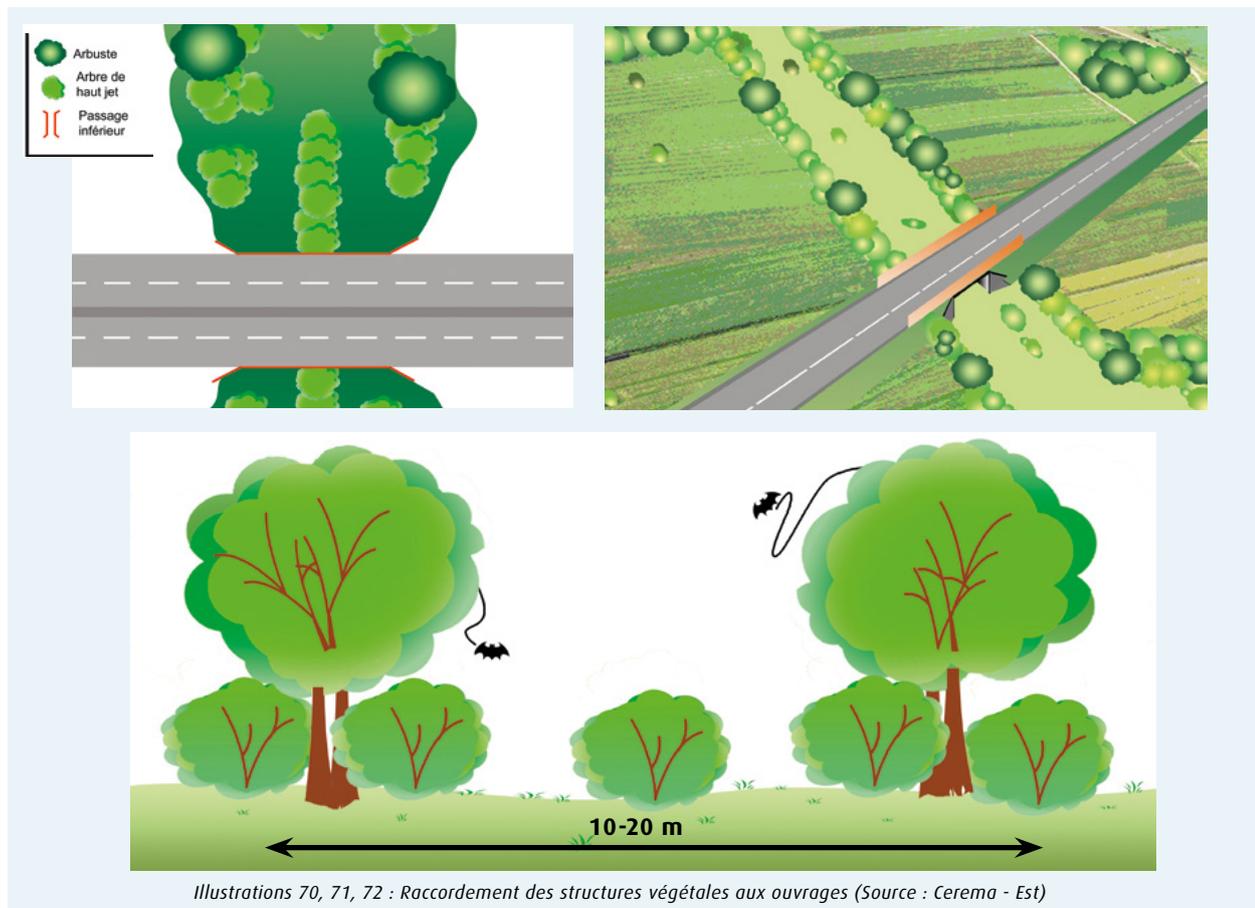
Photo 57 : Ouvrage de la Vèze, commune de Vitreux dans le Jura (Source : RFF)



Pour concevoir un plan d'aménagement paysager cohérent, il est nécessaire d'élargir l'échelle de réflexion et ne pas se limiter aux seules emprises. C'est la principale difficulté pour la maîtrise d'ouvrage car les possibilités d'interventions, hors emprises, sont généralement très limitées.

Des possibilités existent toutefois, soit en intervenant directement auprès des propriétaires pour s'assurer qu'ils conservent ces espaces (conventionnement), soit en s'assurant la maîtrise foncière des corridors les plus importants.

Les plantations de haies sont le plus souvent utilisées pour reconstituer les guides paysagers car elles sont relativement simples à mettre en œuvre et peu coûteuses. Elles doivent cependant être les plus denses et les moins interrompues possible tout en constituant un large corridor végétal. Lorsqu'il s'agit de nouvelles structures rattachées aux éléments existants du paysage, une largeur d'une dizaine de mètres est recommandée. La végétation doit être constituée de plantes de différentes hauteurs de manière à constituer un véritable corridor végétal à plusieurs strates (ex : une haie vive et dense constituée d'essences locales adaptées au sein de laquelle un arbre est planté tous les 10 m).



Réhabilitation d'un cours d'eau et création d'une bande arborée de 10 m de large menant à un ouvrage - Achilz - Autoroute allemande A17



Photo 58 : Réhabilitation d'un cours d'eau - Phase travaux (Source : Gabriele Hintemann/Plan T)



Photo 59 : Réhabilitation d'un cours d'eau - 4 ans après la réhabilitation (Source : Martin Biedermann/NACHTaktiv & SWILD)



Photo 60 : Réhabilitation d'un cours d'eau - 10 ans après la fin du chantier (Source : Martin Biedermann/NACHTaktiv & SWILD)



Lorsqu'elles sont suffisamment larges, bien conçues et correctement reliées au maillage paysager, les bandes arborées sont rapidement acceptées et utilisées par les espèces, à la fois comme route de vol et comme milieu de chasse. L'utilisation d'essences locales mellifères favorisera d'ailleurs la présence des insectes et des chauves-souris. Enfin, la connexion et jonction de ces structures à l'entrée des ouvrages inférieurs ou en continu sur les ouvrages supérieurs sont une condition indispensable à leur efficacité.



Photo 61 : Tablier végétalisé permettant une bonne connexion entre les habitats situés de part et d'autre de l'ouvrage supérieur (RN57 - Lorraine) (Source : Cerema - Est)

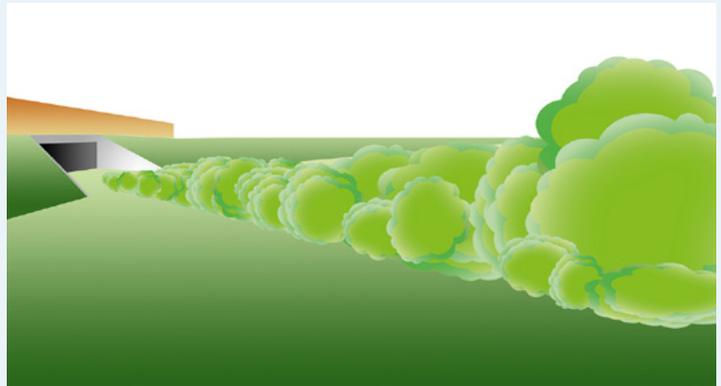


Illustration 73 : Connexion de la végétation à la tête de l'ouvrage inférieur (Source : Cerema - Est)

Même si potentiellement les routes de vol peuvent être légèrement déviées vers les ouvrages de franchissement, il est préférable de positionner ces derniers au droit des anciennes routes de vol.

Dans le cas contraire, le détournement doit être le plus faible possible, car même si cette mesure peut s'avérer relativement efficace, certaines espèces ne changeront pas leurs habitudes et traverseront toujours sur l'ancien tracé au risque de se faire percuter. Dans tous les cas, plus les ouvrages de franchissements sont proches des axes de vols initiaux, plus ils seront rapidement utilisés.



- | | |
|---|--|
|  Corridor à recréer ou renforcer |  Passage supérieur |
|  Corridor à supprimer |  Ancienne route de vol interrompue par l'infrastructure |

Illustration 74 : Principe visant à dévier les routes initiales de vol et renforcer les structures existantes (Source : Cerema - Est sur Orthophotoplan IGN)



Pour dévier une route de vol, plutôt que de supprimer la haie existante et de créer un corridor par des jeunes plants plus loin qui mettront quelques années avant d'être efficaces, il est également possible de déplacer les haies existantes. Dans ce cas, la démarche nécessite :

- d'élaguer préalablement la haie en place ;
- de creuser une fosse devant la haie à déplacer pour pouvoir faire le prélèvement ;
- de creuser une dépression de 50-60 cm de profondeur sur 3 à 4 m de large sur le site de transfert ;
- de prélever la haie et du sol (40 à 60 cm de hauteur) avec un chargeur à godet plat renforcé permettant au moins le déplacement de la végétation sur 2 m de largeur de haie ;
- et enfin le déplacement et la réimplantation de la haie avec finition par ruissellement / terrassement des bords de fouilles.

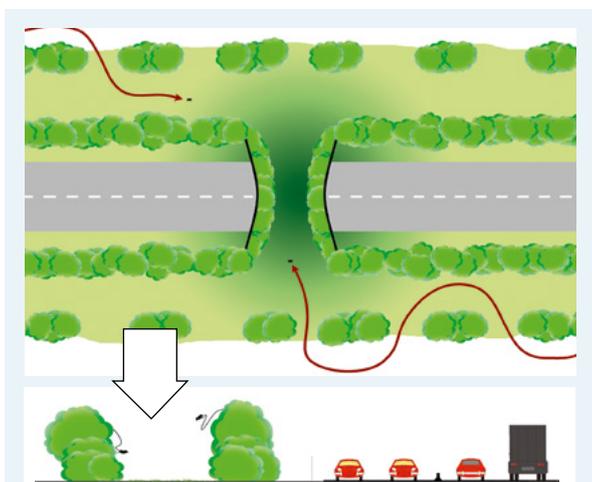


Photo 62 : Transplantation de haie (Source : J. Aubineau - ONCFS)

L'utilisation des haies comme dispositif de guidage est parfois préconisée le long des emprises. Dans ce cas, ces plantations doivent être :

- continues et denses à leur base pour éviter que les chauves-souris quittent la structure en empruntant les trouées et se dirigent vers l'infrastructure. Des études ont montré que 20 % des individus ont tendance à utiliser ces trouées (dans Arthur et Lemaire, 2009) ;
- éloignées d'un minimum de 20 m par rapport à l'infrastructure (du bord de chaussée) ;
- constituées dans la mesure du possible d'essences non attractives pour les insectes côté chaussée. Ceci veut également dire que le talus ne doit pas être planté afin de ne pas attirer les chauves-souris aux abords de l'infrastructure ;
- raccordées aux ouvrages de franchissement.

Une structure constituée d'une double haie renforcera l'efficacité de ce guide parallèle (Arthur et Lemaire, 1999). La première haie discontinue sert à concentrer les chauves-souris dans l'allée et la deuxième haie continue est utilisée comme barrière les dissuadant de traverser (cf. dessin ci-après).



Illustrations 75 et 76 : Principe d'aménagement d'une double haie (Source : Séttra / Cerema - Est)



Photo 63 : Plantation, jusqu'à l'ouvrage, d'une double haie de guidage le long de l'autoroute A65 (Source : A Liénor/Eiffage)



Pour être efficace, une haie plantée, destinée à devenir un guide paysager (10 à 12 m de haut), met, au minimum, cinq à dix ans avant de constituer un véritable guide et jouer son rôle. Les structures végétales doivent donc être plantées le plus tôt possible et éventuellement être complétées par d'autres dispositifs de guidage (cf. 2.2.2.7.3).



Photo 64 : Écopont de l'autoroute A7 – 2012 (Source : LPO Drôme / Vinci Autoroutes/réseau ASF)



Photo 65 : Aménagement d'un passage mixte sur la RN17 (Source : DIR Nord)

Le choix des arbres et des arbustes (autochtones de la région d'étude) doit se faire en fonction de l'autoécologie des essences, du contexte stationnel (pédologie) et en réponse aux objectifs fonctionnels visés. Il est cependant conseillé de veiller à varier le choix des essences pour favoriser la diversité du milieu. Le plus simple est de visiter les lisières du boisement spontané le plus proche du site.

Nom de l'espèce	Diversité de nourriture	Abondance de nourriture	Type de milieu	Structure du végétal
Charme commun	++++	++++	Bois, haies	Arbre
Chênes (pubescent, pédonculé, sessile)	+++	+++	Bois, haies, friches	Arbre
Érable champêtre	+++	+++	Bois, haies, lisières forestières	Arbre
Ormes	++	+++	Bois, haies, lisières	Arbre
Saules	+++	+++	Bords de ruisseaux, mares	Arbre
Cornouiller mâle	++	++	Bois, haies, lisières	Arbuste
Cornouiller sanguin	+++	+++	Bois, haies, lisières	Arbuste bas
Fusain d'Europe	++	++	Haie, lisières forestières	Arbuste bas
Noisetier	++++	++++	Bois, haies, lisières	Arbuste haut
Sureau noir	++++	++++	Bois, haies, lisières, bords de verger	Arbuste haut
Viorne obier	+++	+++	Haies, lisières, bords de verger	Arbuste haut
Aubépine	++	+	Bois, haies, lisières	Arbuste haut
Érable sycomore	+++	+++	Bois, haies, lisières forestières	Arbre
Merisier	+++	+++	Bois, haies	Arbre
Sorbier des oiseleurs	+++	+++	Bois, haies, lisières forestières	Arbre
Tilleuls à petites feuilles	++++	++++	Bois, haies, lisières forestières	Arbre
Prunellier	++	+	Haies, lisières forestières	Arbuste haut
Églantier	+	+	Haies, lisières forestières	Arbuste
Framboisier	+	+	Haies, lisières forestières	Arbuste bas

Tableau 11 : Végétation susceptible d'être utilisée pour la conception de guides végétaux (Source : fiche technique 4 - Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées, 2009 et Hintemann et al, 2012)

En milieu forestier, à l'inverse des milieux ouverts et à l'exception des bords de l'emprise, le guidage des espèces est plus difficile. Dans certains cas, il est toutefois possible de conduire les chiroptères vers les ouvrages en créant des ouvertures dans le milieu sous forme de chemin ou layon forestier jusqu'au passage. L'ouverture du milieu suppose cependant qu'il n'y ait pas d'enjeux écologiques particuliers à l'endroit où les coupes sont envisagées et en particulier en présence de peuplements forestiers âgés (arbres à cavités, etc.).



Dans le cadre du projet d'aménagement sur place de la RD910 (1,4 km) de 2x1 voie à 2x2 voies, la prise en compte des enjeux chiroptérologiques a conduit le CD 57, maître d'ouvrage de l'opération, à proposer la réalisation d'un ouvrage 6x6 m côté est alors que côté ouest (cf. carte), le rétablissement de la transparence pour les Chiroptères profitera de l'existence d'un rétablissement agricole. Ce dispositif est accompagné, entre autres, par la création d'un système de guidage des Chiroptères vers cet ouvrage de type plantations côté sud et réouverture d'un chemin forestier côté nord (pas de suppression de vieux arbres).

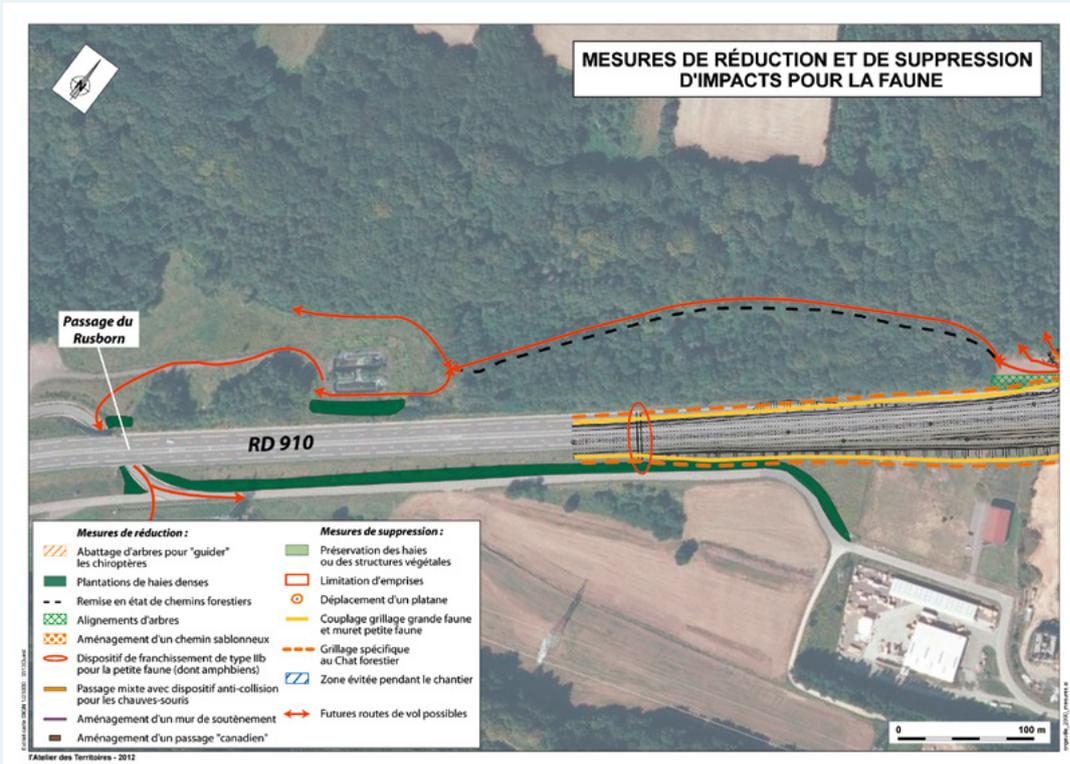


Illustration 77 : Proposition de mesures de réduction dans le cadre de l'aménagement de la RD 910 - 2012 (Source : CD 57/Atelier des Territoires)

• Dans le cadre des opérations d'aménagements fonciers

Une attention particulière doit être apportée à la transmission à l'opérateur foncier, des informations recueillies au cours des études préalables, ainsi que des mesures d'insertion projetées. Si les capacités d'intervention restent, encore une fois, très limitées pour le maître d'ouvrage de l'infrastructure au cours de ces procédures annexes, il existe cependant quelques propositions pour favoriser la protection des milieux les plus intéressants :

- attribuer à la commune les corridors les plus intéressants lors de la réorganisation foncière, en échange des parcelles dont elle serait propriétaire. Cette disposition permet ainsi à la commune de maintenir son patrimoine naturel tout en intégrant les enjeux agricoles ;
- acquérir par l'intermédiaire de la SAFER, les parcelles disponibles à l'intérieur du périmètre d'aménagement puis les échanger dans le cadre de l'opération foncière avec les corridors ou milieux favorables ;
- intervenir dans le cadre de l'arrêté préfectoral pour que des mesures de protection des corridors soient intégrées à la liste des prescriptions à respecter par les commissions d'aménagement foncier.

Selon l'article R. 121-22 II du Code rural, il revient au préfet de fixer par arrêté « les prescriptions à respecter par les commissions dans l'organisation du plan du nouveau parcellaire et l'élaboration du programme de travaux en vue de satisfaire aux dispositions législatives et réglementaires applicables à la zone considérée ».



Extrait de l'arrêté préfectoral mentionnant les prescriptions environnementales de l'aménagement foncier de la commune d'Haudrecy - Autoroute A304 Charleville-Mézières - frontière belge.

« Les éléments naturels du maillage végétal tels que des haies, des bosquets, des boisements ou des arbres remarquables doivent être, d'une manière générale, préservés. Dans tous les cas, si l'aménagement foncier rend nécessaire la destruction d'un de ces éléments, celle-ci est subordonnée à la réglementation en vigueur sur les espèces protégées et leurs habitats. »

« Les prescriptions sont les suivantes :

- l'attribution à une personne publique des surfaces porteuses d'éléments décrits ci-dessus sera recherchée dans l'objectif d'en assurer le maintien ;
- en cas d'élargissement de chemin, le nouveau tracé devra respecter la végétation riveraine (haies, arbres) en la maintenant au moins sur un côté ;
- les bosquets et boisements devront être maintenus ;
- la végétation riveraine sera maintenue et confortée ;
- la mise en place d'une bourse aux arbres est recommandée, etc. » ;
- « L'implantation de nouvelles haies est préconisée. L'annexe cartographique indique des zones où les implantations seront prioritairement recherchées. ».

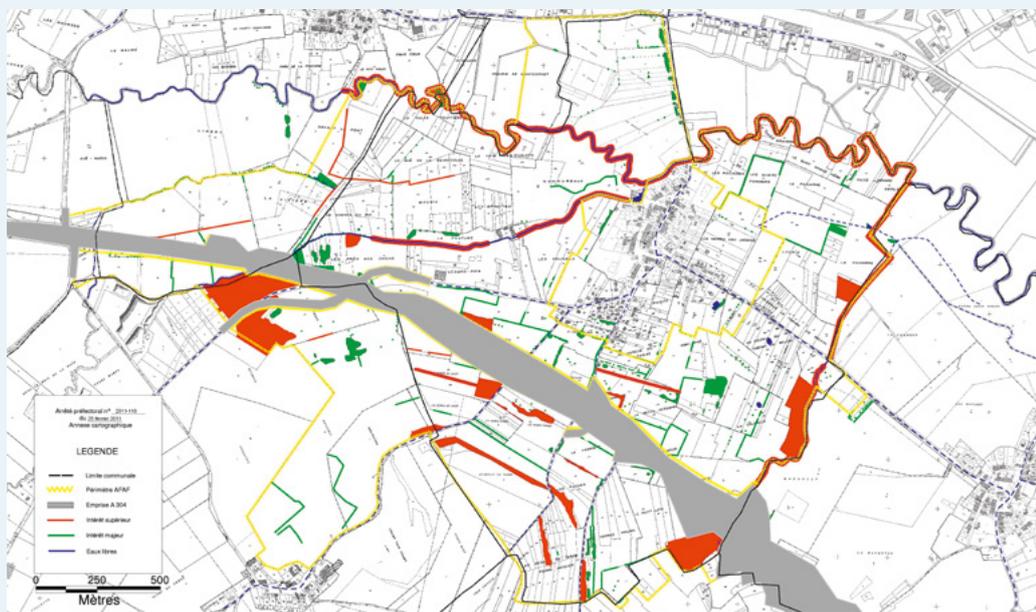


Illustration 78 : Annexe cartographique issue des études préalables au projet routier jointe à l'arrêté. Elle comprend une hiérarchisation des milieux qui tient compte des enjeux chiroptérologiques (Source : DDT 08)

2.2.2.7.2 - Guide et barrières lumineuses

La lumière est parfois proposée par les auteurs comme barrière ou moyen de guider les chauves-souris.

Les lampes sont ainsi disposées à faible hauteur au droit des routes de vol interrompues par l'infrastructure.

Même si certains individus continuent toujours à s'affranchir de ces dispositifs, ces mesures apparaissent efficaces pour toutes les espèces lucifuges et en particulier les rhinolophes et les murins. Il est toutefois conseillé d'utiliser des lampes à Sodium ou les LED qui n'attirent pas les insectes et qui, indirectement, seraient susceptibles d'attirer les espèces moins sensibles à la lumière artificielle comme les pipistrelles.

Souvent victime de vandalisme, nécessitant un entretien (fauche pour ne pas être cachée) et consommant de l'énergie, l'utilisation d'effaroucheurs lumineux doit rester exceptionnelle et réservée à la gestion de points particuliers. Ces dispositifs peuvent également être utilisés de façon temporaire pour forcer dans un premier temps les espèces à emprunter d'autres routes de vol. Le dispositif pourra être retiré une fois que les individus auront intégré la nouvelle route de vol.

Aux Pays-Bas, sur la N487, la coupure d'un axe de vol du Petit rhinolophe a, dans un premier temps, conduit les opérateurs routiers à supprimer la végétation située aux abords de l'infrastructure (sur 4 à 5 m de large) pour éviter que les rhinolophes franchissent la chaussée. Cette première mesure étant inefficace, des lampes artificielles de 1 mètre de haut dirigées vers la lisière ont été installées au point de passage des rhinolophes et le long de la route jusqu'à quelques mètres d'un ouvrage inférieur existant. D'après les auteurs, cette mesure supplémentaire a permis d'améliorer nettement la situation.



Photo 66 : Dispositif de barrière lumineuse installé pour limiter les collisions du Petit rhinolophe (Source : A & W Ecologish Onderzoek (Hollande), 2011)



2.2.2.7.3 - Grillages, écran, murs

Pour éviter les discontinuités, l'utilisation de clôtures peut être envisagée en complément de la végétation et en attendant que celle-ci prenne le relais (Bickmore et Wyatt, 2003 ; Keeley, 2005 ; Vaine, 2005).

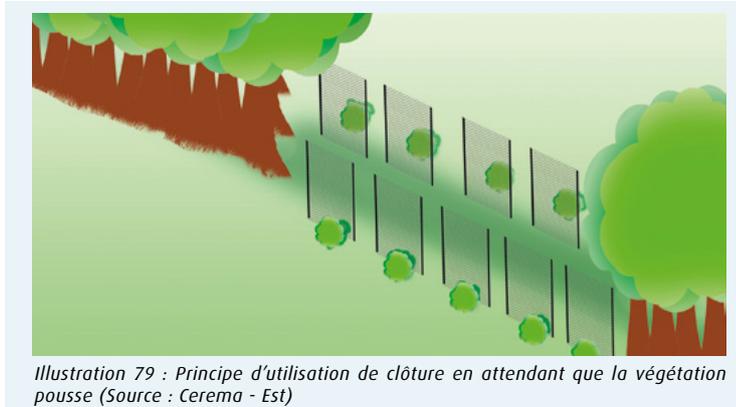


Illustration 79 : Principe d'utilisation de clôture en attendant que la végétation pousse (Source : Cerema - Est)

Ces dispositifs sont également utilisés pour éviter que les espèces franchissent l'infrastructure. L'objectif est ici de détourner les espèces et de les guider jusqu'aux ouvrages en implantant un grillage le long des emprises. Dans ce cas, il est toutefois nécessaire que ce dispositif anti-collision soit assez haut et que les mailles du grillage soient les plus petites possible (< 4x4 cm) afin que celles-ci constituent un véritable guide physique pour les chauves-souris. Sur les zones à forts enjeux, un grillage de 4 m est recommandé. C'est le cas, par exemple, au droit des anciennes routes de vol ou dans la traversée des massifs forestiers en complément du traitement stratifié des lisières.

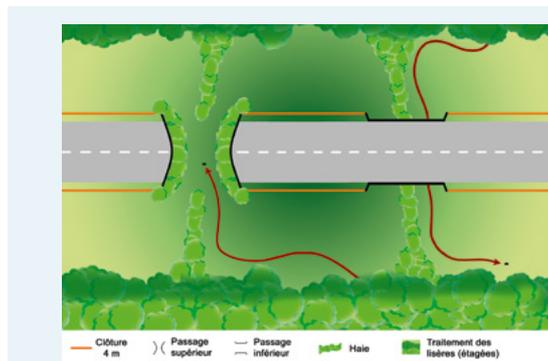


Illustration 80 : Principe d'aménagement aux abords des ouvrages de franchissement forestiers (Source : Cerema - Est)



Photo 67 : Exemple allemand de clôtures de 4 m mises en place de part et d'autre de la voie (Source : Kathi Märki/ NACTaktiv & SWILD)

Les études menées par Swild et NACTaktiv (2007) ont montré que la fonction de déviation des clôtures est bien plus importante pour le Petit rhinolophe que la fonction d'élévation du vol. Au cours de ces études, ils ont étudié le comportement des Petits rhinolophes face à un système de doubles clôtures parallèles en mettant en place sur un axe de déplacement connu un dispositif de clôtures provisoires de 4 m de haut. Au cours de cette expérience, plusieurs largeurs entre deux clôtures ont été testées (5, 8 et 12 m). 95 % des rhinolophes contactés ont contourné la clôture sur de courtes distances (20 m) et seulement 5 % ont survolé la clôture dont la moitié a plongé, à nouveau, à moins de 3 m de hauteur.

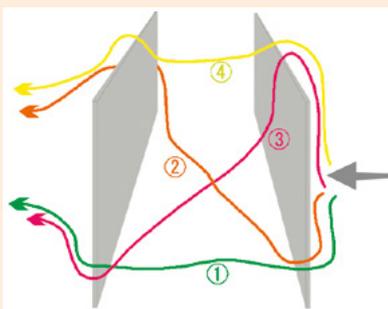


Illustration 81 : Représentation schématique des comportements en vol observés chez les Petits rhinolophes face à une clôture (hauteur 4 m) ; vols 1 et 2 : observés chez environ 95 % des animaux, vols 3 et 4 : observés chez environ 5 % des animaux recensés (Source : NACTaktiv/Bidermann)



Photo 68 : Système de doubles clôtures expérimentales (Source : NACTaktiv/Bidermann)



Suivi de l'effet d'un écran installé pour atténuer l'impact d'une voie ferrée à grande vitesse sur les chauves-souris - LGV Cordoba-Malaga (Andalousie, sud de l'Espagne) – Flaquer.C. ; Fernandez-Bou ; Rosell C., Rosell C., Mata R.M., Siller J.M., Garcia-Ràfols R. – Conférence IENE de Valence 2010.



Photos 69 et 70 : Grillage anti-collision de 4 m de haut installé de part et d'autre des voies LGV (Source : ADIF High Speed)

La traversée d'un talweg coupant un axe de déplacement reliant deux gîtes importants s'est accompagnée de la construction d'un ouvrage inférieur de 8x6 m et de la pose, sur 110 m, d'une clôture de 5 m de haut le long du remblai.

Les suivis réalisés, suite à la mise en service en 2007 de la LGV, ont permis d'enregistrer plus de 500 franchissements. Sur ces enregistrements, 60,7 % des individus ont été observés passant au-dessus de la clôture et 39,3 % ont emprunté le passage inférieur.

Concernant le comportement des chauves-souris aux abords de la clôture, sur les 70 observations analysées (images infrarouges), la plupart sont passées au-dessus des clôtures ou les ont suivi parallèlement à l'extérieur. Seuls 5 % ont volé à l'intérieur des deux clôtures.



Photo 71 : Passage d'un chiroptère au-dessus du dispositif (Source : ADIF High Speed)

Enfin de tels dispositifs sont utilisés pour optimiser l'efficacité des ouvrages de franchissement en dirigeant les espèces vers leur entrée grâce à un grillage petites mailles, de 4-5 m de haut, parallèle à l'infrastructure. À l'approche des passages, ce grillage pourra être mis en œuvre sur au moins une trentaine de mètres de part et d'autre de l'ouvrage. Cette longueur peut toutefois varier en fonction des enjeux et du contexte local, le prolongement de ce guide pouvant ainsi être envisagé si les enjeux s'avèrent particulièrement élevés.



Photo 72 : Passages à chauves-souris équipés de plantations-guides et de clôtures d'une hauteur de 4 m parallèles à la route S170 à Ottendorf au niveau de Friedrichswald – Allemagne (Source : G. Hintemann)



Pour les passages inférieurs, le dispositif de guidage devra contourner l'entrée de façon à former un entonnoir. Un dispositif en forme de « cage de football » présentant un grillage orienté vers l'entrée de l'ouvrage peut également être envisagé pour améliorer l'efficacité du guidage. Enfin, un système de type grillage reliant l'ouvrage aux routes de vol pourra compléter le dispositif. (cf. ci-dessous).



Illustration 82 : Dispositif en forme de cage de football (D'après les schémas et les indications techniques de L. Arthur - MHN Bourges - 2013) (Source : Cerema - Est)



Photo 73 : Exemple de dispositif mis en place sur l'autoroute A71 (Source : Ingérop/Cofiroute)

Pour les passages supérieurs, le guide parallèle doit être raccordé à l'écran d'occlusion pour éviter que les espèces s'engouffrent sous l'ouvrage ou dans le déblai.



Illustration 83 : Principe de guidage aux abords d'un passage supérieur (Source : Cerema - Est)

En phase chantier (pendant la période d'activités) et une fois les terrassements terminés, ces guides (ou des structures équivalentes) peuvent être provisoirement utilisés pour maintenir les connexions jusqu'à ce que les dispositifs de franchissement soient définitifs. Cette structure peut être constituée d'un filet ou grillage continu ou constituée de modules réguliers installés le long de l'axe de déplacement. En phase chantier, l'efficacité de ces mesures temporaires reste toutefois encore à démontrer.



Photo 74 : Dispositif de guidage provisoire en phase chantier sur la RN 88 dans le Tarn et l'Aveyron (région Midi-Pyrénées) (Source : Sophie Bareille - CREN MP)

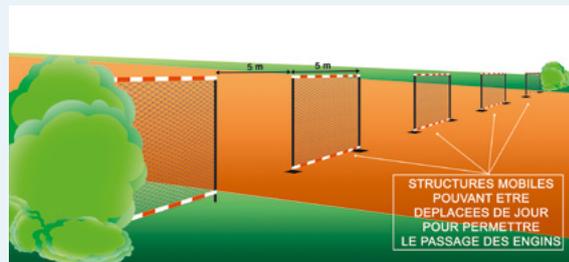


Illustration 84 : Principe de structures guide (utilisant grillage, bande de bruyère, filet de camouflage...) pouvant être utilisées en phase chantier (Comm. Pers. Arthur, MHN Bourges) (Source : Cerema - Est)

Sur les sections d'infrastructure situées au niveau du terrain naturel, un merlon planté le long de l'infrastructure peut probablement s'avérer également efficace pour guider les espèces. Ce merlon doit cependant être suffisamment éloigné de l'infrastructure (> 20 m du bord de chaussée). Pour être efficaces, ces guides ne doivent pas présenter de discontinuité ou trouée au risque de voir les espèces s'engouffrer dans les espaces ouverts.



Illustration 85 : Principe d'un merlon planté le long de l'infrastructure (Source : Cerema - Est)



Dans certaines situations, alors qu'ils n'ont initialement pas cette fonction les murs et les écrans d'occultation peuvent également servir de guides aux chauves-souris.



Photo 75 : Mur antibruit (Autoroute A7) (Source : Cerema - Est)

Les écrans d'occultation sont par contre nécessaires au droit des ouvrages comme dispositif d'obstruction pour empêcher les espèces de franchir l'infrastructure, pour les guider et pour prévenir des nuisances lumineuses. À ce titre, pour qu'ils soient les plus efficaces, il est préférable que ces dispositifs anti-éblouissement soient totalement opaques.



Photo 76 : Rocade Sud de Bourges - Vol de pipistrelle le long d'un écran utilisé comme structure guide menant à l'ouvrage (Source : Laurent Arthur)

Un écran d'occultation de 2,5 à 3 m doit être intégré de chaque côté du tablier de tous les passages supérieurs et de 1,5 à 2 m sur les passerelles. De tels dispositifs peuvent, d'ailleurs, être utilisés sur des ouvrages qui n'ont pas été initialement prévus pour le passage de la faune (rétablissement de voies peu fréquentées). La pose de ces dispositifs engendre toutefois des contraintes techniques particulières dont il faudra tenir compte lors de la conception de l'ouvrage. Dans le cas d'un ouvrage existant, l'installation de ces dispositifs est également envisageable mais sous réserve de la faisabilité technique définie par les caractéristiques initiales de l'ouvrage.



Photo 77 : Écran d'occultation sur un ouvrage supérieur de la RN 2 - Forêt de Retz (Source : DIR Nord)

Pour les passages inférieurs, l'écran est disposé en haut du talus, au plus proche de l'infrastructure. Pour éviter au maximum que les espèces franchissent les emprises et ne volent à des hauteurs dangereuses, il est recommandé de prévoir des écrans d'une hauteur de 4 à 5 m de haut. Cependant, lorsque l'ouvrage est surmonté d'un remblai important la hauteur de l'écran peut être diminuée, voire l'écran supprimé.

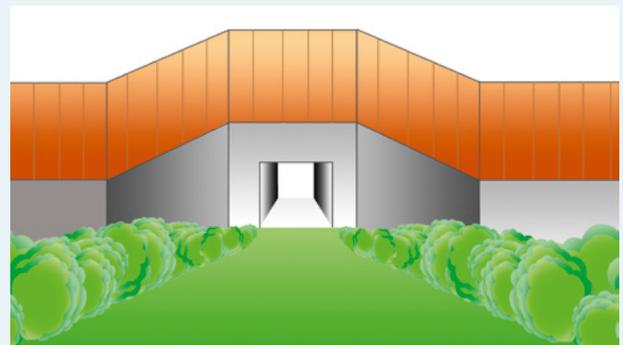


Illustration 86 : Principe d'écran d'occultation sur un ouvrage inférieur (Source : Cerema - Est)



Si un tel dispositif peut avoir un effet guide pour les chauves-souris, il n'est toutefois pas optimal car relativement peu occultant. Son efficacité pourrait être optimisée en augmentant la densité des poteaux.

Photo 78 : Dispositif de guidage utilisant des poteaux installés sur des ouvrages supérieurs : LGV Est (Source : ECOLOR)

2.2.3 - Réduction du dérangement en phase exploitation

• La lumière

La sensibilité des espèces à la lumière doit inciter à éviter l'éclairage dans ou à proximité des zones exploitées par les chauves-souris.

Si l'éclairage est indispensable, quelques précautions doivent être prises :

- éviter les lumières vaporeuses et préférer les lampes à rayon focalisé (utiliser si nécessaire des écrans pour diriger la lumière) ;
- diriger l'éclairage vers le bas et ne pas éclairer la végétation environnante ;
- utiliser des lampes à sodium à basse ou haute pression, moins attractives, à la place des lampes à vapeur de mercure ou lampes aux halogénures métalliques et les placer loin de la chaussée et le plus bas possible (sauf si une hauteur plus importante permet d'obtenir un angle plus aigu et un déversement horizontal moindre (Lemaire et Arthur, 1998 et 1999a ; ECOLOR, 2004 ; Bat conservation trust, 2006) ;
- mettre en place des structures occultantes pour masquer les milieux fréquentés par les chiroptères.

Dans certains cas (ex : passage piéton), il est possible d'équiper le système d'éclairage de capteurs de mouvements et de minuterie ce qui permet de réduire la durée de l'éclairage.

Gestion de la pollution lumineuse de la ZAC de Leuze dans le cadre de la mise en place d'un dispositif de franchissement routier sur la Rocade Ouest de Saint-Martin de Crau – GPC 2012

La réalisation d'une ZAC à proximité de la rocade s'est accompagnée de nouveaux éclairages induisant une perturbation lumineuse susceptible de diminuer l'efficacité d'un projet d'aménagement d'une passerelle pour le franchissement des Chiroptères.

La concertation engagée par une association (Groupe Chiroptères de Provence) avec les représentants locaux a permis de trouver un accord pour chercher à limiter ces perturbations :

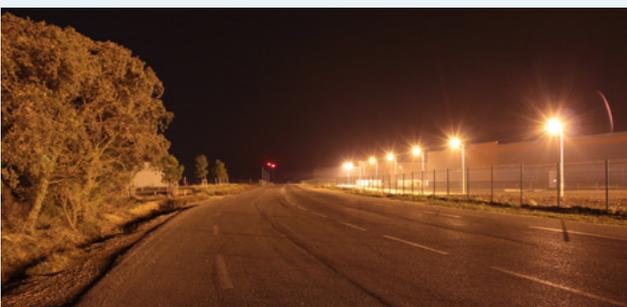


Photo 79 : Éclairage de la ZAC de Leuze (Source : Bruno Massal/Groupe Chiroptères de Provence)

- au niveau du bâti avec la réorientation des éclairages vers le bas avec déflecteur en position horizontale ;
- au niveau de la voirie avec une diminution du nombre de lampadaires allumés, le changement des ampoules, le changement des candélabres au fur et à mesure de leur obsolescence ;
- au niveau des aménagements paysagers avec l'aménagement d'écrans physiques ou végétaux et un travail sur l'élaboration d'une charte paysagère de la zone industrielle.



- **Perturbation humaine**

La construction d'une infrastructure pouvant également modifier et faciliter les conditions d'accès à certains gîtes, il est possible de limiter l'accès par :

- l'installation de panneaux préventifs d'information (Keeley et Tuttle, 1999) ;
- la mise en sécurité du gîte par la pose de grilles empêchant l'accès au site (Bickmore et Wyatt, 2003) même si cette mise en sécurité peut avoir les effets inverses de ceux escomptés (curiosité (cf. 3.1.5.), perturbation des gîtes de swarming).

3 - Mesures compensatoires

L'article R122-14 CE stipule « *les mesures compensatoires ont pour objet d'apporter une contrepartie aux effets négatifs notables, directs ou indirects, du projet qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles doivent permettre de conserver globalement et, si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux* ». C'est pourquoi, certaines dégradations ne peuvent être compensées.

Ainsi, la compensation :

- n'est pas un droit à détruire ;
- n'est pas financière, mais doit être réalisée en nature et doit concerner des actions en relation directe avec les dégradations prévues par le projet ;
- doit être mise en œuvre le plus rapidement possible, idéalement avant que les effets du projet ne se fassent sentir. Elle doit également être pérenne, c'est-à-dire garantir la durabilité de la préservation et de la vocation écologique des espaces naturels qui en font l'objet. Les modalités de suivi, de gestion et d'évaluation doivent être précisées ;
- doit porter sur les espèces et/ou habitats de chiroptères impactés et avoir un effet réel sur leur maintien à long terme de leur état favorable de conservation ;
- doit être réalisée au plus proche des impacts initiaux afin de porter sur les populations d'espèces impactées ;
- doit être réalisable, des garanties devant donc être apportées sur son efficacité ;
- ne doit pas se substituer aux actions publiques déjà existantes en matière d'environnement.

Pour les chiroptères, les mesures visent essentiellement à compenser la destruction des gîtes ainsi que la destruction des habitats de vie des espèces.

3.1 - Création ou sécurisation de gîtes

Les facteurs déterminant le choix ou le refus d'un gîte ne sont pas précisément connus chez les chauves-souris (Limpens et al, 2005). C'est pour cette raison que le remplacement d'un gîte détruit par d'autres, artificiels, est très délicat.

L'emplacement doit être choisi de manière à éviter de mettre les animaux en danger (éviter dans la mesure du possible la proximité de l'infrastructure) et en fonction des exigences des espèces présentes pour recréer les fonctions d'origine des gîtes détruits (hibernation, estivage). Ils doivent être réalisés à proximité immédiate d'environnements favorables.

3.1.1 - Création de cavités dans les arbres (une fausse mesure)

La compensation de la destruction des gîtes forestiers et la création de nouveaux milieux d'accueil à proximité des sites détruits sont très difficiles et rarement satisfaisantes. La création de fentes à la tronçonneuse est parfois citée dans la littérature (Limpens et al., 2005 ; Bickmore et Wyatt, 2003 ; CPEPESC Lorraine, comm. pers., 2008) mais il semble peu probable que de telles mesures permettent de compenser des gîtes accueillant de nombreux individus. De plus, les blessures engendrées par cette technique entraînent une diminution significative de la durée de survie et de la valeur commerciale des arbres. Cette solution apparaît donc comme contre-productive pour le gestionnaire d'espaces naturels, puisque l'objectif écologique ciblé est le maintien, dans la durée et sur pied, de ces arbres à cavité(s).

De telles mesures sont de plus coûteuses en main-d'œuvre pour un résultat négligeable pour les colonies d'espèces arboricoles qui changent très souvent de gîtes.



Il est donc préférable de maintenir dans les peuplements forestiers des arbres, en nombre suffisant, d'âge avancé et de gros diamètre. De toute évidence, les arbres en question sont ceux qui ont dépassé le diamètre et l'âge d'exploitabilité (diamètre et âge fixés en fonction des essences et des conditions stationnelles). Ainsi, les cortèges faunistiques inféodés à ces peuplements tels que les pics, pourront pleinement jouer leur rôle de créateurs de cavités.

Le maintien d'arbres de diamètre moyen, mais avec des défauts ou des blessures et qui généralement sont éliminés lors des opérations de sélection, peut également être envisagé car ces arbres sont susceptibles de constituer des abris pour les espèces.

3.1.2 - Installation de nichoirs (une mesure à éviter)

Plusieurs espèces de chiroptères (Murin de Bechstein, Murin de Natterer, Oreillard roux, Noctule de Leisler) sont susceptibles de s'installer dans des nichoirs artificiels pour la reproduction ou l'hibernation (Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées, CREN Midi-Pyrénées, 2005 ; CPEPESC Lorraine, 2009).

La pose de nichoirs peut éventuellement pallier une disponibilité limitée en gîtes naturels dans des forêts jeunes ou des plantations de résineux. Cependant, elle ne constitue pas une solution efficace de protection des chauves-souris en forêt. Ce type de mesure apparaît trop souvent comme une solution miracle alors qu'elle s'accompagne en réalité d'une artificialisation du milieu mettant en évidence l'inefficacité de la conservation des arbres-gîtes naturels (Tillon, 2008). De plus, les nichoirs ne proposent pas des conditions optimales pour la reproduction de toutes les espèces de chiroptères (Meschede & Heller, 2003 in Jaberg et al., 2006). En conclusion, l'utilisation de nichoirs ne doit pas être considérée comme compensatoire (sauf pour aménager un ouvrage (cf. 3.1.6)) et doit être évitée et réservée aux mesures de prévention ou en tant que moyen d'étude (Tillon, 2012 ; comm. Pers. CPEPESC Lorraine). Un suivi doit avoir lieu systématiquement.

3.1.3 - Aménagement d'habitations ou création d'habitats spécifiques

Il s'agit d'aménager les bâtiments favorables existants (maisons forestières, édifices publics, églises) proches de l'infrastructure ou de réaliser des structures neuves (« bat house ») pour maintenir ou améliorer l'offre de gîtes. Dans ce cas, on prendra en compte le cortège localement présent et les potentialités de gîtes à proximité afin de disposer, au final, de l'ensemble des gîtes nécessaires à l'accomplissement du cycle biologique des espèces.

Pour ces aménagements, on cherchera à (CPEPESC Lorraine, 2013) :

- occulter la lumière ;
- veiller à supprimer les éclairages donnant sur les accès au gîte ;
- favoriser les ambiances thermiques et hygrométriques différentes ;
- créer des cloches d'air chaud et des pièges à air froid si nécessaire ;
- réaliser dans certaines pièces, un bardage en bois jusqu'à 1,5 mètre du sol avec un interstice de 3 à 5 cm entre les planches et le mur, etc. ;
- favoriser différents types de volumes. Il faudra notamment veiller à conserver (ou créer) des interstices (volets, fissures, etc.) et les grands espaces (comble, sous-sol) ;
- favoriser l'accroche avec différents matériaux (bois non raboté, pierre, etc.) ;
- veiller à la qualité écologique et la pérennité des matériaux utilisés ;
- dans le cas d'aménagements existants, éliminer tous les pièges possibles pour la faune (exemple baignoire, écran de sous-toiture/pare buée, grillages à poules au niveau des ouvertures d'accès, etc.) ;
- réaliser des aménagements extérieurs avec éventuellement des possibilités de connexion directe (volets, bardages bois en façade) entre les gîtes extérieurs et intérieurs ;
- en cas d'aménagements de gîtes existants, choisir les plus pérennes ;
- s'assurer que le gîte s'inscrit dans un environnement favorable, avec une connexion aux structures végétales environnantes ;
- prévoir des panneaux d'information pour le grand public ;
- prévoir des possibilités d'expertise du site ;
- prévoir, dès l'origine, des modifications possibles notamment en terme d'aérodynamisme ;
- prendre en compte les autres aspects patrimoniaux pour une bonne acceptation sociétale.



Si la conception d'une telle structure est retenue pour les chiroptères, le maître d'ouvrage pourra également en profiter pour étudier la possibilité d'aménagements en faveur d'autres taxons (nichoirs à rapaces nocturnes, récupération des eaux de toiture pour alimenter une mare, etc.).

Proposition de restauration d'une maison forestière dans le cadre du projet d'autoroute A304 Charleville-Mézières et la frontière Belge



Photo 80 : Maison forestière des Caillaumonts à restaurer (Source : ONF/DREAL Champagne-Ardennes)

L'objectif est d'aménager une maison forestière désaffectée de manière à la rendre favorable aux Chiroptères. Les travaux consisteront essentiellement en la restauration de la toiture, une fermeture des accès au public tout en maintenant un accès pour les chauves-souris et la possibilité de réaliser les suivis.

Aménagement de la maison éclusière de Gripport



Photos 81, 82, 83, 84 : Maison éclusière de Gripport (Source : CPEPESC Lorraine)

Les travaux ont consisté en :

- la pose d'une porte blindée ;
- la maçonnerie des ouvertures ;
- la pose de nichoirs extérieurs, de briques, de nichoirs plats, d'une tour froide, d'une cloche d'air chaud ;
- la réfection d'une partie du plancher ;
- et la pose de gîtes en forme de faux volets.



Photos 85, 86, 87 : Gîte construit pour l'accueil des Grands rhinolophes

Création d'un gîte alternatif en bordure de l'Aulne (29) – Groupe mammalogique breton – 2006

Réalisé en 2006, le gîte accueille depuis 2009, une colonie d'hivernage et de parturition d'une centaine de Grand rhinolophe.

Le gîte comprend :

- un sous-sol obscur semi-enterré pour des conditions fraîches et stables favorables à l'hivernage (unique accès par une trémie dans la dalle béton du niveau supérieur ;
- un accès unique par un sas muni d'une petite grille oblique pour éviter les courants d'air et la lumière ;
- un rez-de-chaussée en terre cuite pour inertie thermique ;
- des combles favorables à la mise bas ;
- une gestion de la végétation des abords (plantations) afin de maintenir des liens avec les corridors de déplacements et s'assurer d'un environnement ombragé.



3.1.4 - Réalisation de gîtes souterrains

À l'image de ce qui a été vu dans le chapitre précédent, l'aménagement de gîtes souterrains doit répondre aux conditions d'habitat des chiroptères :

- obscurité en réduisant la taille de l'accès et en réalisant des conduits sinueux ;
- multiplication des microclimats en construisant plusieurs chicanes (avec par exemple des briques plâtrières (si gîte sécurisé) pouvant faire office à la fois de barrière thermique et de micro gîtes) et en réalisant des cloches d'air chaud (plusieurs regards empilés ou structures en parpaings) ;
- maintien d'une certaine humidité en évitant l'étanchéité totale de la structure (drains, dépôt d'un fond granulo-terreux, puisards, etc.) ;
- limitation des trop fortes variations de températures en réduisant l'ouverture d'accès (prévoir dès l'origine des modifications possibles) ;
- tranquillité en empêchant l'accès aux personnes ;
- présence d'interstices. Si c'est possible, pour disposer d'un plus grand nombre de micro-habitats, il est préférable de concevoir une galerie en bloc de pierre. Des gîtes secondaires peuvent également être créés ou installés dans ou contre les parois (drains, barbacanes, intégration de parpaings creux, etc.) ;
- prévoir des possibilités de modification du site afin de pouvoir gérer les conditions internes (température, humidité).

Bien que le nombre d'aménagements se multiplie et que les premiers retours soient plutôt positifs, les informations sur l'efficacité de ces dispositifs sont logiquement assez disparates car il faut un certain temps avant que les chauves-souris s'approprient les sites et les colonisent.

Réalisation de galeries artificielles dans le cadre du projet de l'autoroute A89 Balbigny – La Tour de Salvagny – Vinci Autoroutes/réseau ASF / FRAPNA Rhône - 2011



Photos 88, 89, 90 : Galerie artificielle construite au pied de la pile d'un viaduc



Photos 91 et 92 : Galerie artificielle construite dans un remblai

Implantation de deux types de galeries. La première galerie est située au pied de la pile d'un viaduc, de section carrée en forme de U, de 2 m de côté et longue de 20 m (photos 88, 89 et 90).

La seconde, dans un remblai, est une galerie de section circulaire en forme de L, construite en béton, elle mesure 2 m de diamètre et est longue de 12 m (photos 91 et 92).

Chacune de ces galeries comprend une entrée étroite, des angles, des coudes et des poches d'air chaud favorables à la parturition des Chiroptères. Le sol a été recouvert de 10 cm de terre.

Pour maintenir le taux d'humidité élevé requis, des puisards amènent l'eau à l'intérieur des galeries et un système de chicanes en béton limite les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. L'intérieur de la galerie a été équipé de nichoirs réalisés avec des briques creuses collées aux parois sur lesquelles des projections de béton ont été réalisées pour créer de la rugosité.



Création d'un gîte de substitution en forêt domaniale de Belles Forêt dans le cadre de la réalisation de la deuxième phase de la LGV Est entre Baudrecourt et Strasbourg – RFF/CPEPESC Lorraine.

Le gîte correspond à une structure en béton armé de 220 m² (15 x 15 m) surmontée d'une dalle béton recouverte jusqu'à 1,80 m de remblai au plus épais. À l'intérieur, des murs ont été édifiés de façon à former une galerie de 2 m de large sur 1,8 m de hauteur. La majeure partie de la structure, et notamment les parties les plus éloignées de l'entrée, bénéficient d'une isolation thermique supplémentaire renforcée par la création de plusieurs chicanes (et demi-chicanes) pour limiter les courants d'air. Dans cette partie isolée, afin de maintenir un taux d'humidité important, un bassin de près d'1 m³ a également été réalisé, le sol a été recouvert de 5 cm de sable et les murs devraient, à terme, être équipés de drains.

Les secteurs situés proches de l'entrée n'ont pas bénéficié de ces aménagements pour que le gîte puisse également constituer un milieu favorable aux chauves-souris durant les périodes d'estivage et de transit.

Enfin, bien que ces dispositions devraient offrir a priori des conditions favorables, des ouvertures ont été prévues entre les parties isolées et non isolées et le toit dispose d'aménagements spécifiques (drains, tube d'aération vers la surface) de manière à pouvoir réguler les conditions internes et qu'elles répondent aux exigences des chauves-souris.

La structure bénéficie également d'un certain nombre d'aménagement pour favoriser l'installation des chiroptères :

- la création de cloches pour fournir des points chauds aux chauves-souris ;
- la pose de briques en terre cuite fixées au niveau du plafond (72 m linéaire) ;
- la réalisation de corniches laissant un espace de 2 à 5 cm entre ces dernières et le mur ;
- la construction des chicanes supérieure est composée de briques afin d'offrir également des gîtes potentiels pour les espèces.

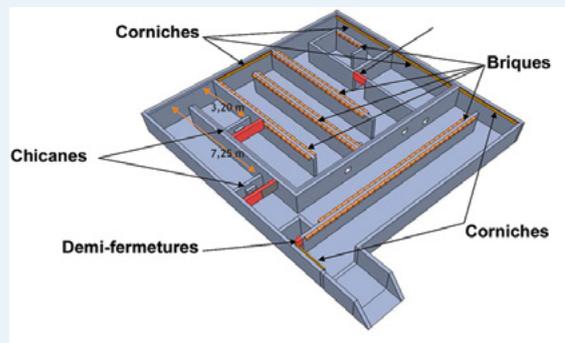


Illustration 87 : Schéma de principe du gîte (Source : CPEPESC Lorraine/RFF)



Photo 93 : Demi-chicane constituée en partie de briques (Source : CPEPESC Lorraine)



Photo 94 : Entrée du gîte (Source : CPEPESC Lorraine)



Photo 95 : Ouvertures de régulation thermique (Source : CPEPESC Lorraine)



3.1.5 - Sécurisation de gîtes existants proches de l'infrastructure

Lorsque certains gîtes ont été identifiés, il est possible de proposer la protection du site en obturant les entrées par une grille ou une porte et, éventuellement, en posant des panneaux pour informer le public de la démarche. Au-delà de la protection des espèces, de tels dispositifs peuvent parfois améliorer la capacité d'accueil d'un site.

Poser des grilles n'est toutefois pas sans conséquences environnementales. Il est nécessaire de :

- laisser des ouvertures suffisantes pour les chiroptères (au moins 45 cm de largeur x 14 cm de hauteur) et un espace ouvert en haut de la grille et un en bas pour laisser un accès aux autres animaux (rapaces nocturnes, amphibiens, etc.) ;
- veiller à ne pas perturber les conditions de température et d'hygrométrie des sites ;
- s'assurer au préalable, que la cavité ne constitue pas un site d'accueil pour le Minoptère de Schreibers qui ne supporte pas la pose de grille, ou de colonies de mise bas à fort effectif et qu'il ne constitue pas un site de swarming. Dans ce cas, il est alors possible de construire un enclos (grillage extérieur situé à 5 - 10 m devant l'entrée), empêchant l'accès au site, mais permettant aux animaux de ne pas se trouver gênés par les grilles de protection.



Photo 96 : Pose d'une grille à l'entrée de la cavité d'Allonne dans le cadre de la réalisation de la déviation Sud de Beauvais (RN31) (Source : CEN Picardie)

3.1.6 - Aménagement des ouvrages

Même si la typologie des ouvrages est très variable, les chauves-souris trouvent sous les ponts des conditions d'habitat favorables à leur implantation (cf. annexes 7 et 8). Les ponts constituent en particulier des sites de repos pour une grande diversité d'espèces en période de transit mais ils peuvent également être utilisés en période de mise bas par quelques-unes d'entre elles (Murin de Daubenton, Murin de Natterer, Grand Murin, etc.). Plus rarement, certaines structures (caissons des ponts en béton) accueillent des individus en hivernage. Par contre, dans certaines situations (hivers très rigoureux), ces gîtes peuvent constituer des pièges.

Relations entre les ponts et les chauves-souris dans le département du Cher - M. Lemaire et L. Arthur - Symbioses N° 7 – 2007

Une étude menée dans le département du Cher sur 1 700 ouvrages a montré que 7 % d'entre eux étaient occupés par des Chiroptères. Près de 1 000 individus de 4 espèces (*M. daubentoni*, *M. nattereri*, *M. myotis*, *N. noctula*) y ont alors été recensés. La plupart de ces observations ont été réalisées durant le printemps et l'automne indiquant une utilisation majoritaire des ouvrages comme gîte de transit entre les sites d'hivernage et d'estivage.

L'aménagement des ouvrages pour les chauves-souris constitue donc une mesure facile et peu coûteuse. Elle doit cependant être prise en compte dès sa conception architecturale, notamment si on souhaite intégrer à l'ouvrage des gîtes durables de grandes dimensions. De tels dispositifs sont notamment à privilégier dans les ouvrages enjambant un cours d'eau (en veillant toutefois à ce que les cavités ne soient pas inondées) et sur des sections peu accidentogènes pour les chauves-souris. Dans tous les cas, de telles mesures ne doivent pas être envisagées sur des ouvrages rétablissant une route.



Sur les ouvrages nouvellement construits, plusieurs actions peuvent être engagées :

- prévoir une réservation d'environ 15 à 30 mm entre la corniche d'habillage latérale de l'ouvrage et le tablier (Lemaire et al., comm. pers. 2008) en veillant à ne pas obstruer l'accessibilité par un joint ou une injection de béton et en réalisant si possible des cloisonnements réguliers tous les mètres pour créer différents microclimats ;

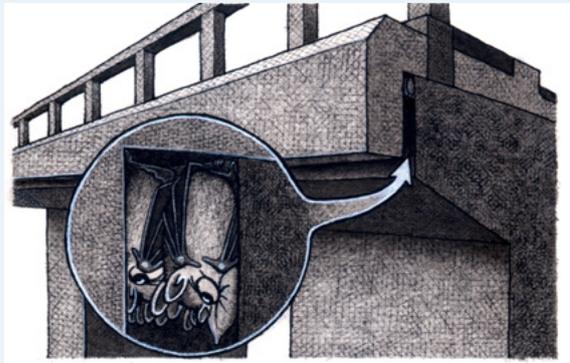


Illustration 88 : Espace de la corniche souvent colonisé par les Chiroptères (Source : Philippe PENICAUD)



Photos 97 et 98 : Présence de Chiroptères entre la corniche et le tablier de l'ouvrage (Source : L. Arthur - MHN Bourges)

- aménager les espaces entre le pont et ses piliers de soutènement (pose de nichoirs). Toutefois, il convient d'éviter d'utiliser des gîtes artificiels externes en briques plâtrières collées, en raison du risque de décollement à long terme lié à l'humidité et l'alternance des périodes de gel et de dégel, mais également du vandalisme (destruction volontaire). Ces derniers dispositifs doivent être réservés à l'aménagement des sites inaccessibles et doivent être chevillés aux structures porteuses ou collés au sol. Dans ce dernier cas les prédateurs ne doivent pas y avoir accès ;

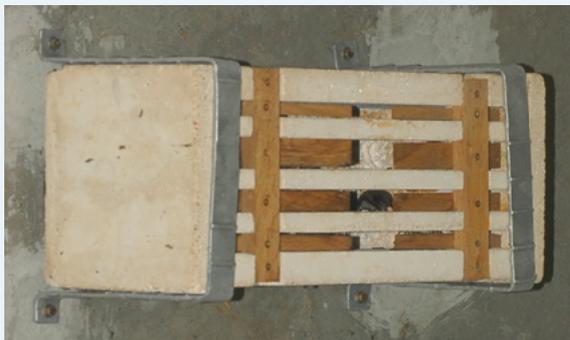


Photo 99 : Nichoir Schwegler pouvant accueillir des colonies en été et en hiver (Source : Groupe Chiroptères de Provence)



Photo 100 : Parpaing colonisé (Source : L. Malclair)

- créer ou maintenir des creux, des trous et des interstices (drains, barbacanes, réservation dans le béton) dans la structure de l'ouvrage ;



Photo 101 : Murin de Daubenton (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)



Photo 102 : Murin de Daubenton dans un moellon (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)



- aménager dans la structure de l'ouvrage des gîtes en laissant des accès :
 - en rendant utilisables les cavités des ponts à Voussoirs (accès, ventilation, isolation thermique, aménagement de micro gîtes). Le maintien d'ouverture dans les trappes de contrôle est, par exemple, généralement suffisant. À défaut, des ouvertures horizontales peuvent être créées (40 cm de long x 7 cm de large) pour que toutes les espèces puissent passer ou plus petites pour les seules espèces capables de ramper ;
 - ou en intégrant des structures spécifiques (nichoirs) à ces ouvrages.



Photo 103 : Voussoir d'un pont sur le Cher aménagé avec des parpaings (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)

Gîte créé par rainurage entre deux modules d'un ouvrage inférieur d'une route départementale du Cher - Conseil général du Cher - 2013



Dans le cadre de la construction d'un ouvrage inférieur le conseil général a fait réaliser un rainurage de 20 cm de long, sur 1,5 à 2 cm de large et 15 cm de profondeur, dans les joints des modules préfabriqués constitutifs de l'ouvrage sur les premiers modules relativement proches des entrées. L'objectif est de créer des petites structures d'accueil pour les Chiroptères pour un coût négligeable voire nul. (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)

Photo 104 : Mise en place des modules préfabriqués

Ponts neufs équipés de gîtes creusés dans le béton - Conseil Général du Cher 2013



Photo 105 : Deux réservations ont été créées d'une profondeur d'une quinzaine de cm, de 20 cm de longueur et de 15 mm de largeur pour l'une et de 20 mm de largeur pour la seconde (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)



RN 44 - Projet de déviation de Chépy – DREAL Champagne-Ardenne – 2012

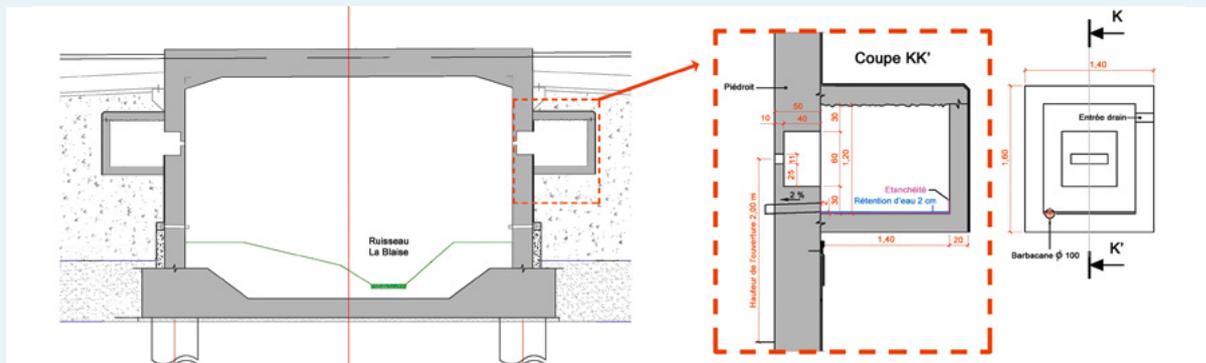


Illustration 89 : Plan du projet de gîtes à Chiroptères intégré dans les culées de l'ouvrage

3.2 - Amélioration et Création d'habitats favorables

En compensation de la perte de terrains de chasse, les spécialistes préconisent souvent l'acquisition de territoires proches de ceux détruits et leur gestion en faveur des chauves-souris.

L'objectif principal est ainsi de créer ou améliorer des habitats dont la structure est favorable à la chasse et au transit en augmentant la variabilité et la quantité d'insectes (forêts, berges et écotones), ainsi que de multiplier les corridors pour augmenter la capacité de prospection des chauves-souris (Highway Agency, 1999 ; National Roads Authority, 2005).

3.2.1 - Les milieux forestiers

3.2.1.1 - Création d'îlots de sénescence

En milieu forestier, le simple maintien d'arbres-gîtes n'est pas suffisant pour les espèces qui exploitent un réseau de gîtes, composés de plusieurs dizaines à centaines d'arbres.

La création d'îlots de vieux bois permet, à l'inverse, de concentrer les gîtes disponibles dans un secteur donné et d'augmenter leur densité (Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels et al., 2011 ; UNEP / EUROBATS, Tillon, 2008). Dans le cadre de mesures compensatoires, on créera des îlots de sénescence (groupement d'arbres laissé à l'évolution naturelle sans aucune gestion). Les îlots de vieillissement (ensemble d'arbres dont l'exploitation est seulement retardée) sont à proscrire. L'îlot de vieillissement est, en effet, un piège potentiel pour la biodiversité car à terme (30 à 50 ans), il sera exploité. Il n'est pas à retenir dans le cadre d'une compensation.

Pour délimiter ces îlots de sénescence, il est conseillé de retenir les peuplements de feuillus les plus âgés (+ de 100 ans) ou peuplement forestier autochtone (ex : hêtraie sapinière en montagne), présentant un réseau de cavités et dans lesquels des habitats connexes peuvent exister (mares, clairières, etc.). Puis, à partir d'un arbre-gîte occupé par une colonie de parturition, il convient de conserver les autres arbres à cavités dans un rayon de 30 m, et, comme ceci, d'opérer de proche en proche. Il est souhaitable de maintenir si possible, des îlots de 3 hectares d'un seul tenant (Tillon, 2008).

L'ONF à travers son instruction de 2009 (09-T-71), recommande le maintien de 3 % d'îlots de vieux bois dont 1 % d'îlots de sénescence sur l'ensemble des surfaces gérées (Tillon et al., 2010). D'autres préconisent un minimum de 5 % d'îlots sur la surface de chaque massif forestier (Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées/CREN Midi-Pyrénées, 2005).

En cas de création d'îlots de sénescence en compensation d'un projet en forêt publique, il est de la responsabilité du maître d'ouvrage de démontrer que les îlots proposés ne se superposent pas à ceux qui sont mis en place par l'ONF dans le cadre du 1 % cité ci-dessus.

Ces groupements doivent être connectés entre eux par des corridors de vieux bois et quelques arbres à cavités disséminés (Tillon & Tapiero, 2011). Une distance maximale de 1 à 2 km est conseillée entre chaque îlot (Tillon, 2008).

Ces ensembles d'arbres sont à délimiter et matérialiser sur le terrain.

Nota : L'instruction de l'ONF de 2009 est accompagnée d'un guide dans lequel des fiches de cas d'action de gestion sont présentées (Tillon et al., 2010).



3.2.1.2 - Favoriser la diversité des milieux forestiers

Une gestion forestière adaptée peut favoriser la diversité des habitats (UNEP / EUROBATS). Il n'est pas souhaitable de préconiser un seul type d'exploitation favorable aux chiroptères car chaque espèce, en fonction de son régime alimentaire et de son mode de chasse, préfère un type de milieu particulier (Larrieu, 2005). Ainsi, certaines espèces comme l'Oreillard roux, qui pratiquent le glanage des insectes présents sur les feuilles, ont besoin d'une strate arbustive (Barataud et al., 2005) et, au contraire, d'autres comme le Grand murin préfèrent la futaie régulière sans sous-étage pour chasser les insectes au sol (Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées/CREN Midi-Pyrénées, 2005).

Par conséquent et pour satisfaire la plupart des espèces, il est conseillé de varier les modes de gestion des peuplements en privilégiant le traitement en futaie de type irrégulière avec mélange d'essences (la gestion par bouquet ou parquet de 1 à 5 ha permet d'assurer la pérennité des habitats (Tillon, 2008 ; Mourey & Touroult, 2010)), et la futaie régulière, sous condition de laisser des îlots de sénescence et des arbres favorables à la biodiversité à l'échelle de chaque massif forestier (Tillon, 2008), ou le taillis sous futaie (Roué, 2007).

Dans tous les cas, on conservera les arbres à cavités, les arbres fendus et les arbres sénescents ou morts.

- Arbre réservé pour les chauves-souris
- Arbre conservé temporairement (considéré comme tampon)
- Autre arbre

- maintien d'îlots d'arbres à cavités dans les vieux peuplements selon un réseau pertinent et interconnecté (A, F) ;
- ouverture vers d'autres habitats favorables comme par exemple des points d'eau (B, D et G) ;
- préservation d'arbres âgés en linéaire (C et H) et en bouquets (E) et d'arbres isolés pour maintenir les connections entre les milieux.

Illustration 90 : Exemple de gestion forestière à appliquer sur de grands massifs forestiers (Forestry Commission England, 2005)

3.2.1.3 - Création de zones boisées

Des zones boisées peuvent être réaménagées aux abords d'une nouvelle infrastructure. Elles devront être situées à un minimum de 100 m de celle-ci, pour éviter d'attirer les chauves-souris et risquer des collisions avec les véhicules. À terme, si ces plantations peuvent éventuellement constituer des milieux favorables aux espèces, l'intérêt de ces milieux ne sera visible qu'à très longue échéance et avec une grande incertitude quant à la qualité des milieux pour les espèces.



Photo 106 : Plantations sur les abords de l'autoroute A19 Sens-Courtenay (Source : Cerema - Est)

3.2.1.4 - Création d'espaces ouverts en forêt et de lisières

Les espaces ouverts en forêt de type pelouse sèche et prairie sont des habitats qui constituent d'excellents terrains de chasse pour certaines espèces (Sérotine commune, Grand murin) (Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels et al., 2011). Il peut être opportun d'aménager des clairières de 0,5 à 1 hectare (Briggs, 1998 ; Meschede & Heller, 2001) et, dans certains cas, de mettre en place un pâturage à proximité des gîtes à chiroptères (5 km) (Tillon, 2008) afin d'améliorer la diversification en insectes et donc l'offre alimentaire (Dzwonko & Gawronski, 2002 ; Bürgi, 2004 in Jaberg et al., 2006).

L'effet de lisière est également recherché par les espèces évitant de chasser en milieu fermé, telles que les pipistrelles, les sérotines et les noctules (Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels et al., 2011). Les lisières à structures complexes qui comportent différents stades de développement et des essences variées sont à favoriser, en diversifiant le mode d'exploitation dans l'espace et le temps (Tillon, 2008).



Photo 107 : Lisière étagée favorable aux Chiroptères (Source : François Nowicki)

3.2.1.5 - Préférer les essences feuillues autochtones

Les peuplements de feuillus autochtones (et résineux autochtones en montagne) sont plus favorables aux chiroptères que les plantations de résineux et les boisements allochtones (UNEP / EUROBATS) et ce, pour plusieurs raisons : ils contiennent une biomasse d'insectes plus importante, sont plus propices à l'apparition de cavités en vieillissant (Tillon, 2008) et, gérés en futaie irrégulière, résistent mieux aux tempêtes (Pénicaud, 2000b). Les feuillus « indigènes » sont donc à privilégier dans la gestion forestière et les résineux sont à éviter, sauf dans les régions où ils sont présents naturellement (en montagne corse par exemple (Beuneux & Rist, 2005 in Tillon, 2008)).

3.2.2 - Les milieux ouverts : prairies naturelles, pâturages, vergers, zones humides

Les prairies et les pâturages semi-ouverts composés d'arbres solitaires, de haies et de bosquets ainsi que les vergers de hautes tiges et les zones humides offrent un paysage diversifié, et constituent une ressource importante de nourriture pour les chauves-souris. Certaines espèces comme les rhinolophes et certains murins (de grande taille), chassent dans ces milieux, par exemple, les coléoptères coprophages (Groupe chiroptères de Midi-Pyrénées, 2009). Toutefois, ces milieux profitent aussi bien aux espèces de haut vol qu'aux espèces glaneuses.

L'amélioration et la restauration de ces espaces, à partir du moment où ils sont intégrés dans un réseau plus vaste raccordé aux milieux de vie des espèces, peuvent constituer des mesures favorables au maintien des Chiroptères. L'objectif est de maintenir des pâtures et des vergers pâturés sur 30 à 40 % du paysage. Le maintien des pâtures à proximité des gîtes est notamment particulièrement favorable aux espèces.

Des mares (ou petits étangs) peuvent également être créées pour favoriser le développement des insectes et permettre aux chauves-souris de boire. Meschede & Heller (2001) recommandent une taille de 100 à 200 m², et Lustrat (2001) de 0,5 hectare avec un espacement entre mares de 2 km.

Ces mares devront (Groupe chiroptères de Midi-Pyrénées, 2009) :

- être raccordées aux habitats par des guides et structures paysagères ;
- disposer de berges en pentes douces pour faciliter l'accès aux autres espèces ;
- présenter des profondeurs variables ;
- être non empoisonnées ;
- présenter un couloir de plus de 1,5 m de large dans le sens de la longueur sans végétation pour favoriser l'accès à l'eau des chauves-souris.



Zone humide acquise dans le cadre des mesures compensatoires de l'A51 Sisteron et La Saulce (05) - ESCOTA.

Autrefois entièrement rattaché au lit de la Durance, le site « des Piles » est, en partie, isolé de celle-ci par l'aménagement de l'autoroute A51. Ce site reste, toutefois, connecté à la Durance par un passage mixte hydraulique/faune.

Bien que relativement proche de l'autoroute, cette zone devrait rester favorable aux Chiroptères grâce au passage à faune et à la présence de la barrière de péage à proximité qui limite la vitesse des véhicules et les risques de collision avec les Chiroptères.

Les suivis réalisés sur le site ont montré une fréquentation importante de la zone, avec notamment 10 espèces empruntant le passage à faune dont le Minioptère de Schreibers, le Murin à oreilles échancrées et les Grand et Petit rhinolophes.



Illustration 91 : Périmètre de la zone de compensation (Source : IGN)



Photo 108 : Zone humide située au sein de la zone de compensation (Source : Paulin Mercier)



Photo 109 : Ouvrage de franchissement permettant d'accéder à la zone de compensation (Source : Eliane Dupland)

3.2.3 - Recréation de corridors

À l'image des structures guides permettant de rétablir les connexions et routes de vols interrompues par l'infrastructure (chapitre 2.3.7.1), la création de nouveaux corridors ou la restauration de corridors disparus peut constituer une mesure favorable à la présence et/ou au maintien des chauves-souris. Il est ainsi possible, à condition de disposer des emprises nécessaires, de reconstituer des milieux favorables aux déplacements des espèces entre deux habitats éloignés de l'infrastructure.

Illustration 92 : Principe de création d'un corridor permettant de compenser la coupure en rendant accessibles de nouvelles zones favorables (Source : Cerema - Est sur Othophotoplan IGN)



4 - Synthèse des mesures, efficacité et notion de coût

Catégorie	Type d'impact	Objectif des mesures	Mesures de réduction (chapitre correspondant)	Compensation	
Direct	Impacts temporaires	• dérangement (lumière, odeurs, bruits, vibrations) pendant le chantier	• limiter les perturbations	• période d'intervention hors période sensible (2.1.1 & 2.2.1) • installation temporaire de nichoirs (2.1.2)	• création ou sécurisation de gîtes (3.1) • amélioration ou création d'habitats favorables (3.2)
	perte d'habitats	• destruction des gîtes	• éviter les destructions durant la période de mise bas et l'hibernation	• période d'intervention hors période sensible (2.2.1)	
		• suppression des terrains de chasse	• éviter la destruction durant la période de mise bas	• période d'intervention hors période sensible (2.2.1)	
	• destruction d'individus	• éviter la destruction des espèces	• procédure d'exclusion des gîtes (2.2.1)		
	• fragmentation	• rétablir la connectivité	• passages sécurisés (2.2.2.6) • mise en œuvre de connexions sécurisées entre les habitats (2.2.2.7)		
		• guidage des espèces	• mise en œuvre de connexions sécurisées entre les habitats (2.2.2.7)		
		• éviter les barrières lumineuses	• adapter l'éclairage (2.2.2.3 & 2.2.3)		
		• limiter l'attractivité de certaines zones	• éloigner les milieux favorables de l'infrastructure (2.2.2.1) • gestion de la végétation (2.2.2.1) • adapter l'éclairage (2.2.2.3 & 2.2.3)		
	Impacts permanents	• collisions	• assurer un franchissement sécurisé	• optimiser le profil (2.2.2.2) • limiter la vitesse (2.2.2.4) • utiliser un revêtement adapté (2.2.2.5) • aménager des passages sécurisés (2.2.2.6) • mettre en place des structures guides ou barrières (2.2.2.7)	
		• effet de la circulation et du bruit des véhicules	• masquer le flux de véhicules au niveau de franchissements	• mise en place d'écran d'occultation (2.2.2.7.3)	
• perturbations liées à la lumière		• gestion de l'éclairage	• limiter l'éclairage en bordure d'infrastructure (2.2.2.3) • adapter l'éclairage (2.2.3)		
• impacts liés à la création d'habitats favorables		• limiter l'attractivité des zones dangereuses	• limiter l'attractivité des emprises et des équipements annexes (2.2.2.1) • gestion de la végétation (2.2.2.1)		
Indirect et induit	• dégradations issues de l'aménagement foncier	• limiter la destruction des structures les plus favorables (haies...)	• intervention dans le cadre de la procédure d'aménagement foncier (2.2.2.7.1)		
	• impact sur les zones humides et les milieux aquatiques	• maintien de la fonctionnalité des milieux	• ouvrage hydraulique (⇒ dossier loi sur l'eau)		
	• impact lié à la modification de l'accessibilité du public aux sites sensibles	• limiter le dérangement	• installation de panneaux préventifs d'information (2.2.3) • mise en sécurité de gîte (2.2.3)		
	• impact lié à l'entretien des structures existantes (ouvrages)	• éviter la destruction et le dérangement des espèces	• procédure de travaux (chapitre 7.2) • période d'intervention hors période sensible (2.2.1) • exclusion des espèces (2.2.1) • formation (chapitre 7.2)		

Tableau 12 : Tableau de synthèse des principaux impacts et des principales mesures



Le tableau ci-dessous fournit des indications sur les coûts que peuvent représenter les mesures proposées précédemment. Les prix sont toutefois donnés à titre indicatif (parfois basés sur un seul retour d'expérience) et les spécificités de chaque marché induisent inévitablement une grande variabilité des coûts.

■ Efficace ■ Moyennement efficace ■ Peu efficace ■ Non évalué ou peu utilisé

Type de mesure	Mesure	Efficacité	Coût (HT)
• installation temporaire de gîtes	• nichoir	■	20 - 100 €
• procédure d'exclusion des gîtes	• dispositif anti-retour	■	10 - 50 € hors main d'œuvre
• passages sécurisés	• tranchée couverte	■	3 500 à 4 500 €/m ²
	• ecopont supérieur	■	2 000 à 2 500 €/m ²
	• passerelle piétons	■	1 500 à 5 000 €/m ²
	• voûte arborée (plantation de jeunes arbres) + grillage	■	15 000 €
	• hop over : - modelage - plantation - portique (utilisant des fils tendus)	■	100 000 € 45 000 € 50 000 €
	• filet nylon recouvrant l'infrastructure	■	250 000 € pour 100 m de 2x2 Voies
	• passerelle métallique (type chiroptéroduct) - conception - réalisation	■	100 000 - 130 000 € 400 000 - 450 000 €
	• viaduc	■	1 500 à 2 500 €/m ²
	• passage inférieur	■	2 500 à 3 500 € m ² (ex : 600 000 € pour un PI de 8 m de large sur autoroute)
	• buse ou dalot 3 m de large	■	1 500 à 2 200 €/m
• buse 2 m	■	800 à 1 300 €/m	
• structures guides ou barrière	• grillage 4m (maille 30x30)	■	100 - 120 €/m
	• haies	■	10 à 35 €/m
	• alignement d'arbres (espacement 15 m, diamètre 20/25)	■	5 à 10 €/m
	• barrière lumineuse (lampadaire)	■	2 500 €/unité
	• merlon (matériaux du chantier non réutilisables en remblai)	■	5 à 10 €/m ³
	• reconstitution de ripisylve	■	8 - 10 €/m ²
	• écran d'occultation (3 m de hauteur)	■	400 à 600 €/m
• adapter l'éclairage		■	100 € de surcoût /lampadaire classique
• revêtement adapté bande de 20 m de large (route bidirectionnelle)	• si intégré à un chantier • sinon pour un chantier spécifique	■	Surcoût (par rapport à un enrobé classique) de 5 €/m ² Surcoût de 28 €/m ²
• réalisation de bandes rugueuses		■	500 à 1 000 €
• installation de panneaux préventifs		■	100 - 500 €
• création de cavité dans les arbres		■	Coût de la main d'œuvre
• aménagement d'habitation existante (hors achat)		■	30 000 à 60 000 €
• réalisation de gîtes souterrains (buses béton, galeries en pierres maçonnées)		■	très variable 30 000 - 250 000 €



Type de mesure	Mesure	Efficacité	Coût (HT)
• réalisation d'un gîte spécifique (type habitation sans achat de terrain)		■	10 000 à 15 000 €
• sécurisation de gîtes existants	• pose de grilles	■	500 à 1 000 €/m ²
• intégration de gîte dans les ouvrages		■	Coût du matériel (ex nichoir) hors main d'œuvre
• création d'îlots de sénescence		■	10 000 €/ha
• plantations		■	4 500 à 5 000 €/ha
• création de lisières favorables		■	10 €/35 € m
• achat de milieux ouverts (prairie)		■	3 000 – 5 000 €/ha
• achat de milieux forestiers (bon bois)		■	8 000 €/ha
• aménagement d'ouvrage existant	• transformation d'un ouvrage en passage mixte	■	500 000 €
• création de nouveaux ouvrages	• fongage • passage supérieur (15-20 m de large)	■	500 000 € 2,5 à 5 million €

Tableau 13 : Notion de coût des mesures





Chapitre 5

Mesures d'accompagnement

Ces mesures, qui, contrairement aux mesures de réduction et de compensation, ne sont pas réglementaires, n'interviennent que par complémentarité. Elles ne viennent donc pas répondre à un impact déterminé mais elles viennent renforcer de façon positive le projet.

Elles sont généralement proposées par le maître d'ouvrage pour montrer son engagement dans une démarche favorable à l'environnement.

Ces mesures peuvent être de plusieurs ordres :

- mesures relatives à la connaissance scientifique. Il peut, par exemple, s'agir de financer des études sur l'écologie d'une espèce concernée par le projet d'infrastructure, l'intérêt d'un milieu sur cette espèce, l'étude du comportement des chiroptères aux abords de l'infrastructure, etc. ;

Dans le cadre de la réalisation du projet d'autoroute A304, le maître d'ouvrage a intégré à son programme de suivi une évaluation du comportement des Chiroptères pendant la phase chantier sur des sites préalablement choisis en fonction des axes de déplacement des zones de chasse ainsi que de la position des futurs ouvrages.

- mesure à caractère expérimental comme, par exemple, l'étude du comportement d'une espèce par rapport à des mesures expérimentales en faveur des chiroptères, etc. ;

Dans le cadre des actions 6 et 7 du PNA Chiroptères, mise en place de dispositifs expérimentaux de guidage des chiroptères au droit d'ouvrage de franchissement - Cerema - FEVE (2010 et 2011). Ces suivis ont permis de montrer que l'efficacité de la pose de barrières de guidage sur les ouvrages (photo) variait en fonction de la configuration du site pour les pipistrelles mais que, globalement, elle était favorable pour les genres Myotis et Plecotus.



Photos 110 et 111 : Dispositif expérimental mise en place sur la RN33 (57) (Source : F. Fève)



Aménagement d'une passerelle existante devant être rénovée dans le cadre de l'aménagement de la RN113 à Saint Martin de Crau – Life+Chiro Med/PNR Camargue/Groupe Chiroptères de Provence.



Photos 112 et 113 : Panneau de signalisation (Source : Groupe Chiroptères de Provence) et dispositif expérimental (Source : Life+Chiro Med/Alexis Renaux/Groupe Chiroptères de Provence)

Dispositif comportant :

- la mise en place de glissières béton (GBA) provisoires en bord de chaussée avec grillage de protection ;
- la fixation d'un grillage sur le garde-corps existant, servant de support à l'occultant ;
- l'objectif de l'installation était de tester l'efficacité d'un dispositif de franchissement modulable afin de définir le type de passerelle idéale pour les Chiroptères ;
- après quelques semaines, plusieurs individus ont été observés longeant les dispositifs à 1 m de hauteur au-dessus des claustras dont certains plongeant entre les parois du couloir et l'empruntant sur quelques mètres.

- mesures de type soutien à des actions de protection (plan de gestion, plan national d'actions, etc.) ou des structures (ex : soutien à un centre de soin, une association, etc.) ;
- mesures de surveillance notamment dans le cadre de la mise en œuvre des mesures ;

Afin de suivre spécifiquement la bonne mise en œuvre des mesures compensatoires, la DREAL Champagne-Ardenne, maître d'ouvrage de l'opération a proposé dans son dossier de dérogation, la création d'un comité de suivi des mesures compensatoires. L'objectif est de créer une instance de concertation scientifique et technique rassemblant les administrations, des représentants d'associations naturalistes locales et du CSRPN afin de vérifier la bonne mise en œuvre des engagements de l'État autour du projet A304.

- acquisition de gîte et étude de la population.

Préservation et suivi de populations de chauves-souris réalisées grâce à des mesures supplémentaires de RFF (LGV Rhin Rhône), l'exemple de l'ancien château-fort d'Amange dans le Jura



Photo 114 et 115 : Château d'Amange avant et après aménagement (Source : Communauté d'Agglomération du Grand Dole)

Afin de protéger les colonies de Grand rhinolophe et de Murins à oreilles échanquées, l'acquisition de l'ancien château d'Amange et la réfection du toit ont été réalisées en 2010 et 2011 grâce au financement de RFF et de la Communauté d'Agglomération du grand Dole. En 2013, le suivi de la population a été effectué grâce à l'installation de caméras infrarouge et de l'appui financier de RFF, toujours dans le cadre des mesures supplémentaires.

L'ensemble de ces aménagements permet dès à présent la préservation de colonies majeures pour la région.



Photo 116 : Grand rhinolophe (mère et son petit) (Source : Communauté d'Agglomération du Grand Dole)





Chapitre 6

Requalification des infrastructures

Il n'existe pas de dispositif réglementaire imposant aux maîtres d'ouvrage d'infrastructures d'améliorer la prise en compte de la biodiversité sur le réseau des infrastructures existantes. De telles démarches reposent donc sur des opérations volontaires ou en lien avec des procédures indirectes. Dans l'esprit du Grenelle de l'environnement, le maintien des continuités écologiques implique toutefois une prise en compte voire une requalification des infrastructures de transport terrestre en faveur de la biodiversité. Maintenant appuyées par le contexte de la mise en place dans les régions des Schémas Régionaux de Cohérence Écologique (SRCE), les politiques de requalification des infrastructures de transport tendent à devenir un enjeu fort pour les gestionnaires d'infrastructures. Dans ce nouveau contexte, des actions de mise à niveau du réseau existant commencent ainsi à voir le jour pour améliorer ou rétablir la fonctionnalité des ensembles naturels anciennement dégradés par des projets d'infrastructures auparavant moins respectueux des enjeux environnementaux.

Actuellement, la requalification des infrastructures vise donc, principalement, sur les sections à enjeux, à rétablir ou améliorer la perméabilité de l'infrastructure par la construction de nouveaux passages pour la faune lorsque leur nombre est jugé insuffisant, ou par l'amélioration de la fonctionnalité des ouvrages existants. Les interventions connues à ce jour concernent essentiellement le réseau autoroutier (notamment dans le cadre du paquet vert autoroutier) et le réseau routier national mais ne concernent pas, à notre connaissance, le réseau ferroviaire, en l'absence de budget dédié.

Les interventions sur le réseau existant s'appuient généralement sur un diagnostic dont l'objectif est de définir et de prioriser les zones d'interventions en fonction de la localisation des enjeux et de la faisabilité technique des interventions (création ou amélioration d'ouvrages).

La transparence d'une infrastructure pour les chiroptères peut ainsi être augmentée par :

a - Amélioration de la fonctionnalité des ouvrages existants en intervenant directement sur l'ouvrage ou sur la qualité de ses abords

Sur les passages supérieurs de rétablissement de petites voiries ou chemins, si la largeur du tablier est surdimensionnée par rapport à la fonction de l'ouvrage, une bande plantée sur un ou les deux côtés de l'ouvrage peut être envisagée.

À la place des garde-corps de l'ouvrage, la mise en place d'un écran d'occultation peut également être prévue en complément des plantations. Si la largeur de l'ouvrage ne permet pas d'accueillir un cordon de végétation, ce dispositif peut être envisagé seul.



Aménagement du chemin des Poissonniers – Autoroute A9 (Source : Écologistes de l’Euzière/ Vinci Autoroutes/réseau ASF – 2011)

L’ouvrage, emprunté par les viticulteurs, les chasseurs et les promeneurs, a été aménagé pour favoriser le passage des Chiroptères.

Les travaux ont consisté à réaliser un trottoir planté de 50 cm de haut et à poser un garde-corps en bois de 2 m adossé au garde-corps existant.



Illustration 93 : Principe d’aménagement de l’ouvrage (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF)



Photo 117 : Ouvrage du chemin des poissonniers (Source : Écologistes de l’Euzière)

Sur les passages inférieurs, les possibilités d’interventions sont plus limitées. Les propositions existantes concernent la conversion d’ouvrages de rétablissement de petites routes ou chemins en passages mixtes. Pour les chiroptères, l’intérêt est plus limité sauf si l’aménagement des abords et notamment des structures guides conduisent les animaux à passer au droit de la bande réservée à la faune.

L’amélioration des abords visera donc essentiellement à favoriser le guidage des espèces vers les ouvrages grâce à des plantations ou des systèmes de type grillage (cf. chapitre 4 2.2.2.7 Connexions sécurisées entre les habitats). Ces possibilités d’interventions restent cependant bien souvent limitées aux emprises sauf si des accords sont trouvés avec les propriétaires riverains de l’infrastructure.

Association Chauve Qui Peut/Sétra – Rocade sud de Bourges – 2011



Photos 118, 119, 120 : Passerelle existante équipée d’un système d’occultation (Source : Laurent Arthur)

Les garde-corps d’une passerelle située à Bourges ont été équipés d’un système anti-phare en janvier 2013. Les suivis effectués depuis le début du printemps 2013 ont montré qu’aux nuits les plus passantes, 25 Grands et Petits rhinolophes franchissaient déjà l’ouvrage, confirmant très rapidement l’intérêt de l’aménagement pour ces espèces particulièrement lucifuges. En 2015, c’est un record de 52 rhinolophes en transit qui a pu être constaté en une nuit.



Photo 121 : Conversion d’un ouvrage inférieur en passage mixte sur l’autoroute A9 (34) (Source : Écologistes de l’Euzière / Vinci Autoroutes/réseau ASF 2012)



b - construction de nouveaux ouvrages

Dans certaines conditions et lorsque les enjeux sont élevés, la réalisation d'ouvrages complémentaires est envisageable. Hormis le coût de telles opérations et les contraintes géotechniques, topographiques, voire hydrauliques et d'exploitation de l'infrastructure, l'une des difficultés majeures est liée à l'accès à la zone chantier (souvent située en contexte environnemental sensible) à partir des emprises. Dans ce dernier cas, l'intervention peut s'avérer relativement complexe si elle nécessite la mise en œuvre de pistes de chantier provisoires (couverture des terrains) et une remise en état après travaux.

À l'image d'un projet neuf, le profil en long (en déblai, en remblai ou au niveau du terrain naturel) conditionne les possibilités d'intervention. Il peut s'agir :

- d'ouvrages inférieurs :

Sur les sections en remblai, lorsque les conditions techniques le permettent, il est possible de créer de nouveaux ouvrages inférieurs par fonçage. Ces techniques concernent généralement des ouvrages de dimensions modestes notamment pour répondre à des soucis de fragmentation de l'espace pour la petite faune et la mésofaune. Même si généralement, ils ne sont pas spécifiques aux chiroptères, ces passages peuvent constituer de réels ouvrages de défragmentation pour ce cortège faunistique lorsque leur diamètre est suffisamment grand (> 2 m). Toutefois, la taille de l'ouvrage est souvent contrainte et conditionnée par la hauteur initiale du remblai.

Eco-ducs des autoroutes A64, A7 et A10



Photo 122 : Fonçage d'une buse sur A7 (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2010)



Photo 123 : Eco-duc sur A10 (Source : Naturalia/Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2012)



Photo 124 : Passage d'un Chiroptère dans une buse de 800 mm de diamètre, 65 m de longueur, réalisée sous l'A64. Cliché obtenu environ 3 mois après l'achèvement de l'éco-duc (Source : Nature Midi-Pyrénées/Vinci Autoroutes/réseau ASF, 2012)



Photo 125 : Passage de Chiroptère dans une buse de 1 200 mm de diamètre et 53 m de long, réalisée sous l'A10. Le suivi réalisé montre plusieurs franchissements par les Chiroptères (Source : LPO France/Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2012)

- d'écoponts supérieurs :

Le coût de tels ouvrages étant extrêmement élevé, ils sont généralement réservés au rétablissement de corridors d'intérêt supra local voire régional qui ont été interrompus lors de la construction de l'infrastructure. Réalisés pour rétablir la connectivité pour un maximum de cortèges d'espèces, ils sont généralement également favorables aux chiroptères notamment s'ils sont connectés aux structures du paysage bordant l'infrastructure.



Écoponts sur autoroutes A7 et A10 - Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2012

L'écopont du Col du Grand Bœuf a été réalisé sur l'autoroute A7 afin de rétablir une connexion fonctionnelle entre les habitats initialement coupés par le passage de l'infrastructure. L'ouvrage composé d'une charpente métallique posée sur deux appuis en béton aux extrémités est long de près de 35 mètres et large d'environ 15 mètres.

Le site d'implantation de l'ouvrage a été retenu après une étude écopaysagère. Il est situé au droit d'un carrefour biogéographique d'ampleur régionale entre les Alpes et l'Ardèche.



Photo 126 : Esquisse de l'écopont (photomontage) sur l'A7 (12/ 2009) (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF)

De la même manière afin de relier les populations faunistiques de la forêt des landes séparées en deux depuis la construction de l'autoroute A10, au début des années 80, ASF a requalifié en écopont un passage à gibier déjà existant de 3 mètres de large. L'ouvrage a ainsi été élargi à 18,5 mètres.



Photo 127 : Ecopont avec développement de la végétation 2 ans après achèvement des travaux (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2013)



Photo 128 : Photo d'un Chiroptère sur l'écopont d'A10 (Source : LPO France / Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2012)



Quelques opérations ponctuelles peuvent également intervenir notamment sur les ouvrages existants pour qu'ils soient favorables à l'accueil des chauves-souris.

Amélioration du potentiel d'accueil pour les chauves-souris du viaduc de l'A64 en :



Photo 129 : Viaduc de l'A64 (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF)

- favorisant l'accès aux chauves-souris par la rehausse des grilles d'aération tout en limitant l'accès aux oiseaux (hauteur des barreaux) (cf. photo 130) ;
- diversifiant les possibilités d'installation des Chiroptères par ajout de gîtes artificiels.



Photo 130 : Grille d'aération rehaussée (Source : Vinci Autoroutes/réseau ASF/Nature Midi-Pyrénées)



Photo 131 : Rhinolophe observé à l'intérieur de la structure (Source : Nature Midi-Pyrénées/CEN Midi-Pyrénées/Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2011)

Bien que la politique actuelle tende vers une modernisation du réseau routier existant plutôt qu'à son développement, les projets de requalification des infrastructures sont encore peu nombreux notamment en raison du coût élevé qu'ils engendrent. Dans le cadre d'opérations d'amélioration du réseau existant, les mesures prises en faveur de la faune peuvent cependant localement constituer une véritable amélioration du fonctionnement écologique d'un secteur dont les chiroptères peuvent bénéficier.



Chapitre 7

Prise en compte des chiroptères dans l'entretien des infrastructures

1 - Entretien de la végétation

1.1 - Les haies

Un suivi rigoureux doit être réalisé dès les premiers temps après la plantation pour s'assurer que les haies constituent à long terme une structure végétale fonctionnelle sur laquelle s'appuieront les chiroptères pour se déplacer. Pendant les deux premières années, il faudra ainsi veiller à l'élimination des plantes concurrentielles indésirables, au remplacement des plants séchés et disparus (à prévoir dans le cadre des marchés de plantation).

L'entretien d'une haie doit permettre de maintenir une structure minimale de 1 m de large (pour les structures les plus simples). Lors de cet entretien, il est conseillé de maintenir sur place, dans la haie ou en bordure, les branches coupées et de conserver les souches et les arbres morts sur pied (Groupe Chiroptères Midi-Pyrénées, 2009). Généralement une fois la structure en place, les interventions sont réalisées tous les 10 à 15 ans.

1.2 - Les alignements d'arbres

Des précautions doivent être prises dans le cadre de la gestion des allées d'arbres en bordure des routes qui potentiellement peuvent présenter un intérêt pour les chiroptères.

Lorsqu'ils présentent des cavités, les arbres qui les composent constituent bien souvent des gîtes pour de nombreuses espèces et ils constituent, parfois, les seuls continus végétaux au sein des espaces agricoles ouverts sur lesquels les espèces peuvent s'appuyer pour se déplacer. Sauf pour raison de sécurité, leur conservation est donc nécessaire. Des mesures alternatives à l'abattage doivent donc être envisagées et tout abattage doit être précédé d'une évaluation environnementale dans laquelle les enjeux chiroptérologiques devront être analysés.

Extension du Palais de la musique et des congrès de Strasbourg – GEPMA - 2012

Dans le cadre de l'extension du Palais de la musique et des congrès de Strasbourg, 7 platanes centenaires ont été abattus. Dans le 7^e et dernier arbre, qui initialement ne devait pas être détruit et pour lequel aucune investigation n'avait été engagée pour vérifier l'absence d'enjeux Chiroptères, une colonie de plus de 800 chauves-souris avait trouvé refuge. L'abattage de l'arbre ayant eu lieu en hiver, les Chiroptères ont été dérangés en pleine hibernation et, malgré l'intervention des associations, une vingtaine d'individus de cette espèce protégée a péri et près de 500 ont dû passer le reste de l'hibernation dans un centre de soins avant d'être rendus à la liberté au printemps.



Photo 132 : Opération de sauvegarde des chauves-souris (Source : Suzel HURSTEL - LPO Alsace)



2 - Entretien des ouvrages d'art

Les ouvrages d'art peuvent fournir des gîtes pour de nombreuses espèces de chiroptères qui y trouvent des milieux sombres aux conditions thermiques favorables.

Pendant les mois d'été, les ponts exposés au soleil agissent ainsi comme des réservoirs thermiques et maintiennent des températures ambiantes supérieures à la moyenne sur un cycle de plus de 24 h. Les colonies de maternité peuvent alors notamment profiter de la chaleur accumulée pendant la journée en aidant les adultes à conserver leur énergie et en favorisant le développement des jeunes. Ce tamponnement des températures est, notamment, particulièrement intéressant dans les régions où les variations de températures journalières sont importantes (montagne). En hiver, certaines crevasses peuvent également offrir un site d'hivernage favorable si elles sont bien isolées mais le faible pouvoir de tampon thermique sur une longue période de ces ouvrages, les rendent souvent peu propices à l'hivernage. C'est en septembre - octobre puis mars - avril, période de transit entre les gîtes d'été et les gîtes d'hiver, que le nombre de ponts occupés est le plus important. La plupart des espèces de chauves-souris sont susceptibles de gîter dans les ouvrages d'art et les individus montrent souvent une relative fidélité à cette catégorie de gîte.

Les ponts en pierres sont les ouvrages présentant le plus de potentialités mais les ouvrages en béton et, de manière générale, toutes les structures présentant des anfractuosités peuvent être colonisées par les chiroptères à partir du moment où ces cavités présentent des ouvertures supérieures à 5 cm de profondeur et 1,2 cm de large. Les interstices colonisés correspondent souvent aux disjointoiements (mortier tombé) entre les pierres ou les briques, les drains, les joints de dilatation, les fissures, les vides entre les différentes structures en béton, etc. (cf. annexe 7 : typologie des ouvrages et attraits pour les chiroptères). Certains individus peuvent également s'accrocher sous le tablier d'un ouvrage, dans les endroits sombres, chauds et où le flux d'air est réduit comme, par exemple, entre deux poutres.

La gestion des ouvrages d'art d'un réseau routier ou ferroviaire nécessitant une surveillance et des entretiens réguliers sur les structures, certaines de ces interventions sont susceptibles de porter atteinte aux chiroptères occupant ces ouvrages.

La plupart des ouvrages d'art sont concernés par un contrôle externe annuel qui, normalement, n'est pas de nature à perturber les chauves-souris, sauf lors de la visite des caissons. Mais, pour les ouvrages les plus importants, des inspections périodiques détaillées plus complètes (au maximum tous les 6 ans) s'ajoutent aux visites annuelles. Enfin, si nécessaire, des inspections complémentaires sont effectuées (par exemple sur des parties d'ouvrages) notamment lorsqu'une anomalie grave est constatée. Certaines de ces interventions peuvent alors déranger les chiroptères notamment lors des périodes sensibles. Dans certains cas, ces visites conduisent ensuite à la réalisation de travaux d'entretien et de réparation sur l'ouvrage. Les risques de perturbation ou de destruction sont alors encore plus importants (cf. tableau 14).

Ainsi, les opérations de rejointoiement peuvent directement détruire des individus en les enfermant ou les écrasant. D'autres interventions peuvent simplement perturber le bon accomplissement du cycle biologique des espèces (perturbation durant les périodes sensibles). Même les opérations de peinture ou de traitement peuvent affecter les individus présents.

Les chiroptères étant protégés, ces travaux d'entretien (cf. tableau ci-après) sont susceptibles de nécessiter une dérogation espèces protégées (cf. chapitre 1.2.2.2.) si ces derniers risquent :

- de blesser ou détruire des individus (écrasement, enfermement, etc.) ;
- de s'accompagner d'une perturbation intentionnelle (vibrations, nuisances sonores, éclairage, etc.) ;
- de détruire, d'altérer ou de dégrader des sites de reproduction et des aires de repos (destruction d'un gîte, modifications des caractéristiques d'un gîte utilisable, obturation de l'entrée d'un gîte, etc.).



Entretien (non structurel ou défauts structurels mineurs)	Impacts potentiels	Réparation (structurelle)	Impacts potentiels
Opération sur les équipements <ul style="list-style-type: none"> nettoyage ou réfection des dispositifs d'écoulement des eaux (gargouilles, barbacanes, drains, etc.) nettoyage des sommiers d'appui, de l'intérieur du tablier, des dispositifs de mines (anciennes réservations prévues pour détruire les ponts) nettoyage de la structure (piédroits, etc.) nettoyage, maintien en l'état ou création d'accès de visite élimination de toute végétation nuisible nettoyage des parements des graffitis, affiches, etc. boulonnage travaux de peinture remplacement ou réfection des désordres sur la corniche réfection de la couche de roulement (vibrations, bruit) suppression des venues d'eau, protection des parements contre l'humidité et les ruissellements mise en œuvre de produits de protection des parements en béton 	<ul style="list-style-type: none"> P, D, A P, D P, D P, D P P P P, D P, D, A P P, D, A P, D, A 	Intervention sur les équipements et appareils d'appui nécessitant des adaptations structurelles : <ul style="list-style-type: none"> intervention sur la structure pour mise en place d'un nouveau dispositif de retenue (assainissement) changement des appareils d'appui Intervention sur la structure <ul style="list-style-type: none"> reconstitution de pierres altérées, injection (dans la maçonnerie ou béton), reconstruction partielle pose de tirants d'enserrement des tympans ou des murs en retour, épinglage des bandeaux réalisation d'une contre-voûte reconstruction de béton dégradé sur une surface ou profondeur importante mise en œuvre de matériaux composites application d'une précontrainte additionnelle (notamment dans un voussoir) travaux sur fondation (reprise, confortement) 	<ul style="list-style-type: none"> P, D, A P, D P, D, A P, D, A P, D, A P, D P, D, A P, D, A P, D, A P, D, A (si cavité) P P
Opérations sur défauts mineurs de la structure : <ul style="list-style-type: none"> entretien des armatures béton, ragréages des parements béton rejointoiement de maçonnerie traitement des fissures 	<ul style="list-style-type: none"> P, D, A P, D, A P, D, A 		
Pour les appuis : <ul style="list-style-type: none"> changement des appareils d'appui (cas simple) 	<ul style="list-style-type: none"> P, D 		

Légendes : **P**= perturbation intentionnelle, **D**= destruction ou blessure, **A**= Altération du site de repos ou reproduction

Tableau 14 : Liste des opérations d'entretien et de réparation susceptibles d'affecter les Chiroptères (cf. également schéma ouvrage en annexe 8)

Toute atteinte de cette nature sur l'espèce ou son habitat ne peut donc s'effectuer légalement que sous couvert d'une dérogation et peut impliquer des mesures d'évitement, correctives et compensatoires indispensables au bon accomplissement du cycle biologique des espèces concernées.

Pour éviter la destruction ou les dérangements, il est préconisé de prendre les mesures suivantes :

- en fonction de l'importance des interventions (entretien courant, réparation, etc.), réaliser un diagnostic permettant de caractériser l'intérêt de l'ouvrage pour les chiroptères et identifier les interstices occupés ou les points d'entrée dans les anfractuosités (intervention d'un spécialiste chiroptérologue durant l'année précédant l'année des travaux) ;
- paradoxalement alors que les ouvrages sont, la plupart du temps, colonisés au cours du printemps et de l'automne, c'est au cours de ces deux périodes qu'il est conseillé d'intervenir car les espèces ne sont alors ni en hibernation, ni en phase d'élevage des jeunes (cf. chapitre 4 2.2.1) ;
- quand c'est possible, conserver les points d'accès aux anfractuosités (disjointoiements qui ne présentent aucun risque pour la structure, drains, barbacanes, etc.) ou d'accès aux corps creux. Dans la mesure du possible (sans compromettre l'évacuation des eaux du tablier), veiller également à ne pas déboucher certaines des barbacanes ou gargouilles dans lesquelles auraient pu gîter des chauves-souris. Un plan d'intervention devra être défini en intégrant cet objectif. Attention, une autorisation préalable (destruction d'habitat d'espèces protégées) peut s'avérer nécessaire avant le lancement des travaux ;

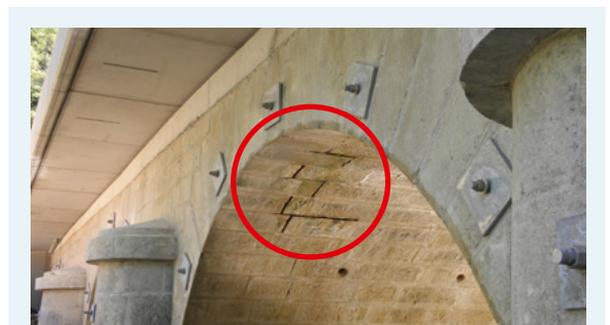


Photo 133 : Interstices non rejointés lors des opérations d'entretien de l'ouvrage (Source : CPEPESC Franche-Comté)



- avant les travaux, marquer chaque entrée de cavité pour que les ouvriers puissent les visualiser au moment des travaux et les conserver. Lors de l'intervention, les cavités devront être protégées pour limiter le dérangement (planche de bois ou tissu maintenus contre la cavité et retiré tous les soirs) ;
- si les cavités et leurs entrées ne peuvent être conservées, veiller à éviter le retour des chauves-souris une fois qu'elles se sont envolées (obstruction nocturne des entrées en s'assurant bien de ne pas avoir emprisonné d'individus). Face à un dérangement il convient de faire attention car les individus ont tendance à s'enfoncer dans les cavités ;
- enfin, engager un partenariat avec les spécialistes chiroptères locaux pour sensibiliser les agents susceptibles d'intervenir sur les ouvrages, réaliser des actions de communication pour le maître d'ouvrage, effectuer des suivis, etc.



Photo 134 : Marquage des interstices utilisés par les Chiroptères (Source : CPEPESC Franche-Comté)

Exemple de prise en compte des chauves-souris dans la gestion des ouvrages d'art – DIR Sud-Ouest/CEN Midi-Pyrénées 2012



Photo 135 : Opération d'entretien sur un ouvrage d'art (Source : Sophie Bareille)

Dans le cadre de la mise en œuvre du plan régional d'actions en faveur des Chiroptères en Midi-Pyrénées, la DIR Sud-Ouest a souhaité engager une démarche visant à intégrer les enjeux de préservation de ces espèces dans ses missions de surveillance et de gestion des ouvrages d'art. La DIR SO a retenu 3 axes de travail :

- réaliser des actions de sensibilisation et de formation auprès des agents pour qu'ils puissent, en retour, fournir des informations sur la présence

de chauves-souris dans les ouvrages visités (intégration de la donnée Chiroptères dans les fiches de visite d'entretien) ;

- prendre en compte les chauves-souris lors de l'entretien courant des ouvrages en mettant en œuvre des pratiques favorables pour les espèces ;
- éviter les impacts des travaux des ouvrages d'art en évaluant les risques, réalisant des expertises ciblées et adaptant les chantiers aux enjeux.



Photo 136 : Session de formation sur la prise en compte des Chiroptères lors de l'entretien des ouvrages d'art (Source : Groupe Chiroptères de Provence)



Les chauves-souris affectent-elles l'intégrité structurelle des ouvrages ?

Si les matières organiques (ex : fèces de chauves-souris) qui conservent l'humidité, sont susceptibles de faciliter localement l'oxydation des pièces métalliques non protégées, la présence de chauves-souris dans un ouvrage n'est pas de nature à créer des dommages sur celui-ci. Au Texas, les expertises d'un pont occupé pendant plus de 15 ans par environ 1,5 millions de chauves-souris n'ont montré aucun dommage spécifique sur la structure béton de l'ouvrage en dehors de l'usure normale de ce dernier (Keeley et Tuttle, 1999).

La présence d'une colonie de chauves-souris dans un ouvrage peut-elle être à l'origine d'un risque pour la santé des ouvriers intervenant sur les structures ?

La plupart des petites colonies de chauves-souris passeront le plus souvent inaperçues au cours des visites. Toutefois, des interrogations peuvent légitimement apparaître, notamment en présence de grandes colonies et lorsque les ouvriers sont en contact avec le guano. Pourtant, il n'est pas connu de virus pathogènes dans le guano des espèces européennes. Le seul risque, très faible avec de l'ordre de 1 à 2 cas de chauves-souris porteuses connues par an en France, concerne la rage mais celle-ci ne peut être transmise que par la morsure d'un animal enragé ou au contact entre les muqueuses d'un animal infecté et une plaie ouverte. Or la chauve-souris enragée n'est presque jamais agressive et ne devient un problème que si elle est manipulée. Par ailleurs, la quasi-totalité des cas de rage concernent la Sérotine commune, généralement absente des ponts.





Chapitre 8

Suivi et évaluation de l'efficacité des mesures

Comme vu précédemment, l'implantation d'une infrastructure sur un territoire occupé ou utilisé par les chauves-souris peut être la source d'impacts de plusieurs natures sur ces dernières :

- perte d'habitat ;
- mortalité directe ;
- perturbation d'axes de déplacement (journalier, migration, dispersion) ;
- fragmentation des territoires ;
- modifications dans le comportement, etc.

Ces impacts, identifiés lors du diagnostic d'état initial et lors des différentes études menées tout au long du projet, auront fait l'objet de mesures visant à réduire et éventuellement compenser les effets de l'infrastructure sur les chauves-souris.

Afin d'évaluer leur efficacité et éventuellement les améliorer, ces mesures doivent faire l'objet d'un suivi.

1 - Rôle du suivi

Les suivis peuvent avoir des objectifs scientifiques (mesure de l'évolution de l'impact, retour d'expérience, etc.) mais également réglementaires.

En effet, la législation a instauré l'application de différents suivis ou bilans (L122-3-2 CE et R122-14 CE), visant à mesurer la pertinence, l'efficacité ou les effets des mesures prises dans le cadre de grands projets (routiers, ferroviaires, ouvrages, etc.).

Un suivi, mis en place dans un but scientifique, consiste au recueil, à l'analyse et à l'utilisation d'informations.

Il permet de mesurer l'efficacité des mesures et vise à déterminer, par comparaison avec l'état initial, si les mesures prises en faveur des chiroptères sont appropriées et suffisantes pour éviter ou réduire au minimum l'effet sur les populations et les habitats. Les effets négatifs imprévus seront mis en évidence, et si nécessaire, des modifications seront apportées afin d'optimiser les aménagements.

Par ailleurs, les résultats de suivis fournissent de précieuses informations pour améliorer les connaissances, dégager des enseignements sur les expériences passées et capitaliser le savoir-faire.

Le rôle du suivi est donc primordial puisqu'il permet d'évaluer les mesures, de mesurer l'impact résiduel, d'améliorer les mesures si besoin, d'augmenter les connaissances, de réduire les incertitudes, d'améliorer les outils d'étude, de sensibiliser le personnel et, au final, de mieux protéger les chiroptères.

2 - Réglementation sur les suivis

En matière d'infrastructures, la législation a instauré l'application de différents suivis ou bilans environnementaux, destinés à évaluer la pertinence, l'efficacité ou les effets des mesures prises dans le cadre de grands projets (routiers, ferroviaires, ouvrages, etc.).

À ce titre, les mesures en faveur des chiroptères font parfois l'objet de ces suivis ou bilans « réglementaires ».



Circulaire du 15 décembre 1992 relative à la conduite des grands projets nationaux d'infrastructures (dite « Bianco »)

Cette circulaire a étendu au domaine environnemental les bilans prévus par la **loi n° 82-1153 d'Orientation des Transports Intérieurs (LOTI) du 30 décembre 1982** pour les grands projets nationaux d'infrastructures.

D'un point de vue environnemental, les analyses de ce bilan contribuent à vérifier le respect des engagements de l'État et permettent de s'assurer de la pertinence et de l'efficacité des mesures de préservation de l'environnement mises en œuvre, et sinon d'adapter et/ou compléter les mesures afin de remédier aux éventuels impacts insuffisamment ou non maîtrisés, ou non anticipés.

L'approche de l'environnement est à considérer au sens large et concerne l'agriculture, le patrimoine archéologique, les paysages, l'occupation des sols, le bruit, l'air, l'eau, le milieu naturel, etc.

En ce qui concerne les chiroptères, il peut s'agir de suivi de mortalité, de repérage de points de conflits, de suivi de la fréquentation des passages, etc.

Conformément à l'article R125-37 CE, ces bilans économiques, sociaux et environnementaux, établis par l'État, doivent être présentés à un comité de suivi des engagements de l'État réuni par le préfet dans les années qui suivent la mise en service de l'infrastructure soit entre trois ans et cinq ans après la mise en service de l'infrastructure, sachant qu'un bilan intermédiaire est également présenté un an après la mise en service.

Évaluation environnementale

Le chapitre II du titre II du livre Ier du code de l'environnement qui traite de l'évaluation environnementale (art. L122-1 et suivant) impose aux « *projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine* » d'être précédés d'une étude d'impact.

Celle-ci aura, entre autres, comme objectif de fixer « *les mesures proportionnées envisagées pour éviter, réduire et, lorsque c'est possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine ainsi qu'une présentation des principales modalités de suivi de ces mesures et du suivi de leurs effets sur l'environnement ou la santé humaine.* » (art. L122-5 II 7° du code de l'environnement)

L'article R122-14 indique que la décision d'autorisation mentionne :

- les mesures à la charge du maître d'ouvrage destinées à éviter les effets négatifs, réduire les effets n'ayant pu être évités et compenser les effets négatifs notables ;
- les modalités du suivi des effets du projet sur l'environnement et la santé ;
- les modalités de suivi de la réalisation des mesures prévues, ainsi que du suivi de leurs effets sur l'environnement ;
- le contenu du dispositif de suivi est proportionné à la nature et aux dimensions du projet, à l'importance de ses impacts, ainsi qu'à la sensibilité des milieux concernés.

L'article R122-15 précise que le suivi des mesures permet de vérifier le degré d'efficacité et la pérennité des mesures, sur une période donnée, définie par l'autorité compétente.

Les agents assermentés ou habilités par l'autorité administrative peuvent contrôler la mise en œuvre de ces prescriptions. Des dispositions sont également prévues pour que la personne, à qui incombe leur mise en œuvre, y satisfasse dans un délai déterminé qui tient compte de la nature et de l'importance des travaux à réaliser (L171-1 et suivants).

Dérogation aux articles L411-1 et L411-2 du code de l'environnement relatifs à la conservation du patrimoine naturel

Dans les cas où des projets d'aménagements et d'infrastructures sont susceptibles d'avoir un impact sur une espèce protégée et qu'il n'y a d'autres possibilités que de demander, auprès du Conseil National de la Protection de la Nature, une dérogation aux interdictions prévues par les articles L411-1 et suivants du code de l'environnement, des mesures d'évitement et de réduction pour les espèces protégées faisant l'objet de cette dérogation sont prises.

Toute dérogation accordée justifie un suivi, ceci afin de rendre compte de la bonne réalisation des opérations ayant permis l'octroi de cette dernière. Les conditions de ce suivi, notamment les modalités du suivi biologique des espèces concernées, auront été précisées lors de l'établissement du dossier de demande de dérogation.



3 - Méthode – Protocole

La réalisation d'un suivi pertinent n'est possible que s'il s'appuie sur un diagnostic d'état initial antérieur à la construction de l'infrastructure et aux éventuels aménagements en faveur des chiroptères. En effet, faisant l'état d'un changement de situation, les résultats doivent être comparés à ceux de l'état initial. Ce dernier aura mis en évidence les espèces présentes, les différents habitats et leur utilisation, ainsi que les routes de vols.

Un suivi valide, permettant d'évaluer les mesures et de dégager des tendances évolutives, doit faire l'objet d'un protocole soigneusement établi et reproductible.

Celui-ci doit définir les objectifs, les critères à évaluer, les méthodes (nombre de prospections, dates, jours, durée, techniques employées, etc.) et les techniques d'inventaires (cf. annexe 6).

D'une durée minimale de trois ans, il est préférable qu'il s'étale sur dix ans, voire plus (durée à adapter aux types de mesures préconisées), car les chiroptères sont des organismes qui réagissent immédiatement après l'aménagement, mais aussi sur la durée (apprentissage et retransmission entre individus, effets indirects, effet sur le brassage génétique, effet sur le statut reproducteur, effet sur l'état de santé des animaux affectant leur longévité, etc.). Il n'est toutefois pas nécessaire d'effectuer un suivi tous les ans sur dix ans ou plus mais de limiter le suivi annuel sur les premières années (3 ans) puis d'échelonner par la suite les suivis (n+8, n+10, etc.) Les méthodes employées doivent être identiques d'une année sur l'autre si on souhaite pouvoir comparer les résultats.

L'établissement d'un protocole nécessite donc la définition et l'évaluation de certains paramètres qui peuvent être les suivants :

- état des populations (statut reproducteur, changement dans le fonctionnement écologique des populations, l'organisation, utilisation des routes de vols, des zones de chasse) ;
- comportement des chiroptères en transit ;
- mortalité routière ;
- fréquentation des aménagements paysagers ;
- fréquentation des gîtes connus (estivage, parturition, swarming, hibernation) ;
- etc.

Tout comme pour le diagnostic, le choix de la ou des méthodes d'inventaires est dépendant de l'objectif du suivi et des enjeux spécifiques :

- situation locale ;
- espèces présentes ;
- habitats et leurs utilisations ;
- projet ;
- impacts identifiés dans les phases amont au projet ;
- mesures prises en faveur des chiroptères ;
- enjeux particuliers à proximité (Natura 2000, APB, ZNIEFF, etc.).

Sauf à disposer d'un état initial insuffisant, les techniques utilisées doivent être identiques à celles employées pour le diagnostic initial :

- réalisation de parcours d'écoute ;
- enregistrement en poste fixe ;
- captures temporaires ;
- fréquentation des gîtes ;
- étude de mortalité.



Bilan environnemental – Synthèse des suivis Chiroptères de 2006 à 2008 – RFF/OGÉ – 2009



Le suivi réalisé pendant 2 années (2006 et 2008) sur le pont route du village de Creuë (Meuse) montre que l'ouvrage est fréquenté par au moins 5 espèces. Les résultats montrent également une nette augmentation entre les deux années de suivi. Ces résultats peuvent notamment s'expliquer par une intégration et appropriation des aménagements par les chauves-souris.

Photo 137 : Pont route du village de Creuë (Source Néomys, 2008)

En tout état de cause, il faut prendre en considération les biais, comme par exemple, les variations climatiques saisonnières, qui ont un impact sur les chiroptères et qui ne sont pas dues à l'infrastructure. Il est ainsi souhaitable de disposer d'un suivi d'une zone témoin, afin de comparer les fluctuations saisonnières et annuelles autres que liées à l'infrastructure.

Les périodes de mise bas et d'élevage des jeunes semblent être les plus intéressantes, en raison de la fidélité des femelles à leurs gîtes et du haut niveau d'activité de chasse nocturne lié à l'allaitement. La seconde période favorable correspondrait à l'émancipation des jeunes de l'année.

Il est possible de réaliser un suivi dès la phase chantier. Celui-ci aura pour principal objectif de mesurer les impacts des travaux.



Glossaire

Allochtone : voir Autochtone.

Anthropophile : Qui est adapté à vivre dans le voisinage immédiat de l'homme.

APB : Arrêté préfectoral de protection de biotope.

Arboricole (espèce) : Espèce vivant dans les arbres.

Autochtone : Désigne ce qui est originaire du milieu où il vit. Pour une zone géographique donnée, pendant une période donnée, se dit d'une espèce originaire de cette même zone. *A contrario*, on parle d'espèces Allochtones.

Autoécologie ou autécologie : Science qui étudie l'ensemble des relations d'une espèce vivante avec son milieu, délimite les conditions qui permettent la survie de l'espèce, sa reproduction, etc.

Barbacane : Orifice pratiqué dans un mur, une dalle ou une voûte pour l'écoulement des eaux d'infiltration.

Canopée : Écosystème désignant l'interface forêt atmosphère.

Cavernicole : Se dit des animaux qui recherchent l'obscurité et qui se réfugient ou vivent dans des grottes.

Claustra : Correspond à une paroi servant généralement de brise vue pour séparer les espaces.

Cokrigeage : Méthode d'interpolation géostatistique qui permet d'intégrer des informations auxiliaires : altitude, occupation du sol, etc.

Coléoptère : Insecte caractérisé par des élytres (ailes antérieures épaisses et cornées couvrant la totalité de l'abdomen), des ailes postérieures membraneuses situées au repos sous les élytres et des pièces buccales broyeuses. Quelques espèces de coléoptères : scarabées, coccinelles, lucanes, chrysomèles, hannetons, charançons et carabes.

Coprophage : Désigne une catégorie d'animaux consommateurs d'excréments.

CSRPN : Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel.

Cycle biologique (annuel) : C'est l'ensemble des événements successifs par lesquels passe nécessairement une espèce au cours d'une année pour vivre et se reproduire.

Domaine vital : Désigne un endroit dans lequel un animal se déplace dans le cadre de ses activités normales.

Drain : Dispositif (tube) assurant l'écoulement et l'évacuation des eaux d'infiltration à l'intérieur d'un ouvrage ou d'une partie d'un ouvrage.

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

DDT : Direction Départementale des Territoires.

DOCOB ou document d'objectifs : Pour chaque site Natura 2000, le document d'objectifs définit les mesures de gestion à mettre en œuvre.

Écholocation : Moyen de localisation des obstacles ou des proies, utilisé par divers animaux vivant dans l'obscurité (chauves-souris) ou dans l'eau (cétacés), et consistant à émettre des ultrasons ou des sons aigus et à apprécier le temps de retour de leur écho dans les diverses directions.

Écotone : Zone écologique de transition et de contact entre deux écosystèmes voisins (exemple : lisières, etc.).

Épigés (gîtes) : Se dit de gîtes situés à la surface du sol.

Essaimage : Voir Swarming.



Estivage : Période estivale où les chiroptères peuvent rejoindre des sites propres à cette saison.

Futaie : Désigne une forêt gérée de façon à produire des arbres de grande dimension au fût (partie du tronc sans branches) élevé et droit.

Gargouille : Canalisation traversant le tablier d'un ouvrage pour rejeter les eaux pluviales loin des parements.

Gîte : Lieu où se logent les chiroptères la journée au cours de la période d'activité et durant tout l'hiver.

Glaneuses : Espèces de chiroptères chassant et capturant des espèces sur le feuillage et/ou au sol.

Guano : Le guano désigne l'amas des déjections des chauves-souris.

Hétérodyne (détection) : Le signal émis par l'animal est confronté à un signal constant émis par le détecteur et ajustable par l'observateur puis filtré par le circuit, pour obtenir une nouvelle fréquence audible.

Hibernation : L'hibernation est un état de léthargie durant lequel un animal diminue progressivement sa température corporelle permettant ainsi à l'animal de conserver son énergie pendant l'hiver.

Hivernage : Période d'activité ralentie durant la saison hivernale (différent de l'hibernation).

Houppier : Partie d'un arbre constituée de l'ensemble des branches situées au sommet du tronc (cime).

Hypogés (gîtes) : Se dit des gîtes qui sont situés sous la surface du sol (ex : grotte, mine, etc.).

IGN : Institut National de l'Information Géographique et Forestière.

Layon forestier : Cheminement forestier utilisé pour la gestion et l'exploitation sylvicole.

LGV : Ligne Grande Vitesse.

Lucifuge : En zoologie, se dit des espèces qui fuient la lumière. La lumière est alors un élément de fragmentation pour les déplacements.

Méllifère : Se dit d'une plante dont le nectar est récolté par les insectes butineurs et notamment les abeilles pour élaborer le miel.

Moellon : Pierre brute de petite dimension employée dans les maçonneries.

ONF : Office national des forêts.

Parturition : Mise bas chez les mammifères.

Phénologie horaire : Influence du cycle horaire sur le comportement des animaux.

PNA : Plan National d'Actions des espèces.

Précontrainte (Pont précontraint) : Technique permettant de combiner un élément par mise en tension d'armatures ou par mise en pression des vérins.

Rejointoiement : Réfection des joints d'une maçonnerie.

SAFER : Société d'aménagement foncier et d'établissement rural.

Sénescence : Processus ou état de dégénérescence cellulaire pouvant entraîner la mort des organismes.

SRCE : Le Schéma Régional de Cohérence Écologique est un document qui identifie les réservoirs de biodiversité et les corridors qui les relient entre eux. Ce nouvel outil d'aménagement défini à l'échelle régionale est co-piloté par l'État et chacune des Régions.

Swarming : Anglicisme qui désigne un comportement de rassemblement de chauves-souris observé entre la fin de l'été et le début de l'automne au cours duquel, pour certaines espèces a lieu la phase de copulation. La traduction littérale de swarming signifie essaimage, pullulation, grouillement.

Téléométrie : Procédé technique permettant de calculer ou de mesurer la distance d'un objet lointain par utilisation d'éléments optiques, acoustiques ou radioélectriques.



Transects : Méthode qui consiste à faire des inventaires le long d'une coupe plus ou moins linéaire.

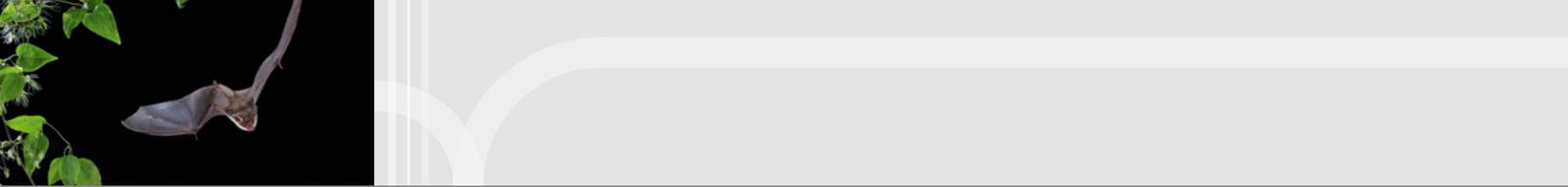
Transit : Déplacement des chiroptères notamment entre les gîtes d'hivernage et d'estivage ou de mise bas.

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

Voussoir : Élément de voûte, de bandeau ou de chaîne d'angle d'un ouvrage (cf. annexe 8).

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique correspondant à une zone d'inventaire définie en raison de la richesse écologique du site (présence d'espèces et/ou d'habitats déterminant au niveau régional).





Bibliographie

A & W Ecologisgh Onderzoek (2011). Rapport 1534 - Wegpassages van Vleermuizen. 38 p.

ABBOTT I., BUTLER F. & HARRISSON S. (2010). Bat crossings along Irish national roads – implications for planning mitigation measures. Conférence INE 2010.

ABBOTT I.M., BUTLER F. & HARRISON S. (2012). When flyways meet highways - the relative permeability of different motorway crossing sites to functionally diverse bat species. Landscape and urban planning, ELSEVIER. 10 p.

ALBALAT F., STOECKLE T. & COSSON E. (2001). Étude chiroptérologique pour le projet routier Salon de Provence-Miramas. DIREN PACA. 41 p.

ARLETTAZ, R., JONES, G. and RACEY, P. A. (2001). Effect of acoustic clutter on prey detection by bats. Nature 414,742 -745

ARLETTAZ R., GODAT S. & MEYER H. (1999). Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (pipistrellus pipistrellus) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (Rhinolophus hipposideros). Elsevier, biological conservation. 55-60.

ARTHUR C.P. et al. (2005). L'inventaire ultrasonore d'un peuplement de Chiroptères en montagne pyrénéenne : Évaluation de la méthode et identification des guildes paysagères. Actes de IV^e Rencontres chiroptères Grand Sud – Bidarray (64) – 19 et 20 Mars 2005. pp.16-36. 21 p.

ARTHUR L. - Groupe chiroptères de la SFEPM (1999). Plan de Restauration – Objectif 3 - Suivi des populations sur les espèces jugées prioritaires - Le Murin à oreilles échancrées - Comptage estival, période 1999-2003. Fiche Technique. 1 p.

ARTHUR L. et al. (2000). Suivi des populations des espèces jugées prioritaires - année 1999. SFEPM, Groupe chiroptères, Direction de la nature et des paysages. 23 p.

ARTHUR L. et al. (2003). Suivi des populations des espèces jugées - prioritaires année 2002. SFEPM, Groupe chiroptères, Direction de la nature et des paysages. 25 p.

ARTHUR L. & LEMAIRE M. (1994). Résultats des premiers aménagements d'ouvrages d'art pour les Chiroptères dans le département du Cher. Acte du colloque gestion et protection des chauves-souris : de la connaissance aux aménagements. 4 p.

ARTHUR L. & LEMAIRE M. (1999). Les chauves-souris : maîtresses de la nuit. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris.

ARTHUR L. & LEMAIRE M. (2009). Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope éditions, 544 p.

ARTHUR L., LEMAIRE M., SOUCHET C., BRAZILIER D., DUTEIL D. & ANISENSEL F. (1996). Ponts et chauves-souris. Article du Bulletin de Liaison n°24 Ouvrages d'Art. 7 p.

ARTOIS M. (1990). Les Chiroptères et la rage en Europe. CNEVA. 11 p.

AULAGNIER S. - Groupe chiroptères de la SFEPM (1999). Plan de Restauration – Objectif 3 - Suivi des populations sur les espèces jugées prioritaires - Le Murin de Capaccini, période 1999-2003. Fiche Technique. 3 p.

BARBOTTE Q. (2010). Étude des comportements de vol des chiroptères en phase de transit face aux structures anthropisées dans le Cher. 23 p.

BARBOTTE Q. (2010). Étude du franchissement des voies routières par les chiroptères en transit. Rapport de stage - Master 1, université de Lille, MNH Bourges. 39 p.

BACH L. BURKHARDT P. & LIMPENS H.J.G.A. (2004). Tunnels as a possibility to connect bat habitats. Mammalia 68(4). 10 p.



BACH, L. P. BACH & MULLER-STIEB H. (2010). Greenbridges as crossovers for bats. Poster 15th Int. Bat. Res. Conf. Prague 22-8.08.2010

BARATAUD M. (1994). Reconnaissance des espèces de Chiroptères français à l'aide d'un détecteur d'ultrason : le point sur les possibilités actuelles. Acte du colloque gestion et protection des chauves-souris : de la connaissance aux aménagements. 11 p.

BARATAUD M. (2001). Les Chiroptères de la directive habitats : le Murin de Capaccini, *Myotis capaccinii* (Bonaparte, 1837). SFPEM. Arvicola tome 13 n°2 : 31-51.

BARATAUD M. (2002). Les Chiroptères de la directive habitats : le Petit rhinolophe *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein 1800). SFPEM. Arvicola tome 14 n°1 : 7-26.

BARATAUD M. (2008). Le marquage luminescent pour l'étude des Chiroptères : note technique.

BARATAUD M. (2011). Protocoles d'étude des habitats de chasse potentiel autour des colonies de mise bas des chiroptères de l'annexe II de la Directive Habitats, 80 p.

BARATAUD M. (2012). Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze & Muséum national d'histoire naturelle, Paris. 337 p.

BARATAUD M. et al. (2005). Etude d'une colonie de mise bas de MYOTIS bechsteini : sélection des gîtes et des habitats de chasse, régime alimentaire, implications dans la gestion de l'habitat forestier, Valégas. 33 p.

BAS Y. et al. (2012) Habitat differentiation among 17 Mediterranean bat species using automatic echolocation calls identification. Biotope, MNHN. P20.

BAT CONSERVATION INTERNATIONAL (BCI) (1999). Bats in American Bridges. Resource publication N°4. 40 p.

BAT CONSERVATION TRUST (2006). Bats and lighting in the UK, Bats and the built environment series. 31 p.

BAT CONSERVATION TRUST (2007). Bat Surveys – Good Practice Guidelines. Guide Technique. 83 p.

BAT CONSERVATION TRUST (2007). BCT Mitigation Conference Proceedings. 124 p.

BATTERSBY J. (2010). Guidelines for surveillance and monitoring of European bats. UNEP, Eurobats publication series 5. 95 p.

BAUCKLOH M, KIEL E-F & STEIN W. (2007). Berücksichtigung besonders und streng geschützter Arten beim der Straß enplanung in Nordrhein-Westfalen. Naturschutz und Landschaftsplanung 39, (1).

BAUMGART G. & STEIMER F. Protégeons les chauves-souris, ces animaux de la nuit qui nous veulent du bien. Conseil général du Bas Rhin.

BEAUX C. (2011). Cas des chauves-souris : passage supérieur de l'A65 ou « Chiroptoduc ». Eiffage. 3 p.

BEAUX C. et al. (2012). Un passage supérieur à chauves-souris pour maintenir les corridors écologiques : autoroute A65 – Secteur de Roquefort (40). Travaux 887 : 44-47.

BECK A. (2005). Fortpflanzungsnachweise des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) für die Schweiz. *Nyctalus* 10 (3-4): 248-249.

BENSETTI F. & GAUDILLAT V. (Coord.) (2002). Cahier d'habitat Natura 2000 : Tome 7 – Espèces animales. Muséum National d'Histoire Naturelle. La documentation française, Paris, 353 p.

BERNARD P. (2003). Autoroute A85 Tours/Vierzon section Saint-Romain-sur-Cher/Pruniers en Sologne : suivi de recolonisation par les Chiroptères des deux cavités du coteau des Cormins. Institut d'écologie appliquée, Cofiroute. 11 p.

BERNARD P. (2004). Autoroute A85 Tours/Vierzon/section Saint-Romain-sur-Cher/Pruniers en Sologne : suivie de recolonisation par les Chiroptères des deux cavités du coteau des Cormins. Institut d'écologie appliquée, Bourges. 11 p.



- BERNARD R. et al. (2002). Petit Bilan des prospections Deux-Sévriennes de l'été 2001. Plecotus - Lettre d'information du Groupe chiroptères de Poitou-Charentes Nature. Janvier 2002 n°12. 2 p.
- BERTHE S., PETIT E. & ANOTTA J.-P. (2012). Conséquences du remembrement et de la fragmentation des haies sur l'activité des Chiroptères du Coglais (35). *Symbioses* n.s 28 : p 71-72.
- BERTHINUSSEN A. & ALTRINGHAM J. (2011). The effect of a major road on bat activity and diversity. *Journal of applied ecology*. 8 p.
- BERTHINUSSEN A. & ALTRINGHAM J. (2012). Do bat gantries and underpasses help bats cross roads safely? 9 p.
- BERTHINUSSEN A. & ALTRINGHAM J. (2015). WC1060 Développement of cost-effective method for monitoring the effectiveness of mitigation for bats crossing linear transport infrastructure. Final report 2015 (and appendixes). 59 p.
- BERTHOUD G. (1986). Protéger les chauves-souris dans les bâtiments, guide à l'intention des architectes, entrepreneurs, propriétaires, maîtres d'œuvre et amis de la nature. Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris. 28 p.
- BESANCON T. (2000). Installation de gîtes à vertébrés auxiliaires en vergers de mirabelliers. AREFE - Station d'Hattonville.
- BEUNEUX G. & COURTOIS J.-Y. (2002). Les chiroptères en milieu forestier en Corse. Groupe chiroptères Corse. *Symbioses* 6 : p 7-10.
- BEUNEUX G., COURTOIS J.-Y. & RIST D. (2010). La Grande Noctule (*Nyctalus lasiopterus*) en milieu forestier en Corse : bilan des connaissances sur les arbres-gîtes et les territoires de chasse fréquentés. *Symbioses* 25, p. 1-8.
- BICKMORE C. (2003). Review of work carried out on the trunk road network in Wales for bats. 65 p.
- BICKMORE & WYATT L. (2003). Review of work carried out on the trunk road network in Wales for bats. 65 p.
- BICKMORE C. & WYATT L. (2006a). Synthèse des travaux conduits pour les chauves-souris sur une route nationale au Pays de Galles (Country Council of Wales, juillet 2003). Article scientifique. *Symbioses* n.s, 15 : 39-42.
- BICKMORE C. & WYATT L. (2006b). Vers un protocole normalisé de cartographie et d'analyse des habitats de chasse des chauves-souris : la méthode télémétrique, application au Petit rhinolophe en Corse. *Symbioses*, bulletin des muséums d'histoire naturelle de la région centre, n.s 15 : 41-42.
- BIEDERMANN M., MEYER I., SCHORCHT W. & BONTADINA F. (2004). Sonderuntersuchung zur Wochenstube der kleinen Hufeisennase in Friedrichswalde-Ottendorf/Sachsen. Unveröffentlichter Bericht. Ausgeführt von BMS GbR, Erfurt & SWILD, Zürich im Auftrag der DEGES, Berlin, 104 Seiten (inkl. Teilbericht Heckenexperiment und Anhang).
- BIOTOPE (2002). Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impacts - DREAL Midi-Pyrénées.
- BIOTOPE (2005). Document d'objectifs SIC FR2400516 « Carrières de Bourges » (Cher 18), Tome 1 : Contexte socio-économique et diagnostic écologique. Biotope et « Chauve-qui-peut ». 44 p.
- BIOTOPE (2006). Autoroute A16, section Amiens/Boulogne sur Mer : bilan environnemental final au titre de la loi d'orientation sur les transports intérieurs. SANEF. 140 p.
- BIOTOPE (2011). Franchissement routier par les chiroptères. Synthèse de données internes à BIOTOPE.
- BIREN I. (2010). Action A6 - Résultats de l'année 2010. CETE Méditerranée, Life, Chiro Med, Natura 2000. 20 p.
- BLAKE D. et al. (1994). Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal Zoologique*. 234, 453-462.
- BLANT M. (1992). Guide pour la protection des chauves-souris lors de la rénovation des bâtiments. OFEFP Berne. Cahier de l'environnement 169. 30 p.
- BODIN J. (2010). Connaissance, gestion et valorisation du patrimoine naturel du Canal des Deux Mers en Midi-Pyrénées. Rapport de synthèse. CREN Midi-Pyrénées. 34 p.



- BODIN J. (2010). Inventaire chiroptérologique sur le Canal des Deux Mers et les rigoles d'alimentation en Midi-Pyrénées. CREN Midi-Pyrénées, Groupe chiroptères. 16 p.
- BOHNENSTENGEL T. (2012). Roost selection by the forest-dwelling bat *Myotis bechsteinii* (mammalia: chiroptera): implications for its conservation in managed woodlands. Laboratory of Eco-Ethology, Institut of Zoology, University of Neuchâtel. Bulletin de la société neuchâteloise des sciences naturelles, 132: 47-62.
- BOIREAU J. (2000). Le traitement des charpentes, quelques infos... SFPEM. L'envol des chiros 1. 3 p.
- BOLDOGH et al. (2007). The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. Acta Chiropterologica: 527-534.
- BONTADINA F. (2011). A Flight into the landscape: spatial needs, habitat suitability and connectivity.
- BOONMAN M. (2011). Factors determining the use of culverts underneath highways and railway tracks by bats in lowland areas. 14 p.
- BOU M-F. et al. (2012). Monitoring the effect of a screen installed to mitigate the impact of a high speed railway on bats. ADIF, MINUARTIA, Museu de Ciències naturals de Granollers.
- BRAUN P. (2008). Travaux publics : La faune lorraine prend la route. Environnement Magazine 1670. 33.
- BRIGGS P.A. (1998). Bats in trees. Arboricultural association. Arboricultural journal, vol 22: 25-35.
- BRIGHAM R. (2007). Bats in forests: what we know and what we need to learn? 1-15.
- BRINKMANN R. et al. (2003). Querungshilfen für Fledermäuse- Schadensbegrenzung bei der Lebensraumzerschneidung durch Verkehrsprojekte. Arbeitsgemeinschaft Querungshilfen. Positionspapier. 11 p.
- BROSSET A. (2003). 9^e symposium européen sur les chauves-souris. Le Courrier de la nature n°204 :13-15.3 p.
- BROWN R.J. & BRACK V. (2001). An unusually productive net site over an upland road used as travel corridor. 2 p.
- BRUNNER M. (1998). Chauves-souris : un constat inquiétant. Est républicain 23/08/1998
- BURETTE L. (2011). Utilisation d'un aménagement de type passerelle par les Chiroptères du genre *Rhinolophus*. Mémoire de première année de Master « Patrimoine Naturel et Biodiversité » de l'université de Rennes. MNH Bourges/Cyberio. 29 p.
- BÜRGI M. (2004) : La forêt fait partie du paysage cultivé. Utilisation de la litière : une mesure de protection de la nature ? Hotspot 9: 8 – 9
- BURNOUF B. (2006). L'envol des chiros, mai 2006, 9p.
- CANNESSON P. (2012). Audit biodiversité : Etude des espèces et des habitats d'espèces animales et végétales sur les bords des autoroutes du réseau SANEF, Dossier spécifique Chiroptères, Massif forestier de Sommedieu – A4. Biotope, SANEF. 36 p.
- CAPO G. (2000). Suivi et déplacements des Chiroptères installés dans les cavités situés sur le tracé de la rocade est de Bourges. CLA, CSRAP, CEN, ROC.
- CAPO G., CHAUT J-J & ARTHUR L. (2006). Quatre ans d'étude de mortalité des Chiroptères sur deux kilomètres routiers proches d'un site d'hibernation. Article scientifique. Symbioses n.s, 15 : 45-46. 2 p.
- CELUCH M. & SEVICK M. (2008) Road bridges as a roosts for Noctules (*Nyctalus noctula*) and other bat species in Slovakia (Chiroptera: Vespertilionidae). 8 p.
- CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGE D'ART DU SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES (1996). Ponts et chauves-souris. Bulletin de liaison : Ouvrages d'arts n°24. 10-16.
- CEN PACA (2011). Suivi des chiroptères sous les ouvrages souterrains de l'autoroute A8 (Le Muy-Roquebrune).



- CETE Méditerranée (2002). Prise en compte de la problématique ornithologique et chiroptérologique dans la Crau : liaison Fos/Salon, section Touguières/A54. Note. 22 p.
- CETE Méditerranée (2010). Protocoles de suivi de collision. Life, Chiro Med. 6 p.
- CETE Méditerranée (2010). Travaux préalables à la réalisation de dispositifs de franchissements routiers – Résultats de l'année 2010.
- CETE Méditerranée et al. (2011). Conservation et gestion intégrée de deux espèces de Chiroptères en région méditerranéenne française : action C3, réalisation de dispositifs de franchissement routiers. Life, Chiro Med. 21 p.
- CETE de Lyon (2013). Articulation des procédures relatives aux milieux naturels. Cas des infrastructures de transport terrestre. Tome 1 et 2.
- CHAMARD E. et BAREILLE S. (2012). La biodiversité dans la gestion des routes : chauves-souris et ouvrages d'art, l'exemple de la DIR Sud-Ouest. RGRA n°905. 56-58.
- CHASSATTE Y. (2010). Notice technique pour l'aménagement des combles de l'école de Vasperviller en faveur des Chiroptères. CPEPESC Lorraine. 10 p.
- CHASSATTE Y. et BOREL C. (2010). Note technique pour les aménagements à Chiroptères de la cité de Gorcy (Moutiers-54). CPEPESC Lorraine. 11 p.
- COATES A. & GILDER I. (2010). The chiltern railways (Bicester to oxford) improvements order.
- COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2011). Le point sur les chauves-souris, des mammifères témoins de l'état de la biodiversité. 4 p.
- COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2013). Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire, compenser les impacts sur les milieux naturels. 232 p.
- CONSERVATOIRE DU PATRIMOINE NATUREL DE CHAMPAGNE ARDENNE (1994). Les actions de sauvegarde des chauves-souris en Champagne-Ardenne, revue de presse 1989-1994.
- CONSERVATOIRE DES ESPACES NATURELS DE CHAMPAGNE-ARDENNE (2012). Étude de la mortalité des chiroptères dans deux secteurs de Champagne-Ardenne.
- CONSERVATOIRE DES ESPACES NATURELS, MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER, PLAN NATIONAL D' ACTIONS CHIROPTÈRES, CONSEIL RÉGIONAL FRANCHE-COMTÉ & SFPEM (2010). Les chiroptères et la gestion forestière. Chiroptères Infos. Bulletin de liaison du plan national d'actions chiroptères n°4, juin 2010, p 2.
- CONSERVATOIRE RHÔNE-ALPES DES ESPACES NATURELS, CORA FAUNE SAUVAGE, LPO DRÔME, GROUPE CHIROPTÈRES RHÔNE-ALPES (2011). Gestion forestière et préservation des chauves-souris, Cahiers Techniques Rhône-Alpes, 31 p.
- CORA & SFPEM. (2007). Étude de l'activité et des terrains de chasse exploités par le Minioptère de Schreibers en vue de sa conservation, 66 p.
- CORNUT J. et GIRARD CLAUDON J. (2012). Guide technique pour la prise en compte des chauves-souris dans les ponts. Cora Faune sauvage, Groupe chiroptères Rhône-Alpes. 29 p.
- COSSON E. (2012). Chauves-souris et ZAC de Leuze (Saint Martin de Crau). Life, Natura 2000 et GCP.
- COSSON E. (2012). Chauves-souris : Comment les protéger de la route ? Résultats d'études 2010-2012 en Provence, constats et solutions possibles. Dans 35^e colloque francophone de mammalogie « Les mammifères dans les écosystèmes aquatiques », Arles 19, 20 et 21 octobre 2012. Groupe chiroptères de Provence.
- COSSON E., KAPFER G., BASSI C., et S. CAPLANNE (2011). Projet de contournement autoroutier de l'agglomération d'Arles : Rapport bibliographique sur l'influence des réseaux routiers sur les Chiroptères. 23 p.
- COSSON E., LUTRINGER A. et DELOUCHE H. (2007) : Impacts et mesures concernant les Chiroptères sur l'itinéraire ITER : dossier pour accréditation de déplacement d'espèce protégée de Chiroptères dans le cadre des travaux de l'itinéraire ITER. Groupe chiroptères de Provence, SCETAUROUTE, BETEREM Infrastructure. 56 p.



- CÔTÉ F. (2006). Impact des éoliennes sur les chauves-souris. Revue de littérature – Bibliothèques et Archives Nationales du Québec, 2007. 18 p.
- CPEPESC Lorraine (2006). Étude d'incidences du projet de mise à 2x2 voies de la RN 59/159 entre Rémomeix et Frapelle (88) en rapport au site Natura 2000 FR4100246 « Gîtes à Chiroptères autour de Saint Dié (88) ». 40 p.
- CPEPESC Lorraine (2009). Connaître et protéger les Chauves-souris de Lorraine. Ciconia, 33 (N. sp.), 562 p.
- CREN Midi-Pyrénées (2011). Mémo technique : les chauves-souris et les ponts. 2 p.
- CZERNIAK A., MILER A., GRAJEWSKI S., OKONSKI B., PODKOWKA M. (2013). Functionality of a wildlife crossing for bats, constructed over the S-3 expressway. Infrastructure and ecology of rural areas. Nr 2013/04 (3(Dec2013))
- DADU L. (2007). Étude télémétrique et protection d'une colonie de Rhinolophes euryales : site natura 2000 des abîmes de La Fage (19), rapport de stage de Master 2 en environnement méditerranéen et développement durable, 53 p.
- DANDLIKER G. et DURAND P. (2001). Bases pour la directive « Planification et construction de passages à faunes à travers des voies de communication ». Département fédéral de l'environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication. 36 p.
- DE BIJL J. (2012). Infrastructuur en vleermuizen – Perspectief van de opdrachtnemer. Advin. 20 diapos.
- DELCORPS M. (2010). Mise à 4 voies d'une liaison ferroviaire au travers d'un site forestier Natura 2000 : Évaluation environnementale et mesures de préservation de la biodiversité. Ministère de la région de Bruxelles-Capitale. Présentation au colloque Paris 2010 : « L'efficacité de l'évaluation environnementale pour l'atteinte des objectifs de développement durable : application à la gestion de la biodiversité » 44 p.
- DEVOS S. et al. (2005). Nouvelles techniques d'investigation par radar des peuplements de Chiroptères. 5 p.
- DEVOS S. et al. (2005). Étude des mouvements d'oiseaux par radar. 205 p.
- DIETZ C. et VON HELVERSEN O. (2004). Clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe. Tuebingen & Erlangen. 56 p.
- DIRECTION RÉGIONALE DE L'ÉQUIPEMENT PACA (2005). Annexe 3 : Modèle de gîte W pour Chiroptères. Groupe chiroptères de Provence, SCETAUROUTE-BETEREM Infrastructures. 63-66.
- DIREN/DREAL Lorraine (2010). Définition et cartographie des enjeux avifaunistiques et chiroptérologiques vis-à-vis des éoliennes en Lorraine. Neomys. 46-65.
- DOREY J. (2010). Les routes et bords de routes : barrières ou corridors écologiques ? Mémoire bibliographique en écologie fonctionnelle, comportementale et évolutive. 26 p.
- DOWNS N.C., BEATON V., GUEST J., POLANSKI J., ROBINSON S.L., RACEY P.A. (2003). The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. Biological Conservation, 111: 247-252.
- DUBOURG-SAVAGE M.-J. (2011). High toll paid by Horseshoe bats to French motorways. 2 p.
- DZWONKO Z. & GAWRONSKI S. (2002). Effect of litter removal on species richness and acidification of a mixed oak-pine woodland. Biological Conservation. 106: 389 – 398
- ECOCONSEIL - CPEPESC Franche-Comté (2004). Étude d'incidence de la LGV Rhin-Rhône sur le site Natura 2000 « Mine d'Ougney ». Rapport final s'inscrivant dans l'APD du projet. 52 p.
- ECOLOR - Conservatoire du patrimoine Naturel de Champagne-Ardenne (2004). Document d'incidences Natura 2000 « Fort de la Bonnelle ». 22 p.
- EKLÖF J. (2003). Vision in echolocating bats. Doctoral thesis Zoology Department. Göteborg University, Sweden. 108 p.
- ENTWISTLE A.C. et al. (2001). Habitat management for bats - A guide for land managers, land owners and their advisors. Guide technique. 48 p.



- ERMINEA (1992). L'autoroute, le pont et le Murin de Daubenton. Cofiroute. 4 p.
- FAIRON J. et al. (2003). Guide pour l'aménagement des combles et clochers des églises et d'autres bâtiments. Brochure technique n°4. 5-75.
- FAUVEL B. (2009). Influence de l'exploitation forestière sur les chauves-souris. Premiers résultats en forêt domaniale du Temple (Aube). *Naturelle* 3. 77-85.
- FAUVEL B. & BECU D. (2006). Description d'une méthodologie pour mesurer l'activité des chauves-souris. SFEPM. *Naturelle* 1 : 23-26
- FÉDÉRATION DES CONSERVATOIRES D'ESPACES NATURELS (FCEN). Plan National d'Actions en faveur des Chiroptères. Disponible sur : <http://www.plan-actions-chiropteres.fr/Fiche-action-No6-a-12>
- FEVE F. (2010). Suivi de mesures prises en faveur des chiroptères sur les projets d'infrastructures – Aménagement des ouvrages inférieurs de la RN33 et suivis des chiroptères. 36 p.
- FEVE F. (2011). Suivi de mesures prises en faveur des chiroptères sur les projets d'infrastructures – Étude du comportement des chiroptères au droit des ouvrages de la RN33 et A35. 49 p.
- FLAQUER C. ; FERNENDEZ-BOU ; ROSELL C., ROSELL C., MATA R.M., SILLER J.M., GARCIA-RÀFOLS R. (2010). Monitoring the effect of a screen installed to mitigate the impact of a high speed railway on bats. International Conference on Ecology and Transportation (Poster). Valence 2010.
- FNE Association (2012). Biodiversité et grands projets ferroviaires, intégrer les enjeux écologiques dès le stade des études. Réseau ferré de France. 59 p.
- FORESTRY COMMISSION FOR ENGLAND AND WALES (FCEW) in partnership with the Bat Conservation Trust, Countryside Council for Wales and English Nature. (2005). Woodland management for Bats. guide technique. 16 p.
- FORGET F. et al. (2006). La feuille de contact Plecotus. *Plecotus* 34 (décembre 2005 - Janvier 2006). 12 p.
- FORGET F. (2006). Construire des routes en pensant aux chauves-souris (traduction résumée de la brochure « Bats and Road construction »). Article de la feuille de contact « Plecotus ». 2 p.
- FOURASTE S. (2012). Compte rendu réunion du 17/12/2012 entre le GCP, la mairie de St Martin de Crau, la communauté d'agglomération ACCM, Boussard Nord et Distrimag (ZI Leuze) concernant la pollution lumineuse. *Life, Chiromed*. 13 p.
- FRAIR J.L. et al. (2008). Thresholds in landscape connectivity and mortality risks in response to growing road networks. *Journal of applied ecology*, 45, 1504-1513.
- FUHRMANN M. & KIEFER A. (1993). Bat conservation and road construction, results of a two-year investigation at a nursery roost of *Myotis myotis*. (Borkausen 1797). In: PALMEIRIM, J.M., RODRIGUES, L. & RABACA, J. [Eds]. European Bat Research Symposium (6, 1993, Evora). Evora PAS: 19.
- FUSZARA E., KOWALSKI M. & LESINSKI G. (1993). Feeding activity of bats in habitats along an urbanization gradient. In: PALMEIRIM, J.M., RODRIGUES, L. & RABACA, J. [Eds]. European Bat Research Symposium (6, 1993, Evora). Evora PAS: 19.
- GAISLER J. REHAK Z. & BARTONIEKA T. (2009). Bat casualties by road traffic. 10 p.
- GESSNER B et al. (2011). Fledermaus-Handbuch LBM. Rheinland-Pfalz, LBM. 160 p.
- GIGLEUX M. - Cerema-Est (2003). Aménagement de la RN 19 et de la RN 57 dans la traversée du site Natura 2000 « Réseau de cavités à Rhinolophes de la région de Vesoul ». Notice d'incidence. 15 p.
- GIOSA P. & FOMBONNAT J. (2002). Quelques données sur les gîtes arboricoles en forêt de Tronçais (Allier). *Chauves-souris Auvergne*. *Symbioses*, n.s. 6 : 5-6.
- GIRONS M.-C. (1981). Notes sur les mammifères de France. Les pipistrelles et la circulation routière. Note – *Mammalia* tome 45, n°1. pp.131. 1 p.



- GODINEAU F. et PAIN D. (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire & SFPEM) (2007). Plan national de restauration des chiroptères en France métropolitaine 2008-2012, 152 p.
- GOUMY S. (2012). Étude des comportements de vol des Chiroptères en phase de transit face aux structures anthropisées dans le Cher. Rapport de stage, Master 1 en Comportement animal et humain. 23 p.
- GREMILLET X. & CAROFF C. (2009). Création d'un gîte alternatif à chauves-souris (29). GMB.
- GRUPE CHIROPTÈRES CORSE (2008). Études : Captures, Prospection, Radiotrack. Page « études » du Site Internet du Groupe chiroptère Corse. www.chauvesouriscorse.fr. 3 p.
- GRUPE CHIROPTÈRES DE MIDI-PYRÉNÉES & ESPACES NATURELS DE MIDI-PYRÉNÉES (2005). Des chauves-souris et des forêts, Fiche technique 4 - Forêts, 9 p.
- GRUPE CHIROPTÈRES DE MIDI-PYRÉNÉES & ESPACES NATURELS DE MIDI-PYRÉNÉES (2005). Des chauves-souris et des ponts : Fiche technique 8. 6 p.
- GRUPE CHIROPTÈRES DE MIDI-PYRÉNÉES & ESPACES NATURELS DE MIDI-PYRÉNÉES (2009). Les chauves-souris et l'espace rural : du gîte aux terrains de chasse : Fiche technique 4. 8 p.
- GRUPE CHIROPTÈRES DE PROVENCE (GCP) (2008). Les techniques d'étude des Chiroptères sur le terrain. Disponible sur : <http://www.gcprovence.org> - 4 p.
- GRUPE CHIROPTÈRES DE PROVENCE (GCP) (2013). Action A6 : Travaux préalables à la réalisation de dispositifs de franchissements routiers. Rapport de synthèse. 65 p.
- GRUPE CHIROPTÈRES PAYS DE LA LOIRE (2007). Les ponts : des ouvrages d'art favorables. 4 p.
- GRUPE MAMMALOGIQUE BRETON. Opération « refuge pour les chauves-souris ». Guide technique - Accueillir des chauves-souris dans le bâti et les jardins. 20 p.
- GRUPE MAMMALOGIQUE NORMAND (2012). Les Chiroptères : plan interrégional d'actions 2009-2012, Haute et Basse-Normandie. 69 p.
- GUERIN B. (2000). Forêt communale de Colmar-Niederwald. Série d'intérêt écologique particulier. Étude des chauves-souris. 8 p.
- GUILLAUME C. & ROUE S. (2004). Synthèse des connaissances sur les Chiroptères sur le secteur d'étude de la voie des Mercureaux (25). Service gestion des infrastructures/ETN 3, CPEPESC Franche-Comté. 9 p.
- GUINARD E. (2010). Rapport de synthèse de la conférence IENE 2010 à Valence. Sétra, CETE du Sud-Ouest. 15 p.
- HAENSEL J. & RACKOW W. (1996). Fledermäuse als Verkehrsoffer— ein neuer report. *Nyctalus* (NF), 6:29-47.
- HAQUART A. – Groupe chiroptères de la SFPEM (1999). Plan de Restauration – Objectif 3 - Suivi des populations sur les espèces jugées prioritaires - Le minioptère de Schreiber, Suivi hivernal, période 1999-2003. Fiche Technique. 6 p.
- HAMON B. (1990). État et causes de la mortalité des chauves-souris : note sur une enquête menée en Moselle (1981-1986). *Le Rhinologue* n°7 : 29-35.
- HAROUET M. & MONFORT D. (1995). La protection des chauves-souris. *Bulletin de la société des sciences naturelles de l'Ouest de la France* - n°3 - Tome 17. 12 p.
- HEURTEBISE C. (2011). Démarche ASF de requalification en faveur de la biodiversité. ASF, Vinci autoroutes. 10 diapos.
- HEURTEBISE C. Requalification en faveur de la biodiversité, ASF Aménageur responsable. Préserver la biodiversité : un enjeu national, les actions d'opérateurs d'infrastructure. 7-9.
- HIGHWAYS AGENCY (1999). Nature conservation advice in relation to bats. Design manual for roads and bridges. Guide technique. 34 p.



- HIGHWAYS AGENCY (2006). Best practice in enhancement of highway design for bats. Halcrow group limited. 52 p.
- HIGHWAYS AGENCY (2011). A review of bat mitigation in relation to highway severance. 112 p.
- HINTERMANN G., BRINKMANN G., BIEDERMANN M., BONTADINA F., DIETZ M., KARST I., SCHMIDT C., SCHORCHT W., EIDAM T., LINDNER M. (2012). Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse. – Ein Leitfaden für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, 116 p.
- HONORE N. (2011). Arrêté n°2011-246 portant sur les prescriptions environnementales de l'aménagement foncier agricole et forestier des communes de Evigny, LA FRANCHEVILLE, MONDIGNY, PRIX-LES-MEZIERES, WARCQ et WARNECOURT, avec extension sur les communes de CHAMPIGNEUL SUR VENCE, GRUYERES et FAGNON. Préfecture des Ardennes.
- HUTSON A. M. (ed.) & LINA P. H. C. (ed.). (2008) Abstracts of the XIth European Bat Research Symposium. Cluj-Napoca : Babes-Bolyai University. 173 p.
- INGÉROP/RFF. (2011). Diagnostic et évaluation des enjeux LGV POCL. 22 p.
- JABERG C. et al. (2006). Utilisation du milieu forestier par les chauves-souris (Mammalia Chiroptera) du canton de Neuchâtel-implications pour la gestion sylvicole. Schweiz Z Forstwes. 157 : 254-259.
- JABERG C. et al. (2012). Quelles forêts pour les chauves-souris ? Disponible sur : http://www.waldwissen.net/wald/tiere/saeuger/wsl_chauves_souris/index_FR
- JAY M. et MANDRIN J-F. (1997). Oiseaux et chauves-souris : des partenaires pour la lutte intégrée. Infos-CTIFL n°130 : 26-31.
- JGA LIMPENS H. et al. (2008). Actes de colloque : 4^e Rencontre « Routes et faune sauvage » : Infrastructures de transport et petite faune. Chambéry, 21 et 22 septembre 2005, Sétra. 38-44.
- JONES G. et al. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. Endangered species Research 8: 93-115.
- JOURDE P. (2002). Inventaire des chauves-souris de la réserve d'Yves. Plecotus - Lettre d'information du Groupe chiroptères de Poitou-Charentes Nature. Janvier 2002 n°12. 2 p.
- KEELEY B. W., TUTTLE M. D. (1999). Bats in American bridges. Bat Conservation International, Inc. 40 p.
- KEELEY B. W. (2005). Guidelines for the treatment of bats during the construction of national road schemes. Guide technique. 13 p.
- KERBIRIOU C. et al. (2012). Suivi temporel des chauves-souris communes : le protocole. CNRS, Muséum national d'histoire naturelle.
- KERTH G. (2008). Causes and consequences of sociality in bats. Bioscience, 58 : 737-746.
- KERTH G. & MELBER M. (2008). Species specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. Biol. Conserv. 142(2): 270-279.
- KERTH G., WAGNER M. et KONIG B. (2001). Roosting together, foraging apart: information transfer about food is unlikely to explain sociality in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*). Behavioral Ecology and Sociobiology, Vol. 50, No. 3, pp. 283-291
- KERVYN T. (2004). Enquête « Colonies estivales de chauves-souris ». Disponible sur : <http://www.biodiversite.wallonie.be>
- KIEFER A., MERZ H., RACKOW W., ROER H. et SCHLEGEL D. (1995). Bats as traffic casualties in Germany. Article scientifique. Myotis n°32-33. pp. 215-220. 6 p.
- KNIGHT T. & JONES G. (2009). Importance of night roosts for bat conservation : roosting behaviour of the lesser horseshoe bat. 8 p.
- KRÄTTLI H., (2005). Fassaden-Beleuchtungen: eine Bedrohung für Fledermäuse? Fledermaus-Anzeiger, 80: 10-11.
- KUCHARSKA M. & FURMANKIEWICZ J. (2009). Migration of bats along a large river valley in southwestern Poland. 8 p.



- KUIJPER D. et al. (2008). Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Endangered Species Research*. 37-49.
- KUREK K. et MYSLAJEK R.W. (2012). No effect of local roads on the habitat used by the Whiskered Bat (*Myotis mystacinus*). University of Warsaw, Association for nature: "Wolf".
- LAGUET S. (2008). Inventaire des Chiroptères en forêt de montagne. Forêt communale de la Motte-Servolex. Le Bievre, Tome 22 : 31-46.
- LALLEMENT H. (2006). Proposition d'une probabilité mesurant l'activité des Chiroptères sur un site de chasse. *Naturelle I* : 27-30.
- LARRIEU L. (2005). Étude de biodiversité Hèches : Inventaire de Chiroptères. CRPF Midi-Pyrénées. 25 p.
- LE GOUIL C. (2012). Impact de la luminosité naturelle nocturne sur le comportement de transit des Chiroptères (*Rhinolophus* et *Pipistrellus*). Mémoire Master 1 en éthologie. 20 p.
- LE HOUDEDEC A. – Myotis Environnement (2007). BIR Compteur : Outil Infrarouge de détection et de dénombrement. Poster présenté au Colloque de Restitution du Programme Life chiroptère Grand Sud à Banyuls sur mer. 26 Octobre 2007. 5 p.
- LEMAIRE M. & ARTHUR L. (1998). Les Chauves-souris et les routes. Actes des 3^e rencontres « Routes et Faune Sauvage ». pp.139-150.
- LEMAIRE M. & ARTHUR L. (1999a). Les Chauves-souris, Maîtresses de la nuit. Ed. Delachaux et Niestlé (réed. 2005). 265 p.
- LEMAIRE M. & ARTHUR L. (1999b). Relations entre les ponts et les Chiroptères en dehors de la période d'hibernation dans le département du Cher. SFEPM. ARVICOLA Tome XI n°1. p 13-19.
- LEMAIRE, M., ARTHUR, L., MORIN, A. & PREVOST, C. (Muséum d'histoire Naturelle de Bourges) (2006). Étude du transit des chauves-souris et propositions d'aménagements autour de la rocade Est de Bourges. *Symbioses* n°15. pp.47-52. 7 p.
- LESINSKI G. (2007). Bat road casualties and factors determining their number. Article scientifique. *Mammalia*. pp.138-142. 5 p.
- LESINSKI G. (2008). Linear landscape elements and bat casualties on road – an example. 4 p.
- LESINSKI G., SIKORA A. & OLSZEWSKI A. (2010). Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. 7 p.
- LIMPENS H. & VELTMAN M. J. (2012). Een vleermuisvriendelijke lamp ? Een vleermuisvriendelijk kleurspectrum ? Zoogdier vereniging, Led Expert. 48 diapos.
- LIMPENS H., VELTMAN M.J., DEKKER J., JANSEN E.A. & HUITEMA H. (2011). Bat friendly colour spectrum for artificial light. Zoogdier vereniging et LED Expert. XII European Bat Research Symposium, Vilnius, Lithuania.
- LIMPENS H.J.G.A., TWEESK P. & VEENBAAS G. (2005). Bats and Road Construction - Brochure about bats and the ways in which practical measures can be taken to observe the legal duty of care for bats in planning, constructing, reconstructing and managing roads. 24 p.
- LOEHR V. (2012). Infrastructuur en vleermuizen : Perspectief van de opdrachtgever. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu. 25 diapos.
- LUGON A., ROUE S. & PETIT A. (2012). Des passages aménagés pour le Minioptère de Schreibers sur la Ligne à Grande Vitesse (LGV Rhin-Rhône). Ecoconseil, Réseau ferré de France, La Chaux-de-Fonds.
- LUSTRAT P. (1996). Meilleure saison pour capturer des Chiroptères en milieu forestier. SFEPM Arvicola Tome VIII, n°1 : 8-9.
- LUSTRAT P. (1997). Biais dus aux techniques d'étude des Chiroptères en activité de chasse en milieu forestier. SFEPM. Arvicola t. IX, n°1 : 7-10
- LUSTRAT P. (1998). Les chauves-souris de la forêt de Fontainebleau. Bulletin de l'Association des Amis de la forêt de Fontainebleau, 1998/1 : 26-27.



- LUSTRAT P. (2000). Etude et protection des gîtes d'hibernation des chauves-souris dans le massif de Fontainebleau. La voix de la forêt, Bulletin de l'association des amis de la forêt de Fontainebleau 2002/2 :29-30.
- LUSTRAT P. (2001). Les territoires de chasse des chiroptères de la forêt de Fontainebleau, Le Rhinolophe, 15 : 167-173.
- MAGNIN B. (1994). Sauvetage de la colonie de Grands murins du pont de Corbières. Acte du colloque gestion et protection des chauves-souris : de la connaissance aux aménagements. 4 p.
- MALAKOFF D. (2009). Road presents invisible barriers to bats. Science now 14/01/09.
- MALFAIT G. (2011). Le point sur les chauves-souris, des mammifères témoins de l'état de la biodiversité. Commissariat général au développement durable n°73 : 1-4.
- MASSONOT N. - DDE (1994). Réalisation d'un sanctuaire de chauves-souris en Haute-Marne. Acte du colloque gestion et protection des chauves-souris : de la connaissance aux aménagements. 3 p.
- MAUGARD J-P. - DDE Cher (1995). Les Chiroptères et les ouvrages d'art dans le département du Cher. Rapport d'étude. 31 p.
- MCGREGOR R.L., BENDER D.J. & FAHRIG L. (2008). Do small mammals avoid roads because of the traffic? Journal of applied ecology 45, 117-123.
- MESCHEDE A. & HELLER K-G. (2001). Bats and forest management in Germany : a research and development project of the Federal Agency for Nature Conservation, Bonn (1996-1998): Volume 42 n°1. Bat research news: 1-3.
- MESCHEDE A. & HELLER K-G (2003). Écologie et protection des chauves-souris en milieu forestier. SFEPM. Le Rhinolophe n°16. 248 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE (2012). Doctrine relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel. Ministère de l'écologie. 8 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'AMÉNAGEMENT, DU LOGEMENT ET DE LA NATURE (2013). Les conditions d'application de la réglementation relative à la protection des espèces de faune et de flore sauvages et le traitement des dérogations. 20 p.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, ET DE L'ÉNERGIE (2012). Guide « Espèces protégées, aménagement et infrastructure ». 65 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, DIRECTION DU DÉVELOPPEMENT DE LA FAUNE (2006). Protocoles d'inventaires acoustiques de Chiroptères dans le cadre de projets d'implantation d'éoliennes au Québec. 7 p.
- MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT (2005). Bats and road construction. 25 p.
- MITCHELL-JONES A.J. Timber treatment, pest control and building work. Conserving and creating bat roosts. Chapter 10 and 11: 95-134.
- MITCHELL-JONES A.J. (2012). Chauves-souris et gestion forestière : Quelques espèces. UNEP/Eurobats.
- MITCHELL-JONES A.J. et al. (2007). Protection et gestion des gîtes souterrains pour les Chiroptères. PNUE, Eurobats Publication Series n°2. 38 p.
- MOESCHLER P. (1991). Concept national pour la protection et l'étude des chauves-souris. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, centre de coordination suisse pour l'étude et la protection des chauves-souris. Publication spéciale du Rhinolophe n°1. 101 p.
- MOESCHLER P. (1996). Fledermausschutz bei einer Straßenneubauplanung: Ergebnisse einer zweijährigen Untersuchung an einem Wochenstubenquartier von Großen Mausohren (*Myotis Myotis*, Borkhausen 1797). 133-140.
- MOESCHLER P. et al. (1992). Le Rhinolophe n°9. Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris, muséum d'histoire naturelle de Genève. 80 p.



MONSALVE M.A., ALMENAR D., SANCHO V., ALCOECER T., RUIZ C. & GARCIA - Comportamiento de los murciélagos cavernícolas ante las medidas correctoras de la autovía A-7 a su paso por la "Cova Joliana", Alcoi (Alicante). SECEMU. IV journée de la SECEMU. 8 et 9 décembre 2012, Granollers.

MORIN A. (2003). Étude du transit des Chiroptères sur un tronçon de la rocade Est de la ville de Bourges en vue d'une proposition d'aménagement. Rapport de stage UFRS.V.E, Maîtrise en biologie des populations et des écosystèmes. 19 p.

MOUREY J-M & TOURLOUT J. (2010). Fiche technique biodiversité n°3 : les arbres à conserver pour la biodiversité, comment les identifier et les désigner ? ONF. 8 p.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE DE BOURGES (1991). Étude d'impact du tracé de la rocade est de Bourges sur les carrières du château. 45 p.

NACHTaktiv & SWILD (2006). S170 ou Friedrichswalde-Ottendorf, VKE 315. Nachuntersuchung 2006 Konfliktbereich S 5 zur Sonderuntersuchung. „Kleine Hufeisennase Friedrichswalde Ottendorf/Sachsen“. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der DEGES, Berlin. 40 p.

N'GAHANE P. (2011). Arrêté n°2011-118 portant sur les prescriptions environnementales de l'aménagement foncier agricole et forestier de la commune de Haudrecy, avec extension sur les communes de Belval, Cliron, Ham les Moines, Remilly les Pothées, Saint Marcel et Sury. Direction départementale des territoires des Ardennes. 6 p.

NABET F. (2005). Les chauves-souris de chartreuse : biologie et mesures de protection. Thèse en médecine, pharmacie, école nationale vétérinaire de Lyon. 46 p.

NATIONAL ROADS AUTHORITY (2005). Best Practice Guidelines for the Conservation of Bats in the Planning of National Road Schemes. Livret technique. 44 p.

NEMOZ M. & PAIN D. (2008). À quelle échelle travailler ? Prendre en compte des enjeux Chiroptères. Espaces naturels n°23, 28.

NEOMYS (2005). Projet d'Aménagement de la RN 66 dans la vallée de la Moselle entre Ferdrupt et Fresse-sur-Moselle (88) - Dossier d'évaluation des incidences au titre de l'Article L414-4 du Code de l'Environnement (Chap. IV, Section 1) - Complément à l'étude d'impacts - Expertise chiroptérologique. Rapport. 20 p.

NERI F. - Espaces Naturels de Midi-Pyrénées (2004a). 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. Rapport. 16 p.

NERI F. - Espaces Naturels de Midi-Pyrénées (2004b). Chauve-souris et aménagement routier. Bulletin de liaison « KAWA SORIX » du Groupe chiroptères Midi-Pyrénées. 1 p.

O'DONNELL C. & SEDGELEY J. (2001). Guidelines for surveying and monitoring long-tailed bat populations using line transect. Doc science internal series 12. 20 p.

OGE (2012). Suivi d'ouvrages de franchissement pour la faune sur l'A89 : 4.1 Buse section ronde au PK 160,8. ASF n°11065. 11-14.

ONF (2002). Chauves-souris en forêt, Qui connaît les chiroptères, Arborescence n°95, mars-avril 2002, p 2-29.

PARC NATUREL RÉGIONAL DES CAPS ET MARAIS D'OPALE (2011). Guide technique : étudier et protéger les chauves-souris. CMNF. 44 diapos.

PARC NATUREL RÉGIONAL DE CAMARGUE (2013). Guide technique n°1 : Dispositifs d'aide au franchissement des routes. Programme Life+ Chiro Med 2010-2014. 31 p.

PARC NATUREL RÉGIONAL DE CAMARGUE (2013). Guide technique n°6 : Techniques d'imagerie au service de la conservation. Programme Life+ Chiro Med (2010-2014). 23 p.

PATRIARCA E. & DEBERNARDI P. (2010). Bats and light pollution. UNEP/Eurobats. 27 p.

PAVAND A. (Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées / Espaces Naturels de Midi-Pyrénées) 2006. Des chauves-souris et des arbres, Le point sur les chauves-souris et les haies, Rencontre nationale de la haie champêtre, Auch le 6 octobre 2006, 24 p.



- PENICAUD P. (2000a). Les Chauves-souris et les arbres : Connaissance et Protection. Plaquette d'information. 2 p.
- PENICAUD P. (2000b). Chauves-souris arboricoles en Bretagne (France) : typologie de 60 arbres-gîtes et éléments de l'écologie des espèces observées. SFEPM. Le Rhinolophe 14 : 37-68.
- PENICAUD P. (2001). Connaître et protéger les chauves-souris de Franche-Comté. CPEPESC et DIREN Franche-Comté.
- PÉNICAUD, P. (2006). Enquête nationale sur les arbres-gîtes à chauves-souris arboricoles. Mammifères Sauvages 52: p 16-18
- PÉNICAUD P. & LE RESTE G. (2011). Enquête nationale sur les arbres-gîtes à chauves-souris arboricoles, 2 p.
- PETROV B. (2008). Bats: methodology for environmental impact assessment and appropriate assessment. National museum of natural History. 87 p.
- PLANCKAERT O. (2011). Action C3-2011 : Réalisation de dispositifs de franchissement routier – Avertisseur sonore : lieu et méthode de pose de l'enrobé spécial. Groupe chiroptères de Provence. 7 p.
- PLANCKAERT O. (2011). Action C3-2011 : Revêtements routiers et avertisseurs sonores pour le Grand rhinolophe. Groupe chiroptères de Provence. 6 p.
- PLANCKAERT O. (2012). Action A6 : Protocole pour les études préalables à la réalisation de dispositifs de franchissements routiers. Groupe chiroptères de Provinces, Life. 7 p.
- POGACNIK E. & STOJAN-DOLAR M. (2011). How does the light at night affect animals? Life at night.
- PRADINES C. (2009). Infrastructures routières : les allées d'arbres dans le paysage. Convention Européenne du Paysage, Conseil de l'Europe. Dans 5^e conférence du conseil de l'Europe sur la convention européenne du paysage, Strasbourg 30-31 mars 2009. 66 p.
- PRECIGOUT L. et al. (2008). Plecotus : la lettre d'informations du groupe chiroptères de Poitou-Charentes Nature, n°16.
- QUECKENBORN D. (2004). Porquerolles 2004 : Recherche d'une colonie de Murins à oreilles échancrées par radiotracking (PN Port Cros). Actes de IV^e Rencontres chiroptères Grand Sud – Bidarray (64) – 19 et 20 Mars 2005. pp. 13-15. 3 p.
- QUETIER F. (2012). La compensation écologique. Biotope. 5 p.
- RAEVEL P. & LAMIOT F. - Greet Ingénierie/Région Nord-pas-de-Calais (1998). Incidence de l'éclairage artificiel des infrastructures routières sur les milieux naturels. Actes du 3^{ème} congrès Routes et Faune Sauvage - Conseils de l'Europe - Strasbourg. 9 p.
- RANSOME R.D. (1996). The management of feeding areas for greater horseshoe bats. English Nature Research Report, No. 174: 1-74.
- REHAK Z., BARTONIEKA T. & GAISLER J. (2009). Bat casualties on road: is mortality of bats correlated with their flight activity?
- RFF, OGE (2009). Synthèse des suivis (chiroptères) de 2006 à 2008.
- RICO P., DESBAS J-B. & BAS Y. – Biotope (2013). Modelling Bat Mortality Risk on a Railway Using Acoustic Flight Path Reconstruction. 24 diapos.
- RIST D., BEUNEUX G. & COURTOIS J-Y. (2010). Recherche des territoires de chasse du Murin de Capaccini (*Myotis capaccinii*) en Corse; premiers résultats. Symbioses 25, p 28-31.
- ROBERTS G. (2007). How did the bats cross the road? By using a special "bat bridge". Article « the Independent ». 1 p.
- RODRIGUES L. et al. (2005). Éoliennes et Chiroptères : Recommandations pour la planification des projets et les études d'impact, Annexe 1 de la Résolution 5.6. Eurobats. 49-77.
- RODRIGUES L. et al. (2012). Report of the IWG on Wind turbines and bat populations. 17th Meeting of the advisory committee. 19 p.



- ROLANDEZ J-L. (2005). Inventaire des Chiroptères de la forêt de Seillon. La Bièvre, 20 : 9-20.
- ROUE S.Y. - CPEPESC Franche-Comté (1994). Situation des Chiroptères en France : éthologie, biologie des espèces, niches écologiques, habitat, statut. Acte du Colloque gestion et protection des chauves-souris : de la connaissance aux aménagements. 13 p.
- ROUE S.Y. - CPEPESC Franche-Comté (1999). Étude biologique sur la bande du projet routier Lure-Vesoul (RN19) - Les Chiroptères et leurs gîtes. Rapport. 22 p.
- ROUE S.Y. - CPEPESC Franche-Comté (2002). Étude chiroptérologique - Projet routier RN 19 - Secteur Calmoutiers (70). Rapport. 17 p.
- ROUE S. Y. (2004). Inventaire des sites à protéger à Chiroptères en France métropolitaine. SFEPM, Groupe chiroptères, Direction de la nature et des paysages. 91 p.
- ROUE S.Y. (2007). Des chauves-souris en forêt ? Revue L'Azuré - n° spécial forêt, n°6 : 6-7.
- ROUE S. Y. et al. (2008). Plan de restauration des Chiroptères : suivi des populations des espèces jugées prioritaires – années 1999 à 2003. SFEPM. Arvicola, tome 19 n°2 : 33-64.
- ROUE S. Y. & BARATAUD M. (1999). Habitats et activité de chasse des Chiroptères menacés en Europe : synthèse des connaissances actuelles en vue d'une gestion conservatrice. Le Rhinolophe, Vol spéc. 2. 7 p.
- ROUE S. Y. & GUILLAUME C. (2006). Étude menée sur l'impact d'un projet routier sur une population de Grands rhinolophes en Haute Saône. Revue SCI Bourgogne Nature, hors-série 1 : 132-140.
- ROUE S. Y., LUGON A. & PETIT A. (2006). Intégration d'un site majeur à Chiroptères dans un programme de construction de ligne à grande vitesse. CPEPESC Franche-Comté, Ecoconseil S.A., Réseau Ferré de France.
- ROUE S. Y. et le groupe chiroptères SFEPM. (1997). Les chauves-souris disparaissent-elles ? Vingt ans après. Arvicola Tome 9, n°1 : 19-24.
- RUFFELL J., GUILBERT J. et PARSONS S. (2009). Translocation of bats as a conservation strategy : previous attempts and potential problems. Endangered species research. Vol 8: 25-31
- RUFRAY V. – Bureau d'études Biotope (2005). Radiotracking sur *Myotis blythii* – Mas des Caves, Hérault. Actes de IV^e Rencontres chiroptères Grand Sud – Bidarray (64) – 19 et 20 Mars 2005. Présentation Power-point. pp.9-13. 3 p.
- RUSS J.M., BRIFFA M. & MONTGOMERY W.I. (2003). Seasonal patterns in activity and habitat use by bats in Northern Ireland, determined using a driven transect. The zoological society of London 259: 289-299.
- RUSSELL A.L. et al. (2009). Road-killed bats, highway design and the commuting ecology of bats. Endangered species research. 12 p.
- RYDELL J. (1991). Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. Holarctic Ecology. 14 : 203-207.
- RYDELL J. (1992). Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. Functional Ecology, 6: 744-750.
- SAINT GIRONS M.C. (1981). Notes sur les mammifères de France XV les pipistrelles et la circulation routière. Mammalia t.45 n°1. P131.
- SCHAUB A., OSTWALD J. et SIEMERS B. (2008). Foraging bats avoid noise. The journal of experimental biology. 7 p.
- SCHORCHT W., BIEDERMANN M., KARST I. & BONDINA F. (2008). Roads and bats: insights from studies on low flying lesser horseshoe bats. In abstracts of the XIth European bat research symposium.
- SCHORCHT W., BIEDERMANN M., KARST I. & BONDINA F. (2011). Lesser Horseshoe bats and the motorway Dresden-Prag Mitigation measures and monitoring scheme.



- SCHUT J., VAN DER HEIDE Y., BOS D., HUITEMA H., LIMPENS H.J.G.A. (2011). Wegpassages van vleermuizen, A&W rapport 1534. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- SEMPE M. (1995). Les ouvrages d'art : des gîtes d'importance pour les Chiroptères. Mémoire de stage BTS.
- SER-FEE, SFPEM, LPO (2010). Protocole d'étude chiroptérologique sur les projets de parcs éoliens. 8 p.
- SÉTRA (1988). Observatoire doller : suivi écologique, année 1984.
- SÉTRA (2002). Traitement des obstacles latéraux sur les routes principales hors agglomération. Guide technique, 131 p.
- SÉTRA (2007) Bilan Loti : les Chiroptères, guide technique : Chiroptères et infrastructures. Sétra, milieux naturels faune, flore. 21 p.
- SÉTRA (2008). Routes et Chiroptères, état des connaissances. Rapport bibliographique. 63 p.
- SÉTRA (2009). Note d'information – Chiroptères et infrastructures de transports terrestres. 22 p.
- SÉTRA (2012). Chantiers routiers et milieux naturels – Prise en compte des milieux et des espèces – Guide Technique. Collection « Les outils » Sétra. 5-7
- SFPEM (2002). Les chauves-souris, hôtes des ponts, connaissance et protection. 2 p.
- SFPEM (2005). Actes des IV^e rencontres Chiroptères grand sud. Arvicola tome 7 n°2. 36 p.
- SFPEM (2012). Les Chauves-souris : plan de restauration 2008-2012. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. 152 p.
- SIEMERS B.M. & SCHAUB A. (2010). Hunting at the highway : traffic noise reduces foraging efficiency in acoustic predators. *Proceedings of the royal society B*. 278, 1646-1652.
- SIEMERS B. M. & SWIFT S. M. (2006). Differences in sensory ecology contribute to resource partitioning in the bats *Myotis bechsteinii* and *Myotis nattereri* (Chiroptera : Vespertilionidae). *Behavioural and Ecological Sociobiology*, 59, p 373-380.
- SOCIÉTÉ D'HISTOIRE NATURELLE D'AUTUN (2007). Les Chauves-souris en Bourgogne, cahier technique. Parc naturel régional du Morvan. 20 p.
- SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES DE L'OUEST DE LA FRANCE (1995). Bulletin de la société des sciences naturelles de l'ouest de la France n.s. Tome 17, n°3.
- SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE ET LA PROTECTION DES MAMMIFÈRES (SFPEM) (2006). Recommandations pour une expertise chiroptérologique dans le cadre d'un projet éolien. Fiche Technique. 7 p.
- SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE ET LA PROTECTION DES MAMMIFÈRES (SFPEM) (2008). Connaissance et Conservation des gîtes et habitats de chasse de 3 Chiroptères cavernicoles : Rhinolophe euryale, Murin de Capaccini et Minioptère de Schreibers. Guide technique - Synthèse des résultats du Programme Life chiroptère Grand Sud 2004-2008 - ed. Muséum National d'Histoire Naturelle. 103 p.
- STECK C., KORNER-NIEVERGELT F. & BRINKMANN R. (2012). Identification of areas with high probability of bat-crossings on the region scale. Freiburg Institut für angewandte Tierökologie GmbH. Poster.
- STEPHAN S. & BETTENDORF J. (2011). Range of a Bechstein's bats colony overlapping a motorway. Poster présenté lors du "12th Bat research symposium", Vilnius, Lituanie.
- STONE E.L., JONES G., HARRIS S. (2009). Street Lighting Disturbs Commuting Bats. 5 p.
- STONE E.L., JONES G., HARRIS S. (2012). Conserving energy at a cost to biodiversity ? Impacts of LED lighting on bats. *Global change biology* 18, 2458-2465.
- SWIFT S. M., RACEY P.A. (2002). Gleaning as a foraging strategy in Natterer's bat *Myotis nattereri*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 52 : 408-416.



SWILD & NACTaktiv (2007). Schadensbegrenzung für die Kleine Hufeisennase an Straßen – Experimente zur Wirksamkeit von Schutzzäunen. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der DEGES, Berlin. 31 p.

TAPIERO A. (2012). Chiroptères : comment aménager des sites anthropisés. *Espaces naturels* n°37 : 38-39.

TAPIERO A. et al. (2011). Chauves-souris : leur prise en compte dans la gestion forestière. FCEN. *Forêts de France* n°540 : 39-43.

THOMAS D.W. & WEST S.D. (1989). Sampling methods for bats. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-243. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland. 20 p.

TILLON L. (2008). Inventorier, étudier ou suivre les chauves-souris en forêt, *Conseils de gestion forestière pour leur prise en compte (et annexes)*. Office national des forêts. 88 p.

TILLON L. (2010). Récapitulatif des protocoles à appliquer sur les Chiroptères en forêt. ONF. 20 p.

TILLON L. (2011). Note récapitulative des protocoles à appliquer sur les Chiroptères en forêt, Cas des réserves biologiques et des îlots de vieux bois. ONF. 5 p.

TILLON L. (2012). Prise en compte des Chiroptères dans la gestion forestière, de l'étude aux mesures concrètes : un exemple en forêt de plaine. *Symbioses*, n.s 28.

TILLON L. (2015). « Utilisation des gîtes et des terrains de chasse par les Chiroptères forestiers, propositions de gestion conservatoire », Université Paul Sabatier, Toulouse, thèse soutenue à Paris le 22 septembre 2015.

TILLON L. et al. (2002). Chauves-souris en forêt : qui connaît les Chiroptères ? ONF. *Arborescences* n°95 : 2-29.

TILLON L., TAPIERO A. & LAPORTE M. (2010). Table ronde sur le plan national d'actions : quelles stratégies de conservation des chiroptères en forêt ? p 20-21.

TILLON L. et al. (2012). Rapport d'expertise portant sur les Chiroptères dans un objectif de gestion conservatoire : forêt dominicale de Tronçais (03). ONF. 45 p.

TILLON L., GAUTROT T. & DARNIS T. (2013). Inventaire en forêt de Saint-Palais (18) - Enjeux de conservation. ONF Paris, 18 p.

TILLON L. & TAPIERO A. (2011). Les Chiroptères et la forêt : de la connaissance à l'action ! *Le courrier de la nature* n°261 : p 28-33

TILLON L. & VINOT V. (2010). Bilan d'activité de la fiche action nationale sur les chauves-souris et la forêt (fiche action n°6, Plan national d'action sur les Chiroptères). Réseau mammifère de l'ONF, Fédération des conservatoires d'espaces naturels, société française pour l'étude et la protection des mammifères. 137-144.

THEILER A. (2004). Unterschiedliche Ausflugszeiten bei der Kleinen Hufeisennase - Landschaftsstrukturen beeinflussen den Aufbruch zur Jagd. *FMAZ*, 79: 4.

TROMBULAK S. & FRISSELL C.A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* vol 14 n°1: 18-30.

TUPINIER Y. (1996). L'univers acoustique des chiroptères d'Europe. *Société linnéenne de Lyon*. 133 p.

UICN France (2011). La compensation écologique : état des lieux et recommandations. Paris, France. 44 p.

UNEP / EUROBATS. Chauves-souris et gestion forestière, 2 p.

UNIVERSITY OF LEEDS (2011). Roads are detrimental to Europe's protected bats, new study finds. Disponible sur : www.leeds.ac.uk

UTARD G. (1999). Protéger les chauves-souris en Lorraine. *Est Républicain*, 07/05/99.

VAINE A. (2005). Études et suivis des Chiroptères du Gouffre de La Fage. Rapport de stage de BTSa GPN. 56 p.



- VAN LAERE P. (2008). L'écholocation chez les chauves-souris. Université Paris 13. 25 p.
- VEITTEMEUR A. (1995). L'Équipement éduque les animaux. Équipement magazine n°66.
- VERBOOM B. & HUITEMA H. (1996). VIIth European bat research symposium. Functions of vertical landscape elements for bats: indications of their use as acoustical landmarks.
- VERGARI S. & DONDINI G. (1996). VIIth European bat research symposium. Causes of death in two species of bats (*Pipistrellus kuhlii* and *Hypsugo savii*) in urban area of north central Italy.
- VERKEM S., MOERMANS T. (2002). The influence of artificial light on the emerging time of Geoffroy's bat *Myotis emarginatus*. Abstracts Bat Research Symposium, Le Havre, 2002. Bat Research News.
- VINCENT C. (2003). L'Oreillard des Alpes, nouveau venu parmi les Chiroptères. Le Monde, mardi 25 février 2003.
- VINCENT S. (2007). Étude de l'activité et des terrains de chasse exploités par le Minioptère de Schreibers en vue de sa conservation. Suze-la-Rousse – Site Natura 2000 « Sables du Tricastin » FR8201676. CORA/SFEPM. 66 p.
- VUINEE L. et al. (2011). Les cahiers techniques : Gestion forestière et préservation des chauves-souris. Conservatoire Rhône Alpes des espaces-naturels. 31 p.
- WAITE M. (Greater London Authority). (2007). Aberdeen Western Peripheral Route Appendix A40.3 – Bats. 55 p.
- WEINBERGER I., BONTADINA F. & ARLETTAZ R. (2009). Translocation as a conservation tool to supplement relict bat colonies: a pioneer study with endangered horseshoe bats. 8 p.
- WERKGROEP VLEERMUISEN NATUURPUNT (2012). Importance des tunnels non éclairés pour chauves-souris. Bruxelles, 24 Mars 2012.
- WRAY S., REASON P., WELLS D., CRESSWELL W. & WALKER H. (2005). Design, installation and monitoring of safe crossing points for bats on a new highway scheme in Wales. 13 p.
- ZURCHER A., SPARKS D. & BENNETT V. (2010). Why the bat did not cross the road? 5 p.



Annexes

Annexe 1

Caractéristiques morphologiques des Chiroptères présents en France

Annexe 2

Types de gîtes occupés par les Chiroptères en France

Annexe 3

Critères sur lesquels repose la demande d'une étude d'impact soit de façon systématique, soit après un examen au cas par cas dans le cadre de travaux, ouvrages ou aménagements

Annexe 4

Circuit du dossier de dérogation et arrêté

Annexe 5

Circuit du dossier d'évaluation d'incidence Natura 2000

Annexe 6

Techniques de suivi

Annexe 7

Typologie des ouvrages et attraits pour les chiroptères

Annexe 8

Schéma type d'un ouvrage

Annexe 1 : Caractéristiques morphologiques des Chiroptères présents en France

	Espèce		Taille (tête et corps) (cm)	Poids (g)	Envergure (cm)
Rhinolophidés	Grand rhinolophe	Rhinolophus ferrumequinum	5,7 à 7,1	16 à 28	35 à 40
	Petit rhinolophe	Rhinolophus hipposideros	3,7 à 4,5	4 à 9	19 à 25
	Rhinolophe euryale	Rhinolophus euryale	4,2 à 5,8	8 et 18	30 à 32
	Rhinolophe de Méhely	Rhinolophus mehelyi	5,5 à 6,4	10 et 18	33 à 34
Vespertilionidés	Barbastelle d'Europe	Barbastella barbastellus	4,0 à 5,5	6 à 13	25 à 28
	Murin de Daubenton	Myotis daubentonii	4,5 à 5,5	7 à 12	24 à 27,5
	Murin de Capaccini	Myotis capaccinii	4,7 à 5,2	7,5 à 12	23 à 26
	Murin des marais	Myotis dasycneme	5,1 à 6,1	14-20	30 à 35
	Murin à moustaches	Myotis mystacinus	3,5 à 4,5	5 à 9	19 à 22
	Murin de Brandt	Myotis brandtii	3,5 à 4,5	5 à 9	20 à 22
	Murin d'Alcathoé	Myotis alcathoe		3,8 à 4,6	
	Murin de Bechstein	Myotis bechsteinii	4,5 à 5,3	7 à 13	25 à 30
	Murin de Natterer	Myotis nattereri	4,1 à 5,1	5 à 12	24,5 à 27
	Murin d'Escalera	Myotis escaleraei			
	Murin à oreilles échanquées	Myotis emarginatus	4,4 à 5	7 à 12	22 à 24,5
	Grand murin	Myotis myotis	6,5 à 8	28 à 40	35 à 43
	Petit murin	Myotis blythii	6,2 à 7,1	15 à 29,5	35,5 à 40,8
	Murin du Maghreb	Myotis punicus			
	Noctule commune	Nyctalus noctula	7 à 8,2	15 à 40	32 à 40
	Grande noctule	Nyctalus lasiopterus	14 à 17	41 à 76	45 à 50
	Noctule de Leisler	Nyctalus leisleri	4,8 à 6,8	13 à 20	36 à 32
	Sérotine de Nilsson	Eptesicus nilssonii	5 à 7		24 à 28
	Sérotine commune	Eptesicus serotinus	6,2 à 8	15 à 33	31,5 à 38
	Vespertilion bicolore	Vespertilio murinus	5 à 7	12 à 23	27 à 33
	Pipistrelle de Kuhl	Pipistrellus kuhlii		5 à 10	21 à 22
	Pipistrelle de Nathusius	Pipistrellus nathusii	4,6 à 5,5	8 à 16	23 à 25
	Pipistrelle commune	Pipistrellus pipistrellus	3,6 à 5,1	3,5 à 8	18 à 24
	Pipistrelle pygmée	Pipistrellus pygmaeus	3,6 à 5,1	3,5 à 8	18 à 24
	Oreillard roux	Plecotus auritus	4,1 à 5,1	5 à 10	24 à 28
	Oreillard gris	Plecotus austriacus	4,1 à 5,3	6 à 10	25 à 28
	Oreillard montagnard	Plecotus macrobullaris	Longtemps confondu avec l'Oreillard roux. On peut supposer qu'ils ont des caractéristiques comparables		
Vespère de Savi	Hypsugo savii	4 à 5,5	5 à 10	22 à 25	
Minioptéridés	Minioptère de Schreibers	Miniopterus schreibersii	5 à 6,2	9 à 16	30,5 à 34,2
Molossidés	Molosse de Cestoni	Tadarida teniotis	9 à 10	20 à 50	Environ 41

(Source : fiches N2000 et ZNIEFF; <http://www.gcprovence.org/espece.htm>)

Annexe 2 : Types de gîtes occupés par les Chiroptères en France

Famille	Espèce		Combles	Autres gîtes dans les bâtiments (été) / autres gîtes épigés (hiver)	Ponts	Arbres	Falaises	Gîtes souterrains
Rhinolophidés	Grand rhinolophe	Mise bas	X	X				X
		Hibernation	(X)	X	(X)			X
	Petit rhinolophe	Mise bas	X	X	(X)			X
		Hibernation		X	X			X
	Rhinolophe euryale	Mise bas	(X)					X
		Hibernation						X
Rhinolophe de Méhely	Mise bas						X	
	Hibernation						X	
Vespertilionidés	Barbastelle d'Europe	Mise bas	(X)	X	X	X		
		Hibernation		X	X	X		X
	Murin de Daubenton	Mise bas	X	X	X	X		X
		Hibernation			X	Suspicion	X	X
	Murin de Capaccini	Mise bas						X
		Hibernation						X
	Murin des marais	Mise bas	X					
		Hibernation		X				X
	Murin à Moustaches	Mise bas	X	X			X	(X)
		Hibernation		X	X	X		X
	Murin de Brandt	Mise bas	X	X			X	
		Hibernation					(X)	X
	Murin d'alcathoe	Mise bas		(X)			X	
		Hibernation		(X)			X	(X)
	Murin de Bechstein	Mise bas		(X)			X	(X)
		Hibernation				X	X	
	Murin de Natterer	Mise bas	X	X	X	X	X	
		Hibernation		X	X	X		X
	Murin d'Escalera	Mise bas						X
		Hibernation						X
	Murin à oreilles échanquées	Mise bas	X	X				X
		Hibernation						X
	Grand murin	Mise bas	X	X	X			X
		Hibernation	X	X	(X)	(X)		X
	Petit murin	Mise bas	(X)					X
		Hibernation						
	Murin du Maghreb	Mise bas	X					X
		Hibernation						X
	Noctule commune	Mise bas	(X)	X			X	
		Hibernation		X	X	X		
	Grande Noctule	Mise bas		(X)			X	
		Hibernation					X	
	Noctule de Leisler	Mise bas	X	X			X	
		Hibernation					X	
	Sérotine de Nilsson	Mise bas	X	X				
		Hibernation		X				X
	Sérotine commune	Mise bas	X	X	(X)	(X)		
		Hibernation	X	X		X		(X)
	Vespertilion bicolore	Mise bas	(X)	X		X	X	
		Hibernation		X		X	X	(X)
	Pipistrelle de Kuhl	Mise bas	X	X		X	Suspicion	
		Hibernation	X	X		X	Suspicion	X
Pipistrelle de Nathusius	Mise bas		(X)		X			
	Hibernation		X		X	X	X	
Pipistrelle commune	Mise bas	X	X	X	X	Suspicion		
	Hibernation	X	X		X	Suspicion	X	
Pipistrelle Pygmée	Mise bas	X	X		X			
	Hibernation		X		X			
Oreillard roux	Mise bas	X	X		X			
	Hibernation		X	X	X	(X)	X	
Oreillard gris	Mise bas	X	X		X	(X)		
	Hibernation	X	X		Suspicion		X	
Oreillard montagnard	Mise bas	X	X		X			
	Hibernation		X					
Vespère de Savi	Mise bas		X		X	X		
	Hibernation		X			X	(X)	
Minioptéridés	Minioptère de Schreibers	Mise bas						X
		Hibernation		(X)				X
Molossidé	Molosse de Cestoni	Mise bas		X	X		X	
		Hibernation					X	

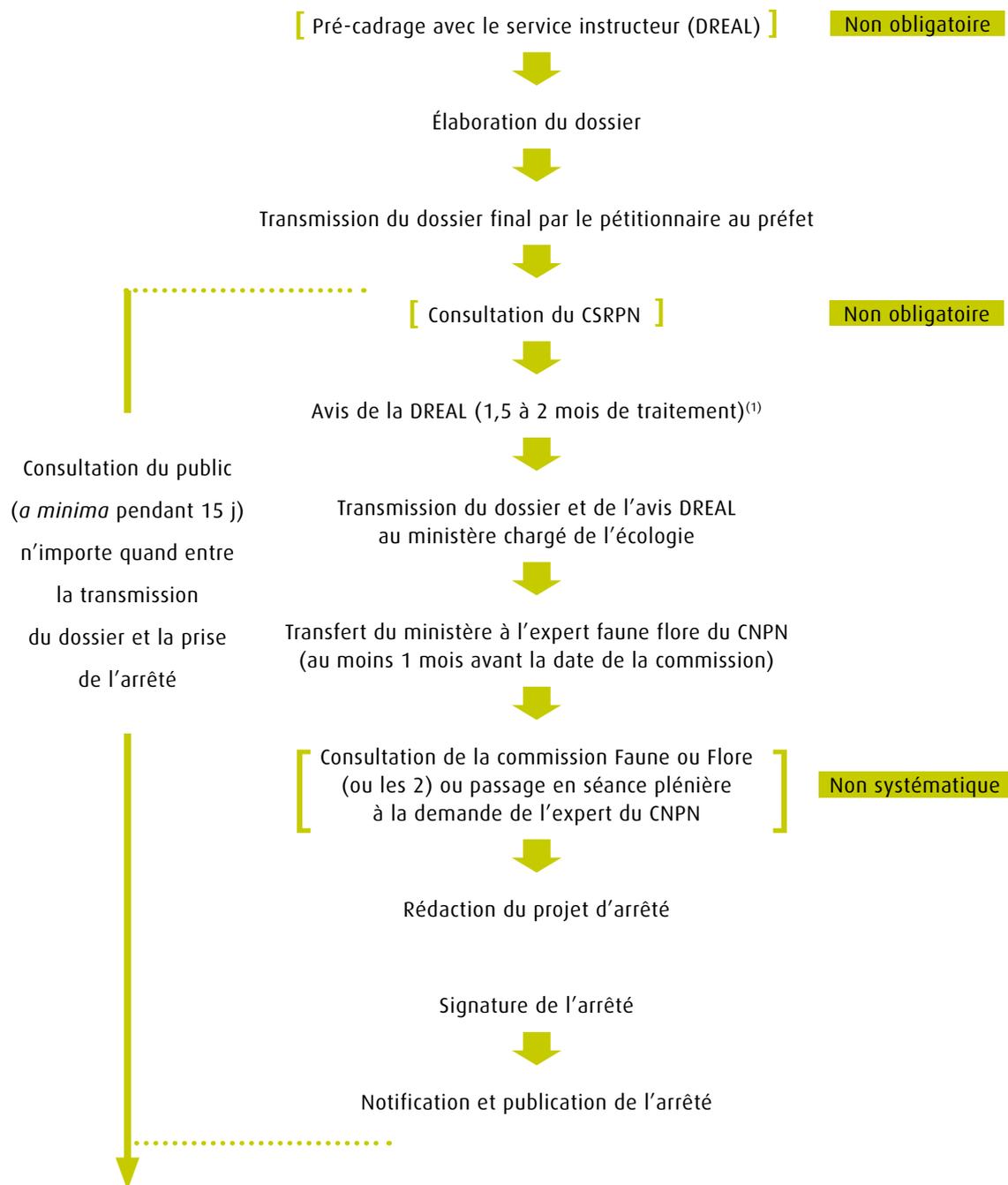
X : gîte utilisé ; (X) : gîte utilisé de façon anecdotique (Source Godineau et al., 2007)

Annexe 3 : Critères sur lesquels repose la demande d'une étude d'impact soit de façon systématique, soit après un examen au cas par cas dans le cadre de travaux, ouvrages ou aménagements

Catégorie d'infrastructure	PROJETS soumis à étude d'impact	PROJETS soumis à la procédure de « cas par cas » en application de l'annexe III de la directive 85/337/ CE
Infrastructures ferroviaires	a) Voies pour le trafic ferroviaire à grande distance, à l'exclusion des voies de garage.	a) Autres voies ferroviaires de plus de 500 mètres.
	b) Création de gares de voyageurs et de marchandises, de plates-formes ferroviaires et intermodales et de terminaux intermodaux.	b) Haltes ferroviaires ou points d'arrêt non gérés ; travaux entraînant une modification substantielle de l'emprise des ouvrages.
Infrastructures routières	a) Travaux de création, d'élargissement, ou d'allongement d'autoroutes, voies rapides, y compris échangeurs.	
	b) Modification ou extension substantielle d'autoroutes et voies rapides, y compris échangeurs.	b) Modification ou extension non substantielle d'autoroutes et voies rapides, y compris échangeurs.
	c) Travaux de création d'une route à 4 voies ou plus, d'allongement, d'alignement et/ ou d'élargissement d'une route existante à 2 voies ou moins pour en faire une route à 4 voies ou plus.	
	d) Toutes autres routes d'une longueur égale ou supérieure à 3 kilomètres.	d) Toutes routes d'une longueur inférieure à 3 km.
	e) Tout giratoire dont l'emprise est supérieure ou égale à 0,4 hectare.	

(Source : article annexe à l'article R122-2 CE)

Annexe 4 : Circuit du dossier de dérogation d'espèces protégées et arrêtés



⁽¹⁾ et avis du parc national si le projet se situe en cœur de parc (R411-13 CE).

Annexe 5 : Circuit du dossier d'évaluation d'incidence Natura 2000

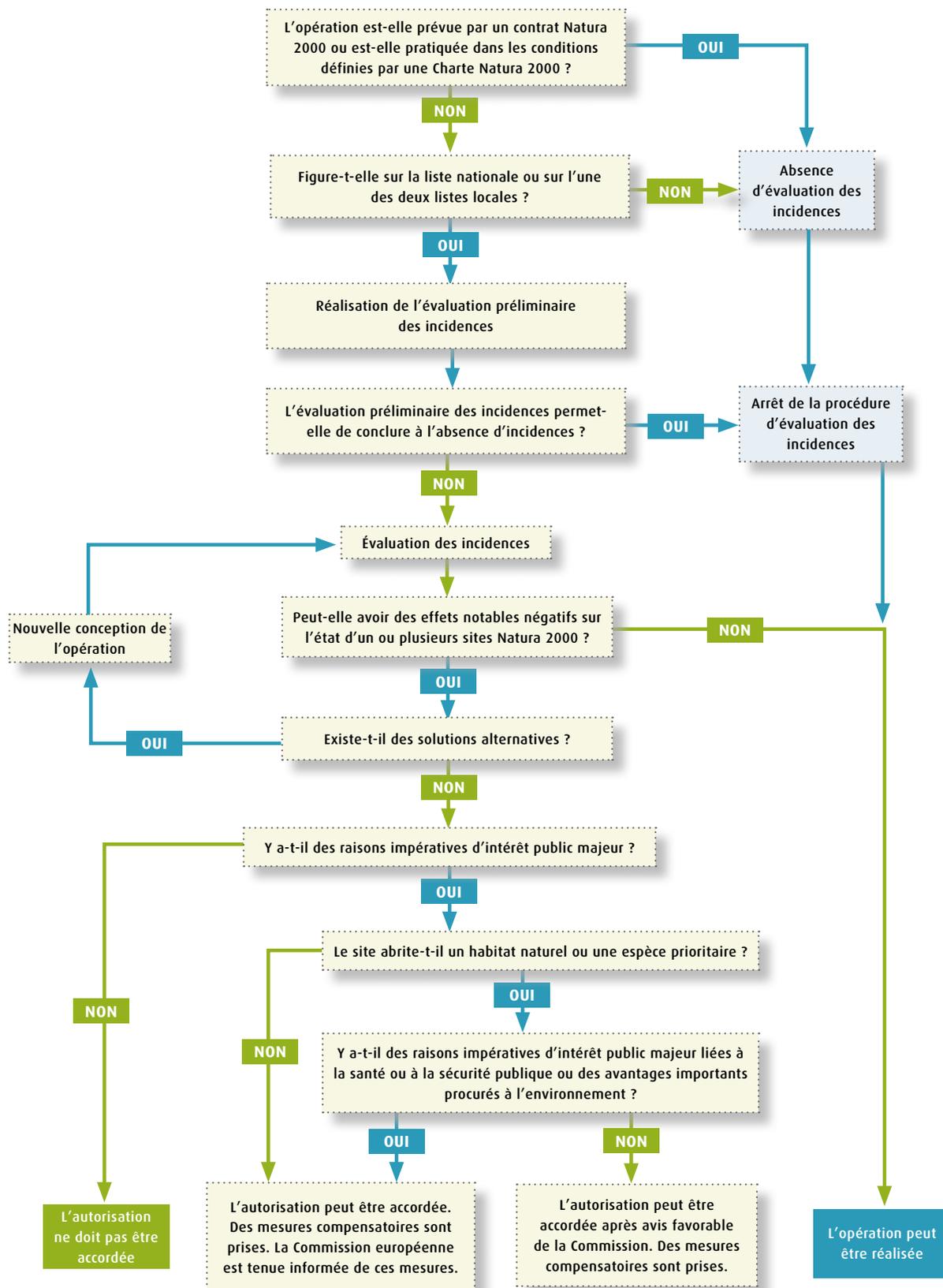


Illustration 94 : Circuit du dossier d'évaluation d'incidence Natura 2000 (Source : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Natura-2000_Evaluer-dialoguer-preserver_p10_17-11-11_light.pdf, consulté en août 2015)

Annexe 6 : Techniques de suivis

La majorité des techniques utilisées pour inventorier les espèces sont inoffensives pour les animaux mais certaines, plus intrusives comme la capture, peuvent s'avérer très stressantes pour les individus. Ces interventions doivent donc être réservées à des situations bien spécifiques qui le justifient.

1 - Techniques de suivi non intrusif

1.1 - L'inventaire au détecteur d'ultrasons

C'est la méthode la plus répandue pour inventorier les chiroptères car elle est relativement facile à mettre en œuvre (moyens humains et matériels). Le matériel est cependant coûteux et demande de l'expérience pour identifier les espèces (Lustrat, 1997 ; Guérin, 2000 ; Barataud, 2012).

Il existe plusieurs sortes de détecteurs, le principe général étant de rendre audibles les ultrasons émis par les chauves-souris. C'est en fonction des fréquences et des caractéristiques des signaux d'écholocation émis (rythme, type de sonar, etc.), que l'opérateur reconnaît les espèces. Il est recommandé d'utiliser des détecteurs de type hétérodyne avec expansion de temps (permettant d'enregistrer les cris et de les réécouter au ralenti voire de les analyser à l'aide d'un logiciel spécifique (Bat-sound par exemple) (Barataud, 2012) pour déterminer certaines espèces.



Photo 138 : Détecteur d'ultrasons (Source : Cerema - Est)

Si le matériel permet, avec une bonne expérience, de reconnaître la plupart des espèces, certaines d'entre elles sont souvent sous-représentées car hors du champ de détection de l'appareil. C'est souvent le cas des espèces possédant un faible sonar ou qui volent très haut. Par ailleurs, certains couples de taxons restent difficiles à distinguer (*Rhinolophus mehely* / *Rhinolophus hipposideros*, *Plecotus auritus* / *Plecotus austriacus*, *Myotis myotis* / *Myotis Blythii*, *Myotis capaccinii* / *Myotis daubentoni* (Barataud, 2004 in Larrieu, 2005, Barataud, 2012)).

Trois groupes d'espèces peuvent être distingués selon la portée de leur signal (Tillon, 2012, Barataud, 2012) :

- groupe d'espèces à émissions fortes : *Hypsugo savii* ; *Eptesicus serotinus* ; *Eptesicus nilssoni* ; *Vespertilio Murinus* ; *Nyctalus noctula* ; *Nyctalus lasiopterus* ; *Nyctalus leisleri* ; *Tadarida teniotis* ;
- groupe à émissions moyennes : *Pipistrellus pipistrellus* ; *Pipistrellus kuhli* ; *Pipistrellus nathusii* ; *Myotis myotis* / *blythi/punicus*, *Miniopterus schreibersi* et *Barbastella barbastellus* dans certaines situations ;
- groupe à émissions faibles : toutes les petites espèces du genre *Myotis* ; toutes les espèces du genre *Rhinolophus* ; toutes les espèces du genre *Plecotus* ; *Barbastella barbastellus*.

L'intérêt de ce type de matériel est double puisque, placé au droit des milieux repérés aux étapes précédentes, les détecteurs permettent à la fois de vérifier la présence des espèces, d'avoir des informations sur le niveau de fréquentation de la zone considérée et d'identifier leur activité (chasse, déplacement). L'inventaire au détecteur ne donne toutefois qu'un aperçu de la richesse spécifique des milieux et varie fortement en fonction de la durée des points d'écoute. En milieu forestier, un point d'écoute de 30 minutes permet par exemple d'inventorier seulement de l'ordre de 65 % de la richesse spécifique et il faut de l'ordre de 3 heures d'écoute pour en inventorier quasiment 100 % des espèces au point d'écoute (comm. Pers. Tillon, 2012).

L'inventaire peut se faire par point d'écoute sur les terrains accidentés ou les lieux inaccessibles (Highway Agency, 1999 ; Bickmore et Wyatt, 2003) ou par transect à pied, en vélo ou en voiture.

D'après le réseau Mammifères de l'ONF, en milieu forestier, les points d'écoute seraient préférables aux transects car ils permettent d'affecter plus facilement un contact à un habitat.

Afin d'obtenir des informations suffisamment précises, les inventaires doivent être effectués durant les trois périodes les plus favorables au cours desquelles les déplacements sont les plus importants (cf. chapitre 3 3.2 démarches d'inventaires).

La fréquentation des milieux étant très variable (influence de la météorologie, des espèces), plusieurs nuits de contrôle sont nécessaires. Pour les inventaires au détecteur, pour chaque point d'inventaire, à chacune des 3 périodes favorables (et deux fois pendant la période estivale), 3 nuits d'écoutes (pas forcément consécutives) sont nécessaires. Les chauves-souris adaptent en effet leur comportement en fonction de leurs besoins énergétiques et des possibilités de chasse suivant les conditions météorologiques, incluant parfois celles des jours précédents. Par exemple, en juin, si le temps a été favorable les jours précédents, les chauves-souris auront tendance à rester au gîte avec une température de 12 °C et un vent de 15 km/h. À l'inverse, en septembre, celles-ci sortiront chasser à une température de 8 °C avec des vents de 15 à 20 voire 25 km/h. (Arthur et al., 2011)

Le recensement commence environ 30 minutes avant le coucher du soleil, par temps calme et sec, et peut se poursuivre jusqu'à quatre heures après le coucher du soleil (pic d'activité de chasse de la plupart des chauves-souris) voire durer toute la nuit entre la fin juin et le mois d'août. Les jours de pleine lune (\pm 5 jours) doivent cependant être évités (cf. Influence de la lune dans chapitre 2 1.2.2.1).

Un point d'écoute doit durer a minima 10 minutes et jusqu'à 45 minutes (Barataud, 2012) en fonction de la richesse taxonomique de la zone. En milieu forestier, une écoute de 10 minutes suffit par exemple à avoir une idée de la fréquentation sur ce point par groupe d'espèce, l'idéal étant 30 minutes (répétés 3 fois) pour se rapprocher de la richesse spécifique.

Pour les transects, l'observateur s'arrête régulièrement pendant 2 à 5 minutes (Guérin, 2000 ; Bat Conservation Trust, 2007).

L'ONF utilise un protocole par points d'écoute de 10 minutes (MCD10) pour estimer l'activité des Chiroptères en forêt (mise en place initialement par Fauvel & Bécu, 2006) et ainsi définir les secteurs les plus intéressants pour l'ensemble du cortège. Cette méthode qualitative est basée sur la présence / absence de 4 groupes d'espèces (noctules et sérotines / pipistrelles / rhinolophes / murins, barbastelles et oreillard). On peut l'utiliser pour effectuer des points d'écoute de 10 minutes à hauteur d'un point par kilomètre d'infrastructure linéaire. Les résultats sont des fréquences de Chiroptères chassant dans un milieu donné (tel groupe contacté sur un point durant 10 séquences obtient la fréquence de 5 %, tel autre 50 %, etc.). Les fréquences, en comparaison avec des moyennes (nombre de contacts divisé par le temps ou la distance) ont l'avantage d'être plus facilement testées statistiquement pour un paysage présentant une grande diversité d'habitats. Par ailleurs le dénombrement des animaux pour calculer des moyennes est impossible dans les secteurs où les chauves-souris chassent en permanence.

1.2 - Les systèmes d'enregistrement automatiques

Il s'agit d'une méthode alternative au détecteur permettant d'enregistrer en un point donné les ultrasons des chiroptères sur de longues périodes (SM2Bat, Anabat, Batlogger, etc.).

Disposés à des endroits stratégiques (corridors, territoires de chasse, etc.), ils peuvent aider à déterminer les zones ou les périodes de forte activité.

L'avantage principal de cette méthode est qu'il mobilise peu de moyen humain puisque le système fonctionne de manière relativement autonome. Par contre, l'identification des espèces a posteriori est relativement longue car elle nécessite une exploitation informatique des données brutes avec un logiciel. L'autre inconvénient réside dans le fait qu'il ne distingue pas le sens de déplacement des individus. Chaque passage étant comptabilisé, le nombre de contacts ne reflète pas forcément l'importance des flux d'espèces. Une espèce en chasse peut par exemple effectuer des allers-retours fréquents au droit de l'enregistreur. Dans ce cas, chaque passage sera comptabilisé comme un contact différent alors qu'un seul individu a fréquenté le milieu.

Notons également que les appareils peuvent être victimes de vandalisme (Highway Agency, 2006).

Il est recommandé d'utiliser ce système pendant plusieurs jours successifs durant une période de beau temps pour avoir un résultat significatif et ceci au cours de trois sessions échelonnées de mai à septembre (Bickmore et Wyatt, 2003 ; Bat Conservation Trust, 2007 ; Le Houédec, 2007). Cette durée permet notamment de limiter l'influence des facteurs extérieurs (température, lune, etc.) sur la fréquentation du milieu étudié (éviter la pleine lune).

Certains enregistreurs automatiques ne permettant pas d'identifier toutes les espèces, les protocoles pourront être complétés par des écoutes au détecteur au cours de chacune des campagnes.



Photo 139 : Suivi Chiroptère par SM2 Bat sur le tablier de l'écopont d'A7 (Source : LPO Drôme / Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2012)

1.3 - La caméra thermique

Ces caméras enregistrent les différences de température entre l'animal et son milieu. Il en résulte des images différenciant les chauves-souris de leur environnement, même en totale obscurité. Les informations fournies par ces caméras sont très détaillées et permettent d'observer le comportement des chiroptères et de localiser avec précision les lieux de passage des individus. Bien que cet équipement soit de plus en plus accessible, il reste encore coûteux et ne différencie pas les espèces. Néanmoins son utilisation apporte des informations précises sur les routes de vol des animaux, voire permet de repérer certains gîtes ou faire des suivis à l'intérieur des gîtes.

L'efficacité du système dépend toutefois de l'écart de température entre l'animal et son milieu. Au cours des soirées chaudes d'été, ces systèmes peuvent donc être moins performants.

Étude du comportement des Chiroptères lors de la traversée de la RN 570 (Life+ Chiro Med, Groupe Chiroptères de Provence, 2013)



Photo 140 : Caméra thermique (Source : DIR Med / Groupe Chiroptères de Provence)



Photo 141 : Trajectoire de Grand rhinolophe (Source : Groupe Chiroptères de Provence)



Photo 142 : trouée utilisée par la plupart des individus pour traverser l'infrastructure (Source : Groupe Chiroptères de Provence/O.plankaert)

Dans le cadre de l'étude menée sur le franchissement des routes par les Grands rhinolophes, la caméra thermique a permis d'observer le comportement des Grands rhinolophes et de localiser précisément leur lieu de passage.

1.4 - La caméra infrarouge

À l'image des caméras thermiques, les caméras IR permettent de filmer dans le noir absolu. Elles nécessitent toutefois pour cela d'éclairer les chauves-souris avec des projecteurs infrarouges additionnels nécessitant des batteries souvent lourdes pour les alimenter. Ces projecteurs ne sont pas visibles par les chauves-souris. Cette technique donne des résultats probants pour un coût nettement moins élevé que l'acquisition d'une caméra thermique.

Cette technique est généralement réservée à l'étude du comportement des individus en des points bien localisés. À l'échelle d'une vaste aire d'étude, son intérêt est plus limité.



Photo 143 : Vol d'une pipistrelle obtenu par caméra infrarouge dans le cadre des études de suivis de la fréquentation et du comportement des Chiroptères au droit d'une passerelle enjambant la Rocade Sud de Bourges (Source : L. Arthur - Muséum Bourges)

1.5 - La trajectographie

La trajectographie est une technique qui reconstitue les déplacements des chauves-souris en spatialisant (3D) chaque cri de l'individu au cours de son déplacement.

Ce procédé repose sur l'enregistrement des émissions sonores à partir d'un dispositif de plusieurs capteurs et du traitement informatique des signaux ainsi recueillis. À partir de la localisation de l'ensemble des points d'émission enregistrés, il est alors possible de reconstruire le trajet des chauves-souris. Cette technique offre notamment la possibilité de cartographier les déplacements des chauves-souris et d'identifier leurs couloirs de déplacement.

Technique prometteuse, elle est toutefois encore en phase d'expérimentation.

Exemples de résultats issus du matériel développé par Cyberio (2013)



Photo 144 : zone de franchissement de l'A406 par les pipistrelles (Source : Cyberio)

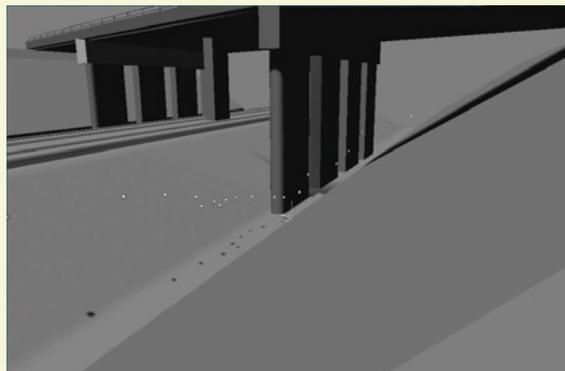


Illustration 95 : reconstitution virtuelle de la trajectoire d'une pipistrelle au droit du franchissement de l'A406 - Contournement Sud-Est de Mâcon (Source : Cyberio)



Photo 145 : Passerelle de franchissement de la Rocade Sud de Bourges (Source : Laurent Arthur MNHN Bourges)



Illustration 96 : reconstitution virtuelle de la trajectoire d'un Chiroptère au droit de la passerelle (Source : Cyberio)

1.6 - L'amplificateur de lumière

Même s'il est possible d'observer les chauves-souris à l'œil nu par nuit de pleine lune ou par contraste avec le crépuscule (Roué, 2002), certains outils facilitent leur observation dans l'obscurité. L'intérêt de ces équipements pour l'étude des axes de déplacement et les terrains de chasse reste cependant très modéré et dépend largement de la qualité du matériel. Ils peuvent, en revanche, être utiles en complément d'un détecteur et sont très pratiques pour les comptages en sortie de gîte (Lemaire et Arthur, 1999a).

2 - Techniques de capture ou nécessitant la capture

Toutes les espèces étant protégées, les opérations de capture nécessitent une demande d'autorisation auprès des services compétents (DREAL).

2.1 - Les techniques de capture

2.1.1 - Les filets japonais

Ce système est adaptable à tout type de milieux même en forêt, du sol jusqu'à la canopée (Tillon, 2008).

Les filets à mailles étroites (19 à 30 mm) et à fils très fins (nylon) sont tendus sur un axe de passage afin de capturer les animaux en vol. Les chiroptères étant capables de détecter les filets, il est conseillé de positionner ces filets sur un axe obligatoirement utilisé, sur un trajet régulièrement emprunté le long duquel les animaux n'émettent que peu d'ultrasons (en travers des chemins forestiers, lisières, le long d'une haie) ou encore sur des zones d'eau lente qu'ils utilisent pour s'abreuver (au-dessus des cours d'eau, autour des mares). Le dispositif est mis en place à la tombée de la nuit pendant 3-4 heures (Lustrat, 1997). Les longueurs et hauteurs des filets sont variables.

Les filets doivent être contrôlés toutes les 15 minutes afin de limiter le stress ou la fuite des animaux.

Le principal avantage de cette technique réside dans sa détermination formelle des espèces et dans la précision des informations obtenues sur les individus (statut reproducteur, âge, sexe). La méthode est cependant très stressante pour les chauves-souris, lourde à mettre en place et la réussite de capture aléatoire, voire faible en forêt (1 à 4 individus capturés par nuit en moyenne). Par ailleurs, les espèces volant haut comme *Nyctalus sp.*, *Eptesicus serotinus* sont rarement capturées (Lustrat, 2007).

La capture doit être évitée sur les colonies de mise bas (Schwaab et al., 2008 in Sétra, 2008).

La réussite de la capture peut parfois être améliorée en diffusant des cris sociaux de chauves-souris à l'aide de haut-parleurs à ultrasons installés au niveau du filet. La probabilité de capture est toutefois influencée par le type de filet utilisé, l'habitat, la pression de capture, l'époque, l'heure ou encore la météo (Tillon, 2012).

2.1.2 - Le Harp-Trap

Cette méthode permet de capturer avec moins de stress que le filet, de nombreux individus à la fois. Ils se cognent contre des fils invisibles à leur sonar, et tombent dans une poche (Bat Conservation Trust, 2007). Ce dispositif ne peut être utilisé que dans les corridors fermés (gîte, tunnel de végétation) (National Roads Authority, 2005).

2.2 - Le radiopistage ou télémétrie

Dans certains cas, les particularités du site et la sensibilité des espèces peuvent nécessiter d'effectuer des relevés plus précis (boisements matures, site Natura 2000, gîte d'importance, etc.). Des inventaires par télémétrie peuvent alors être engagés.

Cette méthode consiste à capturer des individus pour leur fixer à l'aide d'une colle chirurgicale, des micro-émetteurs radio sur le dos (émetteur se détachant au bout de quelques jours), et à déterminer leurs localisations successives (Highway Agency, 1999 ; Dadu, 2007). Attention, les données des premières heures après le relâché de l'animal doivent être prises en compte avec précaution car le stress de l'animal peut perturber son comportement.



Photo 146 : Session de capture sur l'Eco-pont d'A10 (Source : LPO France / Vinci Autoroutes/réseau ASF - 2013)

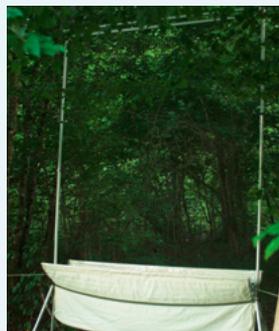


Photo 147 : Harp-Trap (Source : A. Tapiero)



Photo 148 : Pose d'un microémetteur sur un Miniopâtre de Schreiber dans le cadre des suivis engagés sur la LGV Rhin-Rhône (Source : Anne Petit / RFF)

Recherche par triangulation (Tillon, 2012)

À partir de 3 points fixes différents, le principe est de capter au moyen d'une antenne et déterminer à l'aide d'une boussole, la direction du signal émis par l'émetteur placé sur l'animal. Le relèvement vers le point du plus fort signal est noté. En représentant graphiquement sur une carte la position des 3 points d'écoute et la direction des signaux perçus un triangle est formé au centre duquel se localise l'animal au moment de la prise de mesure.

Lorsque plusieurs individus sont équipés et sont relativement proches, ces individus peuvent être suivis en même temps.

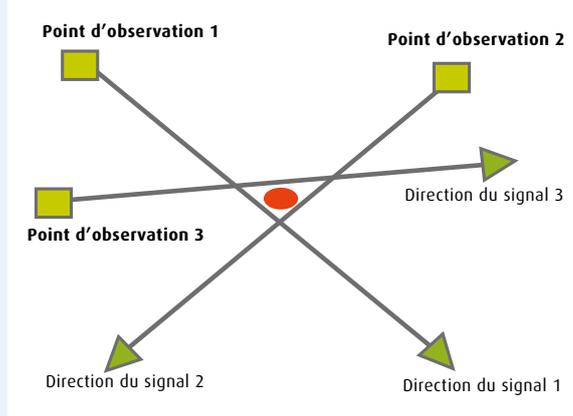


Illustration 105 : Principe de triangulation

Cette technique permet de suivre assez précisément l'ensemble des déplacements effectués par les espèces et de définir de façon efficace l'utilisation spatiale et temporelle du paysage. Elle permet par extrapolation de définir l'étendue des domaines vitaux de la majorité des individus de la colonie étudiée. Elle permet de localiser les espaces fonctionnels tels que les habitats de chasse, les gîtes et les corridors de vol. Elle fournit également des données sur le choix des habitats et le rayon d'action des individus ou des colonies.

Cette technique est également très efficace pour le suivi des espèces difficiles à étudier avec d'autres méthodes (ex. : rhinolophes).

Le nombre d'individus à suivre dépend de la taille des colonies, de la proportion d'individus susceptible d'être impactée par l'infrastructure et du nombre d'axes de vol potentiels. À titre indicatif, il est généralement recommandé de suivre au minimum 10 % des chauves-souris d'une colonie ou dans tous les cas au moins 8 à 10 animaux (comm. pers L. Tillon, 2012). D'autres auteurs préconisent un suivi d'au moins 5 % de la colonie.

Il est conseillé de suivre chaque individu plusieurs nuits consécutives (1 à 5 nuits pour Barataud et al. (2005)), du crépuscule à l'aube et de se focaliser sur 1 ou 2 individus localisés toutes les 5 à 10 minutes (Barataud et al., 2005 ; Vincent, 2007 ; Tillon, 2008).

Le radiopistage a cependant l'inconvénient d'être très invasif et traumatisant pour les individus, surtout pour les petites espèces et les femelles gestantes ou allaitantes. En plus du traumatisme de la capture, le poids de l'émetteur (entre 5 et 10 % du poids du corps) constitue une surcharge pour l'animal en vol (Brigham, 2007). Son utilisation ne se justifie donc que dans les cas où l'utilisation du détecteur est impossible (National Roads Authority, 2005; Bat Conservation Trust, 2007) ou sur les secteurs à forts enjeux.

Étude d'incidence de la LGV Rhin-Rhône sur le site Natura 2000 des mines d'Ougney – CPEPESC Franche comté - RFF – 2004

Afin d'évaluer l'incidence de la construction de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône sur les Chiroptères présents au sein du site Natura 2000 des mines d'Ougney, 19 individus ont été équipés et suivis en 2003 au cours de trois périodes (avant la mise bas, pendant l'allaitement, lors de l'émancipation des jeunes).

L'étude des déplacements des Chiroptères équipés a permis de montrer que près d'un tiers environ de la colonie exploitait des terrains de chasse situés de l'autre côté de la LGV par rapport au site. Elle a aussi permis de confirmer l'importance de trois routes de vol traversant la future voie.

L'identification des enjeux chiroptérologiques a permis à RFF de proposer des mesures ciblées pour atténuer et compenser les impacts (passage à faune, plantations, traitement des lisières, etc.)

2.3 - Les capsules chimio-fluorescentes

Posées sur le dos de l'animal, ces capsules lumineuses permettent d'observer dans certaines conditions l'évolution de l'animal dans les airs (Bat Conservation Trust, 2007). Cette technique s'avère cependant inefficace pour trouver les gîtes ou les terrains de chasse car il est impossible de suivre un animal se déplaçant rapidement (repérage limité à quelques mètres). On constate également qu'en moyenne 50 à 60 % des contacts avec les individus capturés sur le terrain de chasse et marqués sont perdus dans les 5 minutes qui suivent le relâcher (Barataud, 2008). Elles ont par ailleurs peu d'autonomie (10 h) et doivent être utilisées avec précaution étant donné la nature toxique des produits. Cette technique est surtout utile pour étudier le comportement et n'est généralement pas utilisée dans le cadre des études préalables à la réalisation d'une infrastructure.

Annexe 7 : Typologie des ouvrages et attraits pour les chiroptères

Typologie des ouvrages (illustrations)		Attraits en gîte observés pour les chiroptères		
		Structures	Équipements	
Buses	BUSE métal		<ul style="list-style-type: none"> ✗ Peu usité par les chiroptères (surface métal difficile d'accroche) 	<ul style="list-style-type: none"> •• drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (notamment sur les murs en aile ou en retour)
	BUSE béton		<ul style="list-style-type: none"> • Joints entre éléments préfabriqués 	
Ouvrages maçonnes			<ul style="list-style-type: none"> ••• Joints maçonnes dégarnis 	<ul style="list-style-type: none"> •• drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (notamment sur les murs en aile ou en retour, et au niveau des piédroits) •• interstices entre la rive du tablier et les corniches (présence possible de corniches suite à réhabilitation du tablier)
Ponts cadres et portiques	PICF (Passage Inférieur Cadre Fermé)		<ul style="list-style-type: none"> • En cas de préfabrication : joints entre éléments préfabriqués 	<ul style="list-style-type: none"> •• interstices entre la rive du tablier et les corniches •• drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (notamment sur les murs en aile ou en retour, et au niveau des piédroits)
	PIPO (Passage Inférieur à Portique Ouvert)			
	POD (Portique ouvert double)			
Ponts dalles	PSIDA (Pont dalle en béton armé (BA) ou PSIDP (Pont dalle en béton précontraint (BP)		<ul style="list-style-type: none"> ✗ Peu usité par les chiroptères (surface béton lisse et absence de cavité) 	<ul style="list-style-type: none"> •• Interstices entre corniches et tablier •• drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (si présence de murs en aile ou en retour, et mur de front de culée)
	PSIDN (Pont dalle nervurée)			
	PSBQ (Pont à béquille en BA ou BP)			

Typologie des ouvrages (illustrations)		Attraits en gîte observés pour les chiroptères	
		Structures	Équipements
Ponts à poutres	<p>PRAD (pont à poutres précontraintes par adhérence)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Zones d'ombres entre les poutres <i>L'espacement entre poutres doit être suffisamment faible (inférieur à 1 m)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ●● interstices entre la rive du tablier et les corniches ●● drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (si présence de murs en aile ou en retour, et mur de front de culée)
	<p>VIPP (viaduc à travées indépendantes en poutres précontraintes)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Peu usité par les chiroptères (surface béton lisse) 	
	<p>PPE (Pont à poutrelles enrobées)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Sous-face quasi plane peu propice pour l'accroche des chiroptères (● si zones d'ombres entre les poutres) 	
	<p>OM bi-poutres (ossature mixte de type bi-poutres) (hourdis béton sur poutres métalliques)</p>  <p>Ponts à poutres latérales</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Zones d'ombres entre les poutres <i>L'espacement entre poutres doit être suffisamment faible (inférieur à 1 m)</i> ✗ surface métallique peu propice pour l'accroche des chiroptères 	
Ponts caisson	<p>OM caisson (ossature mixte de type caisson) (hourdis béton sur caisson métallique)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ●●● Cavité offerte par l'intérieur du caisson (si accessible) 	<ul style="list-style-type: none"> ●● interstices entre la rive du tablier et les corniches ● trappe en intrados, si accès aux culées creuses ●● drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (si présence de murs en aile ou en retour, et mur de front de culée)
	<p>BP caisson Pont BP construits par encorbellements successifs (Voussoirs)</p>  	<ul style="list-style-type: none"> ✗ surface métallique peu propice pour l'accroche des chiroptères (● au niveau des aspérités entre deux raccords métalliques) 	

Typologie des ouvrages (illustrations)		Attraits en gîte observés pour les chiroptères	
		Structures	Équipements
Ponts autres	Bow-string 		●● drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées (si présence de murs en aile ou en retour, et mur de front de culée)
	Ponts en arc 		
	Ponts suspendus 		
	Ponts à haubans 		
	Ponts en bois 	● Usités comme le PRAD (en fonction de l'écartement des poutres)	
Soutènements	Murs béton 	● En cas de préfabrication : joints entre éléments préfabriqués	●● drains, barbacanes en particulier lorsqu'elles sont bouchées
	Murs maçonnés 	●●● Joints maçonnés dégarnis	
	Murs en remblai renforcé 	● Joints entre éléments préfabriqués	
	Murs en gabions 	●● Interstices entre pierres sèches	
		✘ Non favorable aux chiroptères ● parfois favorable aux chiroptères ●● favorable aux chiroptères ●●● très favorable aux chiroptères	

Tableau 15 : Typologie des ouvrages et attraits pour les chiroptères (Source : Cerema - Méditerranée)

La typologie des ouvrages proposée ne donne qu'un aperçu des potentialités d'accueil des ouvrages pour les chiroptères mais chaque situation est unique et il convient pour chaque ouvrage de s'interroger sur le possible usage d'un espace/cavité présent.

Annexe 8 : Schéma type d'un ouvrage

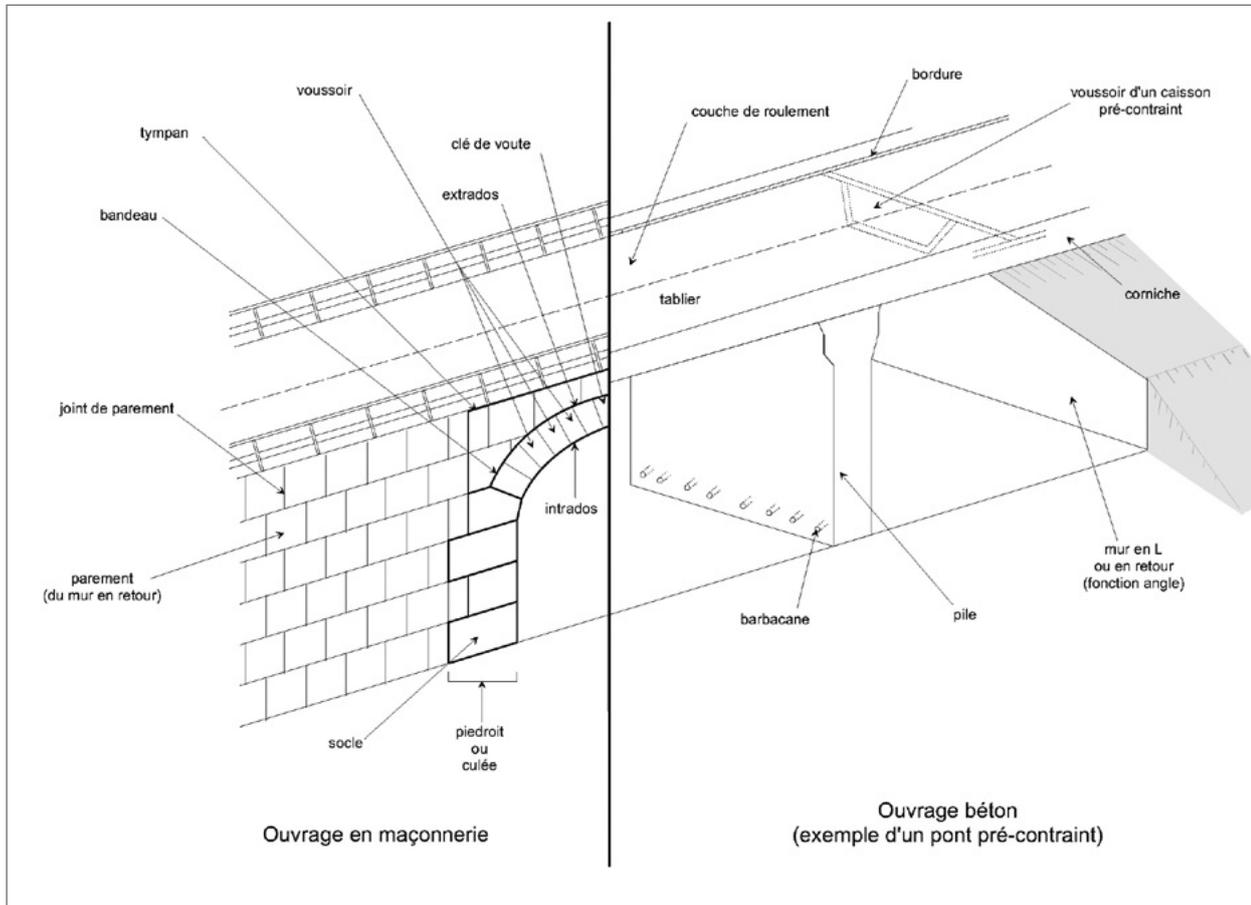


Illustration 98 : Schéma type d'un ouvrage (Source : Cerema - Est)

© 2016 - Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, créé au 1^{er} janvier 2014 par la fusion des 8 CETE, du Certu, du Cetmef et du Sétra.

Le Cerema est un établissement public à caractère administratif (EPA), sous la tutelle conjointe du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et du ministère du logement et de l'habitat durable. Il a pour mission d'apporter un appui scientifique et technique renforcé, pour élaborer, mettre en œuvre et évaluer les politiques publiques de l'aménagement et du développement durables, auprès de tous les acteurs impliqués (État, collectivités territoriales, acteurs économiques ou associatifs, partenaires scientifiques).

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination et suivi d'édition › Cerema, Direction technique infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia : **Karine Massouf**

Mise en page › **Studio Ogham** - 2-4, rue de l'industrie - 31320 Castanet-Tolosan

Photos de couverture : Petit rhinolophe © **Laurent Arthur (MHN Bourges)** - Infrastructure : © **François Nowicki**

Impression › **Graph Imprim - France Repro** - 9-11, rue Sinclair - 94000 Créteil - Tél : 01 48 93 85 85

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Graph Imprim est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encre végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Achévé d'imprimer : **avril 2016**

Dépôt légal : **avril 2016**

ISBN : **978-2-37180-119-6**

ISSN : **2276-0164**

Prix : **75 €**

Pour toute correspondance › **Cerema - DTecITM - Bureau de vente - BP 214 - 77487 Provins Cedex**
ou par mail › **bventes.dtecitm@cerema.fr**

www.cerema.fr › Rubrique « Nos éditions »

La collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoirs-faire...), dans une version stabilisée et validée.

Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Chiroptères et infrastructures de transport

En France, les chauves-souris font partie des mammifères les plus menacés notamment en raison des activités humaines. Parmi toutes ces menaces, il est avéré que le passage d'une infrastructure de transport constitue une perturbation importante pour le fonctionnement écologique de ces mammifères et une cause majeure de mortalité.

Afin de répondre à ces préoccupations et plus globalement d'assurer la protection des 34 espèces de chauves-souris présentes en France métropolitaine, l'État a engagé la réalisation d'un Plan National d'Actions (PNA) en faveur des chiroptères. Engagé pour la période 2009-2013, ce plan se poursuit aujourd'hui par un nouveau projet pour la période 2016-2025.

Parmi les actions correspondantes à ce programme, le Cerema a été chargé de la rédaction du présent guide « Chiroptères et infrastructures de transport terrestre ».

Organisé autour d'un texte générique sur chacune des thématiques abordées et très largement illustré, ce guide est un ouvrage méthodologique et technique qui met à disposition un panel conséquent d'informations et de recommandations nécessaires à la bonne prise en compte des Chiroptères lors de la construction ou l'exploitation des infrastructures. Il est destiné à l'ensemble des acteurs d'un projet routier ou ferroviaire, qu'ils soient maître d'ouvrage (État, concessionnaires, etc.), maître d'œuvre, collectivité, bureau d'études, service instructeur, association, etc.

Structuré de façon simple et pédagogique afin de constituer une base documentaire dans laquelle chacun puisse extraire l'information dont il a besoin, ce guide fait la synthèse d'un nombre important de retours d'expériences et cas concrets en s'appuyant notamment sur des études et références techniques et scientifiques francophones et anglo-saxonnes.

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment

Prix 75 €

ISBN : 978-2-37180-119-6

ISSN : 2276-0164



9 782371 801196

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - www.cerema.fr

Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris - 77171 Sourdun - Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30