

**RESTAURATION DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES
SUR AUTOROUTES**

JUIN 2016



R A P P O R T
Retour d'expérience
des aménagements
et des suivis faunistiques
sur le réseau
VINCI Autoroutes

REMERCIEMENTS

VINCI Autoroutes tient à remercier l'ensemble de ses partenaires impliqués dont le travail a permis la réalisation du présent retour d'expérience qui s'appuie sur les données de suivi collectées par 17 structures différentes :

- LPO France (Sylvain FAGART, Philippe JOURDE, Gwenael QUAINTENNE, Thierry MICOL);
- Fédération Départementale des Chasseurs de Charente-Maritime (David MARC, François RODRIGUEZ);
- LPO Drôme (Sébastien BLACHE, Alexandre MOVIA, Stéphane VINCENT);
- Fédération Départementale des Chasseurs de la Drôme (Jérôme GUILLOUD, Christophe MATHEZ);
- Fédération de la Drôme pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (Yann MONNIER);
- FRAPNA Loire (Mélanie HIGOA, André ULMER);
- Fédération Départementale des Chasseurs de la Loire (Pierre BARRELLON, Franck VITAL);
- FRAPNA Rhône (Julien BOUNIOL);
- Fédération Départementale des Chasseurs du Rhône (François BRIDE);
- Cistude Nature (Christophe COÏC, Thomas RUYS);
- Naturalia Environnement (Benjamin ALLEGRI, Baptiste DOLIDON, Eric DURAND);
- Les écologistes de l'Euzière (Damien IVANEZ, Clément LEMARCHAND, Jean-Paul SALASSE);
- Les agents d'environnement de Cofiroute (Fanny BERNARD-GUERASSIMOFF, Didier ELIE, Sylvain JOURSAND, Patrick MENAR, Florence PERRON);
- Nature Midi-Pyrénées (Emmanuelle JACQUOT, Aurélie NARS);
- Biotope (Thomas MENUT);
- Le CEN PACA (Antoine CATARD, Muriel GERVAIS);
- L'ONCFS Rhône-Alpes/PACA/Corse (Jean-Charles GAUDIN, Jean-Pierre SERRES).



Rédacteurs :

Sylvain Fagart¹,
Gwenael Quintenne¹,
Cédric Heurtebise²,
Philippe Chavaren².

avec la participation de :

Michel Galet⁴,
Jean-Luc Dumas⁵,
Thierry Micol¹,
Éric Guinard³,
Géraldine Audié-Liébert³.

Photo de couverture : © Emmanuel Rondeau.

¹ LPO France,

² VINCI Autoroutes réseau ASF,

³ CEREMA,

⁴ VINCI Autoroutes réseau Cofiroute,

⁵ VINCI Autoroutes réseau Escota.



AVERTISSEMENT

Ce rapport de retour d'expérience a fait l'objet d'un document de synthèse intitulé « Restauration de continuités écologiques sur autoroutes, synthèse du retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroutes ».

Il n'a pas pour prétention de définir une quelconque démarche mais de partager le retour d'expérience d'un acteur et de ses partenaires. En cela, il n'a pas valeur de guide tel que ceux du Cerema ou les publications institutionnelles.

Il a été rédigé en mars 2016. Les techniques de suivi étant en perpétuelle évolution, son contenu sera susceptible d'être réactualisé à l'avenir.

**: les astérisques renvoient à la définition du mot associé, dans le glossaire en fin du document.*



Loutre d'Europe et ses 3 loutrons dans un écoduc de 120cm de diamètre. (© LPO France, VINCI Autoroutes).

“
Faire progresser
la connaissance
en écologie routière.
”

En l'espace de 40 ans, les savoirs écologiques et les enjeux liés à l'écologie routière ont beaucoup progressé. Les passages pour la faune sauvage s'enrichissent d'expériences nouvelles et tracent leurs chemins au fil des nouvelles autoroutes.

Pour autant, les retours d'expérience s'appuyant sur des suivis de longues durées sont exceptionnels. C'est l'un des paradoxes de l'écologie routière : des sommes importantes sont investies dans les ouvrages de défragmentation sans que soit évaluée précisément leur efficacité. Depuis le projet d'une autoroute jusqu'à son exploitation, l'évaluation des passages pour la faune reste le maillon faible à renforcer, pour faire mieux, avec des moyens optimisés.

La reconquête de la Trame Verte et Bleue concerne désormais les projets neufs (conservation des corridors) et le réseau autoroutier ancien (effacement des ruptures). L'originalité de cet ouvrage (un rapport et une synthèse) est un retour d'expérience sur une autoroute de dernière génération (A89) et sur la remise à niveau des transparences écologiques réalisées sur le plus important réseau autoroutier français, dans le cadre d'une procédure adaptée : le Paquet Vert Autoroutier (PVA), dont le volet « biodiversité » s'attache à rétablir les ruptures écologiques générées par les autoroutes en service.

L'initiative de VINCI Autoroutes est doublement remarquable :

- c'est la première fois qu'un retour d'expérience s'intéresse à la requalification d'infrastructures existantes. L'évaluation concerne un nombre impressionnant d'aménagements favorables à la diversité faunistique, construits dans des situations complexes, en milieux terrestres ou aquatiques. VINCI Autoroutes explore de nouvelles techniques, évalue, tire des enseignements, réajuste... L'opérateur autoroutier met en œuvre une écologie réparatrice associant une composante scientifique et opérationnelle ;
- cet ouvrage inédit consacre l'essentiel de son volume à l'évaluation des aménagements faunistiques mis en œuvre sur l'A89 et dans le PVA*. C'est suffisamment rare pour être souligné : la littérature grise* et plus encore la littérature scientifique, s'investissent peu dans l'évaluation des performances des aménagements.

L'ouvrage réunit et confronte des expériences très variées. Un nombre important de rétablissements faunistiques est évalué grâce à des techniques classiques et d'avant-garde telles que la caméra thermique et le piège à vibration. Elles sont organisées dans des conditions de pression d'observation inédites, selon une grande diversité de méthodes de suivi appliquées à différents taxons* ou groupes taxonomiques, et durant des périodes d'observation hors du commun. Les suivis considèrent des ouvrages neufs (écopont*, écoduc*, passe à poissons) ou des requalifications d'ouvrages existants (banquette* ou encorbellement* dans des ouvrages hydrauliques). Les auteurs distinguent les suivis sur le long terme et les suivis ponctuels. Ils suggèrent une

normalisation des suivis, réhabilitent les pièges à traces, trop vite écartés au profit des pièges photographiques, dont ils dressent les avantages et les limites.

Le retour d'expérience interroge certaines pratiques du génie écologique fondées sur des observations fragiles. Il confirme l'utilisation des écoponts comme habitats et corridors pour les micromammifères, ainsi que le rôle bénéfique des andains. La fréquentation régulière des buses par les chiroptères est confirmée. Leur utilisation est mise en relation avec leur taille, leur accessibilité, leur position par rapport aux corridors interrompus. Chaque type d'ouvrage offre des caractéristiques adaptées préférentiellement à certaines espèces. Les taxons* peu exigeants utilisent une large gamme de passages, d'autres sont plus sélectifs. La possibilité de concurrence interspécifique est évoquée.

Ce retour d'expérience contribue à faire progresser la connaissance en écologie routière et à relativiser certaines recommandations. Nous pouvons en tirer beaucoup d'enseignements pratiques sur l'efficacité des aménagements, le comportement de la faune, les outils et méthodes de suivi, sans oublier les lacunes à combler.

Au-delà des résultats bruts et de leurs analyses, les auteurs écologues et aménageurs de métier, activement impliqués dans la réalisation des passages pour la faune, ont su mobiliser et valoriser une somme exceptionnelle d'observations, jamais réunies à un tel niveau en France. Restaurer des connexions sur des infrastructures anciennes marquées par leur histoire et soumises à de fortes contraintes requiert de la rigueur, de la volonté, de la patience et des capacités d'innovations. L'écologie réparatrice s'apparente ici à un art qui s'appuie sur un corpus scientifique, une rigueur qui implique des disciplines diverses et mobilise un grand nombre d'acteurs.

Ce travail, résultat de six années de conception-réalisation-évaluation, fournit des recommandations précieuses sur des projets neufs ou de requalifications. Il réunit et confronte des expériences très variées, suggère des améliorations, propose des recommandations pratiques, des conseils d'utilisation des techniques et des protocoles d'évaluation. La qualité de cette publication en fait un ouvrage de référence en écologie routière.

Jean Carsignol,
Expert écologie routière,
Directeur d'études au Cerema

PRÉAMBULE



Ce document s'appuie
sur les données et rapports
de suivis réalisés par
17 structures.



Dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier et de la construction de l'autoroute A89, plus de 80 ouvrages, spécifiques, mixtes ou non dédiés, font ou ont fait l'objet de suivis faunistiques.

Ce document de synthèse est né de la volonté de mutualiser les différentes expériences acquises et de valoriser ce lot de données sans équivalent dans le domaine des suivis faunistiques autoroutiers en France.

Environ 25 000 données de passage ont été collectées durant plus de 1 280 mois de suivis cumulés. Compte tenu des connaissances actuelles, l'objectif est d'apporter des éléments sur la construction et les modalités d'utilisation des différents types d'ouvrages par la faune sauvage.

Les analyses effectuées sur les jeux de données permettront de tirer des enseignements sur les différents types d'ouvrages, leurs variables de configurations (dimensions, habitat), et également sur les différents types de suivis mis en place.

Les biais relatifs aux méthodes de suivis sont décrits, et les limites de l'étude résidant notamment dans l'hétérogénéité des lots de données sont exposées.

Certains points importants concernant des suivis faunistiques spécifiques qui n'auront pas pu être abordés dans l'analyse des données seront également évoqués, en s'appuyant notamment sur le retour d'expérience des différentes structures contribuant à cette synthèse.

Ce document peut donc apporter des orientations à toute structure souhaitant réaliser des aménagements ou des suivis d'ouvrages pour la faune sauvage sur des infrastructures linéaires de transport, par exemple dans le cadre de plans d'action pour les schémas régionaux de continuités écologiques.

Les informations sont nombreuses et les différentes thématiques sont souvent traitées plusieurs fois (*chapitre 05, page 59 et chapitre 06, page 89 : résultats et discussion, et chapitre 07, page 109 : bilan*). La recherche d'une information ne doit donc pas se cantonner à un paragraphe, et doit être recherchée dans le sommaire détaillé.



“ Un ouvrage de référence
en écologie routière.

Jean Carsignol.

”

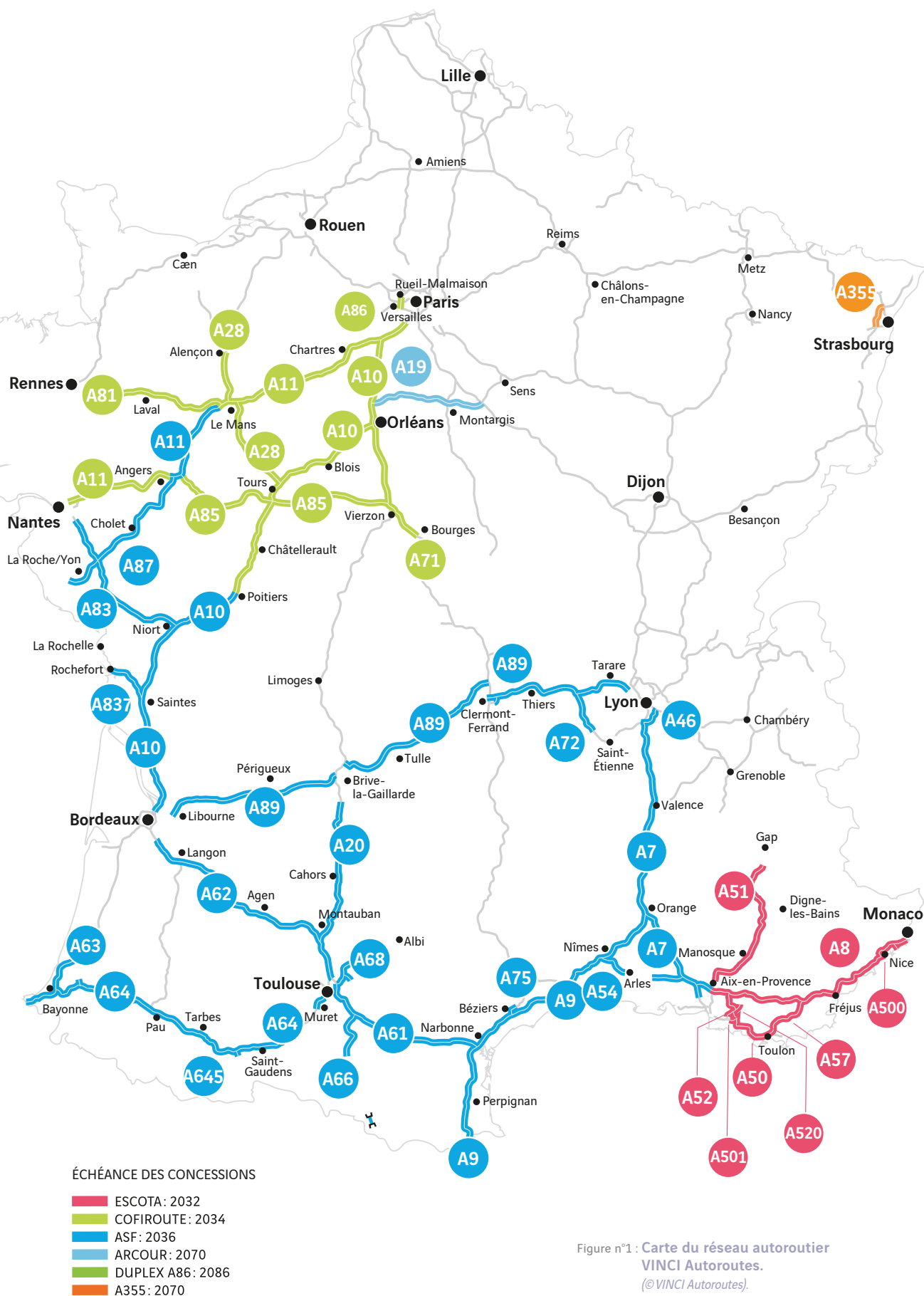


01. CONTEXTE	9
1.1 Pourquoi réaliser des suivis ?	11
1.2 Différents types de suivis	12
1.3 Récents progrès des pièges photographiques	14
02. MÉTHODOLOGIE POUR LE CHOIX DES SITES	17
2.1 Travail majeur de diagnostic préalable	18
2.2 Présentation des aménagements réalisés	20
03. RÉALISATION DES OUVRAGES	23
04. SUIVIS FAUNISTIQUES RÉALISÉS	47
4.1 Présentation des suivis	48
4.2 Suivis par pièges photographiques	52
4.3 Suivis spécifiques	57
05. SUIVIS PAR PIÈGES PHOTOGRAPHIQUES	59
5.1 Un jeu de données important et riche en informations	60
5.2 Suivis pièges-photos : résultats et commentaires	62
5.3 Suivis pièges-photos : discussion sur l'utilisation par la faune sauvage des ouvrages aménagés	81
06. SUIVIS SPÉCIFIQUES	89
6.1 Suivis par pièges à traces	90
6.2 Suivis des reptiles sur les écoponts	91
6.3 Suivis des amphibiens	94
6.4 Suivis des chiroptères	101
6.5 Suivis d'une passe aquatique	106
07. BILAN DU RETOUR D'EXPÉRIENCE DES SUIVIS FAUNISTIQUES	109
7.1 Principaux éléments orientant le choix du protocole de suivi	110
7.2 Suivis généralistes des mammifères (de la grande faune jusqu'aux petits carnivores)	113
7.3 Suivis spécifiques (petite faune)	121
7.4 Les techniques de suivi à développer à l'avenir	125
7.5 Éléments d'optimisation de la fonctionnalité des aménagements	126
Conclusion	132
08. ANNEXES	135
Annexe 1 Nombre et diversité spécifique des passages dans les écoducs	136
Annexe 2 Nombre et diversité spécifique des passages dans les ouvrages hydrauliques aménagés	140
Annexe 3 Nombre et diversité spécifique des passages sur les écoponts	142
Annexe 4 Nombre et diversité spécifique des passages dans les passages inférieurs grande faune spécifiques	144
Annexe 5 Nombre et diversité spécifique des passages dans les ouvrages d'art aménagés	146
Annexe 6 Nombre et diversité spécifique des passages dans les passages non dédiés	148
Annexe 7 Résultats des études de suivi par les chiroptères	150
Annexe 8 Synthèse des protocoles de suivi en fonction des groupes d'espèces	151
Glossaire	156
Bibliographie	157
Documents de référence	160



01. CONTEXTE





Depuis les années 1960–1970, la France a développé de façon considérable son réseau autoroutier. VINCI Autoroutes et ses sociétés concessionnaires ASF, COFIROUTE, ESCOTA et ARCOUR, forment le 1^{er} opérateur autoroutier d'Europe avec un total de 4 398 km d'autoroutes (Figure n°1, page 10).

Les conséquences de ce développement des infrastructures autoroutières sur la biodiversité sont nombreuses : destruction directe des milieux naturels, fragmentation des habitats et des populations, mortalité directe par collision, etc.

Les autoroutes réalisées ces dernières années, comme les autoroutes A19 entre Artenay et Courtenay (Loiret) et A89¹ entre Balbigny (Loire) et La Tour de Salvagny (Rhône), répondent à de nombreuses exigences environnementales (**bruit, protection de la ressource en eau, paysage, préservation de la biodiversité, etc.**). Parmi ces exigences, la rupture de continuité écologique est maintenant mieux prise en compte avec la création de nombreux ouvrages dédiés ou aménagés pour le passage de la faune sauvage, permettant ainsi de réduire les effets de fragmentation des habitats, de subdivision des populations et de mortalité directe pour la faune (collisions routières).

Les infrastructures autoroutières anciennes (A7, A8, A9, A10, etc.) ne répondant pas aux exigences les plus récentes, VINCI Autoroutes a lancé en 2010, dans le cadre d'un contrat avec l'État, le **Paquet Vert Autoroutier**. Ce vaste programme de requalification environnementale comprend plusieurs volets notamment la préservation de la biodiversité et la préservation des continuités écologiques, destinés à moderniser ces anciennes infrastructures autoroutières.

Sont ici étudiés une partie des ouvrages réalisés dans le cadre de la construction de la section Balbigny / La Tour de Salvagny de l'autoroute A89 et les aménagements réalisés dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier.

1.1 Pourquoi réaliser des suivis ?

Aujourd'hui, les suivis d'ouvrages de franchissement pour la faune font partie intégrante des études d'impact² et de certains objectifs clairement mentionnés dans les Plans d'actions des Schémas Régionaux de Cohérence Écologique. Ils doivent permettre d'évaluer la fréquentation des différents types d'aménagements pour les différents groupes d'espèces, et de proposer en conséquence des améliorations afin d'optimiser la fonctionnalité des ouvrages (SETRA, 2006).

Si les premiers suivis s'intéressaient principalement aux espèces gibiers, les questions de fragmentation des habitats et de subdivision des populations s'appliquent désormais pour la petite faune. Pourtant, de nombreuses questions se posent encore aujourd'hui pour certains groupes taxinomiques où les données ne sont pas encore très nombreuses comme les micromammifères, les chiroptères, les batraciens, les reptiles, les insectes, entre autres.

1) Le chantier de l'A89 auquel fait référence ce rapport concerne la dernière section de l'autoroute Bordeaux-Lyon, d'une longueur de 50 km, construite entre 2007 et 2013, au nord-ouest de Lyon, entre Balbigny dans la Loire et La Tour de Salvagny dans le Rhône.

2) Art. R. 122-5 alinéa 7 du décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact.

1.2 Différents types de suivis

Les premiers passages à faune ont vu le jour dans les années 1960 en France. Les suivis de la fréquentation de ces passages ont connu un important essor dans les années 1980 avec l'utilisation des pièges à traces, et depuis quelques années avec les pièges photographiques.

Des études assez récentes de Mateus *et al.* (2011) ont montré que les pièges à traces comportaient certains avantages par rapport à des méthodes de suivis plus récentes comme la vidéosurveillance, notamment en milieu ouvert où la zone couverte est largement dépendante de l'angle de détection des appareils vidéos/photos.

Mais alors que les appareils de détection (piège photographique) voient leurs limites toujours repoussées depuis quelques années (déclenchement plus rapide, miniaturisation, autonomie accrue, etc.), le piège à traces comporte certaines limites persistantes :

- quantification des flux difficile sur des ouvrages fortement fréquentés ;
- empreintes effacées suite aux aléas climatiques (pluie) ou marquage difficile (substrat trop sec) ;

- nécessité d'une fréquence de relevé élevée sur des sites très fréquentés par la faune ;
- pas d'information sur l'activité horaire ;
- individualisation impossible, donc méconnaissance des populations.

Chacune des méthodes de suivi comporte ses avantages et ses inconvénients, il est dès lors indispensable de bien définir les objectifs du suivi, afin de déterminer quelle méthode est la plus appropriée.

De nombreux paramètres peuvent influencer et guider le choix du protocole de suivi : durée, espèces visées, configuration de l'ouvrage, acquisition de données spécifiques (nombre de traversées, horaires, individualisation, comportement...), budget disponible, etc.

Actuellement, les suivis d'ouvrages autoroutiers sont en général réalisés à l'aide d'outils d'inventaire adaptés à chaque taxon*, en adoptant un protocole permettant de mettre en évidence le franchissement ou non des ouvrages par la faune.

Les méthodes de suivi les plus couramment utilisées dans le cadre de ce travail sont listées dans le *Tableau n°1*.

Tableau n°1 : Méthodes de suivis faunistiques autoroutiers utilisées pour chaque taxon.

Taxons	Méthodes de suivi utilisées
Mammifères	Piège à traces, piège photographique, piège à poils, piège à encre, recherche d'indices de présence (empreintes, fèces, épreintes, etc.)
Micromammifères	Capture - Marquage - Recapture (CMR)
Chiroptères	Détection (Batbox), enregistreur ultrasonore automatique (Anabat, SM2), capture au filet, caméra thermique ou infrarouge
Amphibiens	Prospection nocturne, système de guidage/collecte
Reptiles	Prospection, plaque de thermorégulation
Entomofaune	Prospection ciblée/inventaire
Poissons	Prospection nocturne, pêche électrique
Oiseaux	Point d'écoute, observation visuelle.



1.3 Récents progrès des pièges photographiques

Ces dernières années, les progrès technologiques réalisés en matière de piège photographique en font un outil de suivi largement utilisé, notamment pour les suivis faunistiques d'ouvrages autoroutiers.

À la fin des années 1990 et au début des années 2000, les pièges photographiques étaient composés d'appareils-photo argentiques (*Photo n°1*) et la vidéosurveillance enregistrait sur magnétoscope VHS. À cette période, les suivis réalisés en France par Vignon (2005) dans des passages à faune obtenaient rarement une moyenne de plus d'un passage par jour par structure. Aujourd'hui, avec du matériel de dernière génération (*Photo n°2*), certaines études menées en France dans des ouvrages neufs mettent en évidence une moyenne de $1,2 \pm 0,7$ passage par jour par structure (Fagart *et al.*, 2016). Après 2 ans de suivi, et avec le vieillissement de ces mêmes ouvrages, cette moyenne a significativement augmenté et atteint plus de 4,2 passages par jour dans certains ouvrages. La littérature européenne pour des ouvrages de type passages souterrains déjà « matures » situe cette moyenne entre un minimum de 0,7 passage par jour et un maximum de $3,78 \pm 2,15$ passages par jour par structure (Yanes *et al.*, 1995; Underhill, 2003; Mata *et al.*, 2005; Ascensão & Mira, 2007; Grilo *et al.*, 2008; Mateus *et al.*, 2011).

L'augmentation de ces chiffres de fréquentation peut être liée à l'évolution des populations ou à la fonctionnalité des aménagements, et plus probablement à une efficacité accrue du matériel. Les contraintes techniques rencontrées au début des années 2000 sont aujourd'hui en grande partie levées :

- les limites de stockage très restrictives avec du matériel argentique (pellicule limitée à 36 prises de vue) n'existent plus aujourd'hui avec le numérique (une carte SD de 32 Go peut emmagasiner plus de 100 000 photos);
- la vitesse de déclenchement de l'appareil estimée entre 1,5 et 4,0 secondes avant 2005 (Vignon, 2005) est aujourd'hui tombée à 0,2 seconde pour les appareils les plus performants (Reconyx® notamment);
- de nombreuses possibilités de réglages (nombre de photos prises successivement, laps de temps entre 2 déclenchements, déclenchements réguliers programmés) permettent d'adapter les paramètres de prises de vue de façon optimale;
- la discrétion du matériel et de son fonctionnement (flashes, bruits de déclenchements) a été améliorée, mais n'est pas encore parfaite. Les flashes infrarouges et les bruits électroniques peuvent encore être perçus par la faune, et certaines espèces comme le Renard roux montrent parfois des signes de méfiance ou d'apeurement.



Photo n°1 : Piège-photo argentique utilisé dans les années 1990. (© VINCI Autoroutes, OGE).



Photo n°2 : Piège-photo numérique compact et performant utilisé depuis 2011. (© VINCI Autoroutes, LPO France).



Photo n°3 : **Genette commune dans un écoduc.** (© LPO France, VINCI Autoroutes)

Malgré ces progrès, le piège photographique comporte cependant quelques points faibles entraînant parfois des biais de détection :

- les suivis réalisés dans des espaces ouverts (écoponts par exemple), où la faune n'est pas canalisée et où la végétation évolue librement, engendrent des biais de détection importants, particulièrement pour les petites espèces ;
- avec la technologie infrarouge, un corps de température proche de celle de l'air ambiant a peu de chance d'être détecté. Ce problème concerne donc les espèces à « sang froid » telles que reptiles et amphibiens, mais également les mammifères semi-aquatiques comme la Loutre d'Europe dont la température extérieure de la fourrure isolante détrempée peut-être proche de celle de l'air ambiant (Kuhn & Meyer, 2009). Cette difficulté a souvent été constatée par des indices de passage devant des pièges photographiques n'ayant pas déclenché, notamment pour la Loutre d'Europe (Vignon, 2005 ; Lerone *et al.*, 2011 ; P. Jourde, *comm. pers.*) ;
- la détection apparaît encore largement perfectible par rapport à un piège à vibration (*S. Fagart, obs. pers.* ; cf. chapitre 7.4.) pour les petits carnivores (*Martes sp.*, Genette). Pour des espèces plus petites (micromammifères) ou celles se déplaçant rapidement (Belette) (Fagart *et al.*, 2016), la détection en infrarouge semble assez aléatoire et très lacunaire ;
- l'individualisation des animaux sur photographies est dans la plupart des cas impossible et repose trop souvent sur des caractères individuels anormaux et rares (maladie de peau, blessure, etc.). Sous réserve que les clichés soient de bonne qualité, les espèces présentant des motifs uniques (Genette, Salamandre tachetée, etc.) peuvent être individualisées ;
- le dépouillement des données, qui peut être long et fastidieux ;
- la connaissance du matériel est également essentielle au bon déroulement du suivi. Les réglages de la configuration, du placement et de l'étalonnage des pièges photographiques demandent une certaine expérience ;
- les vols et les dégradations de matériels empêchent parfois le bon déroulement des suivis.





02. MÉTHODOLOGIE POUR LE CHOIX DES SITES

L'expertise écologique s'appuie sur une méthodologie éprouvée et appliquée sur les constructions neuves et les ouvrages de requalification.

2.1 Travail majeur de diagnostic préalable

Qu'il s'agisse d'un projet de construction comme celui de l'autoroute A89 ou de requalification d'anciens réseaux comme dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier, un diagnostic de terrain venant confronter l'analyse ex-situ basée notamment sur l'écologie du paysage et des espèces, est indispensable.

PHASAGE DES ÉTUDES PRÉALABLES DANS UN PROJET EN TRACÉ NEUF OU UN PROJET DE REQUALIFICATION

Les phasages des études d'environnement et plus particulièrement des études en milieux naturels des projets en tracé neuf ou de requalification ont en commun une progression dite en « entonnoir » passant par des étapes successives : le territoire d'étude commence par être grand et très englobant (échelle 1/100 000^e à 1/50 000^e) pour être de plus en plus petit et ciblé, pour finir à l'échelle fine du tracé (1/5 000^e voire 1/2 000^e).

Du fait de son caractère réglementaire, le descriptif de ce phasage concerne principalement les projets en tracé neuf mais il s'applique avec des adaptations aux projets de requalifications.

ÉTUDES PRÉALABLES

Les études préalables à la Déclaration d'Utilité Publique (DUP) sont cruciales dans le sens où elles permettent le choix de la solution d'aménagement la moins impactante pour la population locale et ses activités économiques, le milieu naturel ainsi que les autres domaines de l'environnement (eau, géologie, sol, air, bruit, paysage, etc.). La concertation associée à cette phase d'études peut être un élément important à ne pas négliger afin de prendre en compte l'ensemble des enjeux du territoire traversé par le projet. Le contexte est différent pour un projet de requalification en comparaison d'un projet neuf. L'aire d'étude est dans le 1^{er} cas calée sur l'infrastructure linéaire existante, réduisant ainsi sensiblement son étendue et ne générant alors qu'un seul fuseau d'étude. L'aire d'étude lors d'un projet de requalification doit cependant être plus large que celle d'un simple fuseau afin d'être exhaustive lors du relevé des enjeux du territoire concerné par le projet.

Un projet de requalification ne nécessite pas de DUP sauf s'il est intégré dans un projet d'élargissement. Toutefois, une concertation auprès des acteurs locaux est indispensable pour s'assurer que les mesures de requalification projetées entrent en synergie avec des

actions des collectivités territoriales riveraines ou celles d'un gestionnaire d'infrastructure linéaire adjacente.

Que le projet soit une requalification ou un projet neuf, il convient de faire une étude préalable suffisamment complète et détaillée (faune, flore, habitats naturels, TVB, eau, géologie, sol, paysage...) afin de tenir compte de tous les enjeux et d'éventuels impacts négatifs induits par les mesures de réduction mises en place. Par exemple, l'installation d'une banquette* peut réduire de façon critique la capacité d'un ouvrage hydraulique ou tout le moins le rendre infranchissable pour l'ichtyofaune* du fait de l'accélération du courant dans l'ouvrage dont la largeur du lit a été resserrée par la banquette* (effet Venturi). Une telle étude préalable permet ainsi d'avoir une vision d'ensemble du projet et de positionner de manière cohérente les mesures dans le cadre d'une stratégie globale.

ÉTUDES DE PROJET : CONCEPTION DÉTAILLÉE

Les études de projet permettent de définir avant chantier la géométrie du projet, l'emplacement et la dimension exacte des emprises nécessaires, des ouvrages d'art...

Lors de cette phase, des études très fines sont opérées pour le calage définitif du projet. Dans le cadre des milieux naturels, des prospections de terrain à l'échelle de l'emprise sont quasi exhaustives pour la recherche de stations botaniques et des habitats naturels ou d'espèces protégées ou à enjeux. La requalification peut en effet générer des impacts sur le milieu environnant lors des travaux (ex : destruction potentielle de station botanique par une foreuse lors du fonçage horizontal pour l'installation d'un écoduc adjacent à une buse hydraulique existante).

Les acquisitions foncières ainsi que les procédures d'autorisation ou de dérogation préalables à la réalisation des travaux sont alors engagées : enquêtes parcellaires, loi sur l'eau, espèces protégées...

CAS PARTICULIER D'UN PROJET DE CONSTRUCTION NEUVE

Les phases d'études successives décrites ci-avant sont précisées dans la circulaire du 7 janvier 2008 et ne concernent que le réseau routier national et le plus souvent des créations de 2 x 2 voies à chaussées séparées ou à des élargissements de routes existantes en 2 x 2 ou en 2 x 3 voies.

Les études préalables dans le cas d'un projet en tracé neuf sont précédées d'une étude d'opportunité durant laquelle les enjeux des milieux naturels, au même titre

que les autres domaines usuellement étudiés, sont recueillis principalement par de la bibliographie puis sont hiérarchisés pour une aide à la décision. À l'issue de cette phase est organisé un débat public.

Une autre particularité d'un projet neuf est qu'en phase préalable doit être présentée, à fin de comparaison aux variantes du projet, une variante « zéro » dans laquelle aucun projet n'est réalisé à neuf, s'agissant le plus souvent alors d'un aménagement sur place d'une infrastructure existante.

CAS PARTICULIER D'UN PROJET DE REQUALIFICATION

Il n'existe pas d'obligation réglementaire au phasage des études pour les projets de requalification. Toutefois, il est reconnu tacitement que le phasage doit être équivalent au cas d'un projet neuf avec des adaptations liées à la préexistence de l'infrastructure linéaire de transport.

Une phase équivalente à la phase d'études d'opportunité peut exister dans le cadre de requalification. Il s'agit principalement du recueil bibliographique des enjeux milieux naturels et autres domaines sur une large portion du territoire que traverse l'infrastructure pour en dégager les enjeux.

Les études préalables de 1^{re} phase se concentrent sur une zone plus restreinte dans laquelle est centrée l'infrastructure et doit déboucher sur un seul fuseau contenant la-dite infrastructure. La pression d'étude et les thèmes abordés sont à peu près identiques aux projets neufs. Cette phase peut concerner l'analyse de plusieurs tronçons dans un réseau.

La 2^e phase d'études préalables est plus ou moins nécessaire. Elle peut être utile dans le cas de la requalification de plusieurs tronçons pour lesquels il est nécessaire de regarder dans le détail et de comparer diverses solutions de requalification.

La phase de conception détaillée est identique dans les 2 types de projets.

DÉTAIL DE LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE DANS LE CADRE DU PVA*

Analyse spatiale (échelle macro, ex-situ)

L'analyse spatiale combine l'écologie du paysage, les préconisations du COMOP TVB* et un croisement entre les bases de données existantes et les propres données du concessionnaire. Elle se détaille de la façon suivante :

- superposition des couches d'information sur le territoire (zonages, hydrographie, infrastructures et leurs ouvrages, etc.);
- modélisation à partir de l'occupation du sol de réseaux écologiques cibles et l'analyse graphique (dilatation-érosion) caractérisant des continuités potentielles;
- analyse écopaysagère : lecture fine du paysage via orthophotographies et relief 3D;
- confrontation des tronçons à enjeux localisés avec les caractéristiques de l'autoroute existante via la base de données du concessionnaire (profil en travers, clôtures, perméabilité actuelle estimée des ouvrages) pour appréhender l'effort théorique.

Ce travail constitue une première étape ex-situ adaptée aux spécificités de l'infrastructure pour rechercher une cohérence avec les politiques publiques (SRCE*, PNA*, ROE* et réforme LEMA*) et orienter les études de terrain.



Photo n°4 : Réunion du Comité scientifique et technique du programme de requalification en faveur de la biodiversité. (© VINCI Autoroutes).

Expertise écologique (échelle locale, ex-situ et in-situ)

L'expertise écologique s'articule de la façon suivante :

- identification des secteurs d'intérêt par l'identification des entités écologiques (zonages d'inventaire et de protection, hydrographie, SRCE*, classement cours d'eau, etc.) et l'identification des fonctionnalités écologiques et points de conflits avec intégration des données espèces issues notamment des associations naturalistes et fédérations de chasse et pêche;
- expertise fine des secteurs d'intérêt et de leurs ouvrages pour apprécier leur perméabilité et leur potentialité (suivi faunistique), et prenant en compte également l'état des habitats et des continuités environnantes;
- état initial en vue des chantiers : réalisation d'un prédiagnostic pour apprécier le risque stationnel

lié à la présence d'habitats et d'espèces protégés (volet réglementaire);

- garanties de pérennité (SRCE*, SCoT*, PLU*, etc.);
- concertation pour acceptation par les différentes parties prenantes : DREAL*, Conseil régional, Conseil départemental, DDT* (M), ONEMA* (future AFB*), ONCFS, Chambre d'agriculture, CRPF*, Syndicats de rivières, etc.

À noter que les données de l'exploitant concernant la mortalité animale, lorsqu'elles existent, ne sont généralement pas très fiables (incomplètes en raison de la prédation et des cadavres de petites espèces difficiles à retrouver, erreurs et difficultés d'identification des espèces) et suffisantes pour indiquer un site accidentogène, les animaux heurtés pouvant être entrés dans les emprises par un point éloigné de la collision. Ces données restent ainsi indicatives et leur absence dans l'analyse des enjeux n'apparaît pas rédhibitoire.

Analyse multicritères

En vue de proposer l'optimisation ou la création d'ouvrages, cette étape prend en compte l'ensemble des critères :

- enjeux écologiques à différentes échelles (nationales, régionales, locales);
- espèces cibles (espèces dimensionnantes);
- fonctionnalités et potentialités existantes;
- contraintes techniques préestimées (présence de remblai, largeur de brèche en déblai, accès chantier, etc.);
- pérennité des abords de l'ouvrage;
- acceptabilité par les différents acteurs;
- coût.

Faisabilité technique

Pour apprécier la faisabilité des projets proposés, les différentes contraintes techniques sont étudiées : profils en travers, ouverture de brèche en déblai, nature, longueur et hauteur des remblais, nature et état des ouvrages hydrauliques, foncier, accès aux chantiers, sécurité en phase chantier, etc.

À noter, dans certains cas (enjeu chiroptères, ouvrages hydrauliques...), la réalisation d'un suivi avant travaux peut être réalisé pour obtenir un état zéro utile à l'analyse post-aménagement.

2.2 Présentation des aménagements réalisés

Concernant la construction de la section Balbigny - La Tour de Salvagny de l'autoroute A89 réalisée entre 2007 et 2013, 55 aménagements sont répartis sur les 50 km d'autoroute de 2 départements (Rhône, Loire).

Dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier, 38 aménagements ont été réalisés entre janvier 2010 et mars 2013 dans 13 départements (Hautes-Alpes, Charente-Maritime, Drôme, Gironde, Hérault, Loire-Atlantique, Maine-et-Loire, Loiret, Mayenne, Sarthe, Vienne, Hautes-Pyrénées, Var) et sur 12 autoroutes différentes (A7, A8, A9, A10, A11, A51, A57, A62, A64, A71, A81, A837).

Au total, 93 aménagements réalisés sur l'ensemble du linéaire étudié (Tableau n°2).

Tableau n°2 : Nombre et type d'aménagements réalisés pour l'A89 et le PVA*.

Type d'aménagements réalisés	A89	PVA
Écoduc (buse sèche circulaire)	21	24
OH aménagé (banquette*, encorbellement*)	25	4
PIGF spécifique	5	-
PIGF mixte	1	-
Écopont (nouvel ouvrage ou ouvrage optimisé)	-	4
Passage mixte aménagé	-	4
Passe à poissons	-	1
Tremplin vert à chiroptères	1	-
Chiroduc*	2	-
Gîtes à chiroptères (viaduc)	-	1
Sous-total	55	38
Total	93	

Les photos ci-après illustrent la diversité des aménagements réalisés.



Photo n°5 : **Écoduc à proximité d'un ouvrage hydraulique.** (© VINCI Autoroutes).



Photo n°6 : **Chiroduc sur l'A89.** (© VINCI Autoroutes)



Photo n°8 : **Écopont sur l'A57.** (© CEN PACA).



Photo n°7 : **Écopont en service, aménagé pour l'ensemble des groupes faunistiques (petite*, moyenne* et grande faune*).** (© Olya, VINCI Autoroutes)



03. RÉALISATION DES OUVRAGES

Les dispositions constructives sur autoroutes intègrent obligatoirement une sécurité maximale, le strict respect des règles de l'art et un objectif de durabilité à long terme.

Les principes de dimensionnement susceptibles d'être retenus pour les différents types d'ouvrages suivants : écoponts*, écoducs*, encorbellements* et banquettes* sont ici présentés.

Pour le dimensionnement des dispositifs piscicoles, le lecteur est renvoyé à la note d'information du SETRA (n° 96 *Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques. Cas de la faune piscicole*, 2013) ainsi qu'au guide de l'ONEMA (*Information sur la Continuité Écologique* - ICE, 2014).

Le choix des dispositions constructives sur autoroutes intègre obligatoirement une sécurité maximale, le strict respect des règles de l'art (Eurocodes*, etc.), la conformité avec le cahier des charges de la concession et un objectif de durabilité à long terme excluant certaines solutions moins pérennes.

Il s'agit ici véritablement de croiser génie civil et génie écologique*.

L'utilisation par la faune se trouve conditionnée à une multitude de « détails » : le traitement des accès pour la faune, le raccordement le plus étanche possible aux clôtures, la qualité de la pose du renfort petites mailles, etc. Ainsi, le plus important pour un écopont est le traitement de son tablier avec ce souci du détail nécessaire pour juxtaposer une multitude de petits milieux favorables aux franchissements de nombreux groupes biologiques. Ces petits milieux et autres aménagements annexes (mares, andains...) devant être disposés de façon optimale afin d'éviter toute gêne mutuelle et entrave au déplacement des animaux.

Outre les principes de dimensionnement, le retour d'expérience fait également état de l'évolution observée depuis la mise en fonctionnement de l'ouvrage. Parce que le suivi post-aménagement est indispensable et que sa mise en œuvre (la capacité à collecter des données) peut être influencée par le traitement des ouvrages, il convient d'anticiper ce paramètre.



Photo n°9 : Vue d'ensemble d'un écopont avec ses panneaux occultant. (©A.Orseau-LPO France, VINCI Autoroutes)

ÉCOPONT

Tablier et entonnements

Viser la plus grande largeur possible (souvent entre 15 et 25 m) en veillant à réduire le ratio : $\frac{\text{longueur}}{\text{largeur}}$. Il s'agit généralement d'ouvrages courants (en dessous de 1 200 m², ne requérant pas d'EPOA [Études Préliminaires d'Ouvrages d'Art] [cf. ouvrages non courants ; cf. circulaire n° 87-88 du 27/10/1987]).

Privilégier des solutions techniques simples (pas de geste architectural) : **l'important pour le fonctionnement écologique, ce n'est pas le pont, mais ce qu'il y a dessus.**

Rechercher préférentiellement l'effet « diabol » par les entonnements en forme de trapèzes (tablier rectangulaire et non courbe, plus onéreux), en veillant à élargir au maximum les entonnements.

Concevoir des entonnements dissymétriques se révèle souvent opportun pour s'adapter aux configurations (ex. présence de dispositifs d'assainissement dans un sens).

Écrans d'occultation

La conception des écrans d'occultation sur le tablier et sur la totalité des entonnements jusqu'au raccord au terrain naturel du talus doit privilégier une ouverture rectiligne sur les entonnements, plutôt que des courbes parfois plus complexes à réaliser.

Une attention particulière est à porter à la jonction des écrans d'occultation sur leurs supports pour supprimer tout effet de jour par un jointement adéquat (cf. Figure n°2).

Terre

L'épaisseur de terre optimale sur tablier est généralement de 20-30 cm sur la majeure partie (pour semis d'herbacées) et de 80-90 cm d'épaisseur sur les côtés (plantations de bandes boisées en rives) sous forme de banquettes d'une largeur de 5 m (cf. Figure n°2). Cette disposition est également bénéfique pour le suivi, car elle permet de contenir, par le stress estival, le développement des herbacées susceptibles de parasiter la détection des pièges photographiques. L'ajout de sables ou de sables graveleux (0-6 mm) en bandes ou en mélange avec la terre peut compléter le dispositif pour maintenir ces zones centrales ouvertes.

Il est nécessaire de prévoir une épaisseur de terre plus importante sur les entonnements (1 m minimum, pouvant nécessiter selon les cas la pose d'un géotextile sur le remblai compacté).

La terre de type « terre végétale » est parfaitement adaptée à ces réalisations.

Au vu des volumes de terre nécessaires sur tablier et entonnements, une attention particulière doit être portée quant au risque de dissémination d'espèces invasives de portée réglementaire telle l'ambrosie (cf. arrêtés préfectoraux selon départements). Des spécifications types et contrôles devront donc être intégrées au marché plantation.

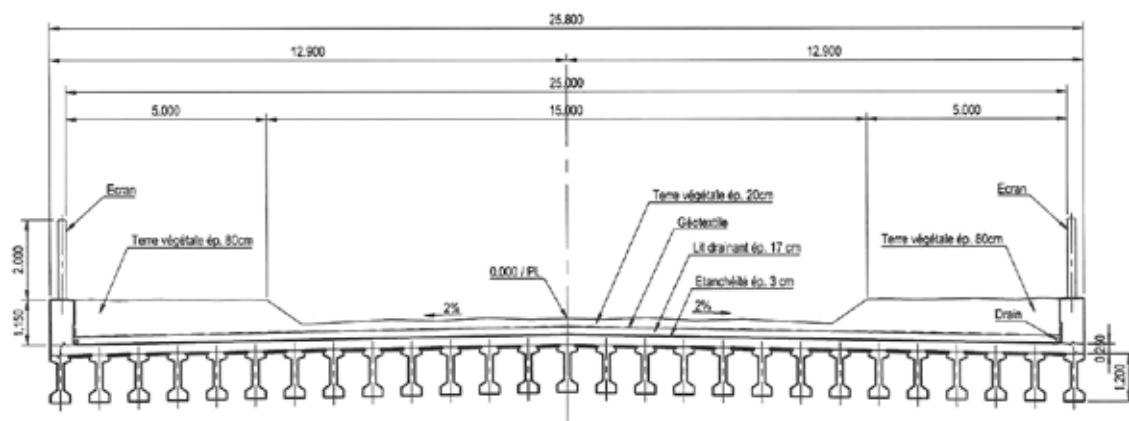


Figure n°2 : Coupe avec répartition des épaisseurs de terre.

Hypothèses particulières pour le dimensionnement

Poids propre hors terre

Le poids propre de la structure et des superstructures sera évalué en appliquant l'Eurocode EN 1991-1-1.

Les valeurs caractéristiques maxi et mini seront évaluées en appliquant les Directives communes 79.

Charges de terre

- Masse volumique : 20,0 kN/m³
- Banquettes latérales (valeur pour une banquette sur un côté) :

Dimensions (m)	Nominale	Variation
Largeur	5,00	-0 / +1,00
Épaisseur	0,80	-0,20 / +0,30

Talus à 1/1

- Zone centrale :

Dimensions (m)	Nominale	Variation
Largeur	L	-2.00 / +0
Épaisseur	0.20	-0.00 / +0.20

L = largeur de l'ouvrage entre écrans, diminuée des banquettes (L=15m sur la Figure n°2, page 25).

Andains

Masse volumique : 20.0 kN/m³.

Un andain sera schématisé par un parallélépipède de section 0,80 x 0,80 m, régnant sur la longueur de l'ouvrage dont l'axe se situe à L/4 de l'axe de l'ouvrage.

Étanchéité

L'étanchéité sera conforme au fascicule 67 titre III et devra être titulaire d'un avis technique du CETU.

Pour des ouvrages de type passage supérieur, le choix se portera sur des complexes épais collés au support. La première couche sera remontée dans des engravures ménagées le long des longrines latérales supports d'écran.

Charges d'exploitation

Surcharge routière : il sera pris en compte une charge de calcul type LM1 (cf. Eurocode EN 1991-2) appliquée sur une unique voie (de 3 m de largeur) disposée de manière quelconque entre les 2 écrans (calcul enveloppe). Cette charge acceptera sur l'ouvrage des véhicules de secours roulant à faible vitesse, ce qui ne génère ni effort horizontal ni effet dynamique). À ne prendre en compte qu'en ELS* caractéristique, cumulée avec les charges de terre maxi, avec les coefficients de la 1^{ère} classe de trafic.

Surcharge de chantier : à définir au cas par cas si les surcharges routières ci-dessus ne sont pas suffisantes pour couvrir les phases de chantier (notamment le remblaiement).

Surcharge sur remblai d'entonnements : pour l'étude des murs et culées : 1t/m².

Charges climatiques

En application de l'Eurocode EN 1191-1-3, une charge de neige sera appliquée sur l'ouvrage, évaluée en fonction de sa situation géographique. Les écrans d'occultation seront considérés comme des obstacles au sens de l'article 6.2 de l'Eurocode (accumulation). La neige ne sera pas cumulée avec les surcharges routières.

Choix et options retenus pour l'application des Eurocodes

- Classe de conséquences : CC2
- Classe de fiabilité : RC2
- Niveau de supervision du projet : DSL3
- Niveau de contrôle pendant l'exécution : IL3
- Durée de vie : 100 ans.

Brise-vues et clôtures

Contrairement aux écoducs et autres aménagements d'ouvrages hydrauliques, la pose d'un brise-vue est nécessaire pour prolonger l'occultation aux abords de l'ouvrage.

La pose d'un brise-vue en polyéthylène (opacité 75 %) sur les clôtures repositionnées représente une longueur d'environ 25 ml en prolongement des écrans d'occultation de part et d'autre dans chacun des 2 sens, soit une centaine de mètre au total. L'ajout de piquets de clôture supplémentaires et de jambes de force additionnelles s'avère utile pour garantir la résistance au vent du brise-vue (cf. Figure n°3).

Il est opportun de prévoir des renforts de clôtures à petites mailles sur plusieurs centaines de mètre de part et d'autre de l'écopont, dans chacun des 2 sens.

Le renfort sur clôture autoroutière peut être constitué de 2 couches de grillages petites mailles en galvanisation riche :

- un renfort en 6,5 x 6,5 mm ($\varnothing$ du fil 0,7 mm);
- un renfort en 25 x 13 mm ou 25 x 25 mm ($\varnothing$ du fil 1,8 mm) semi-enterré sur 30 cm dans le sol et minimum 70 cm hors-sol (cf. Figure n°3).

L'installation intègre des raccordements « clôtures-écrans » imperméables à la petite faune (cf. Photo n°10, page 28).

Le repositionnement et le remplacement de clôtures sur des longueurs variables sont indispensables pour créer l'effet d'entonnoir.

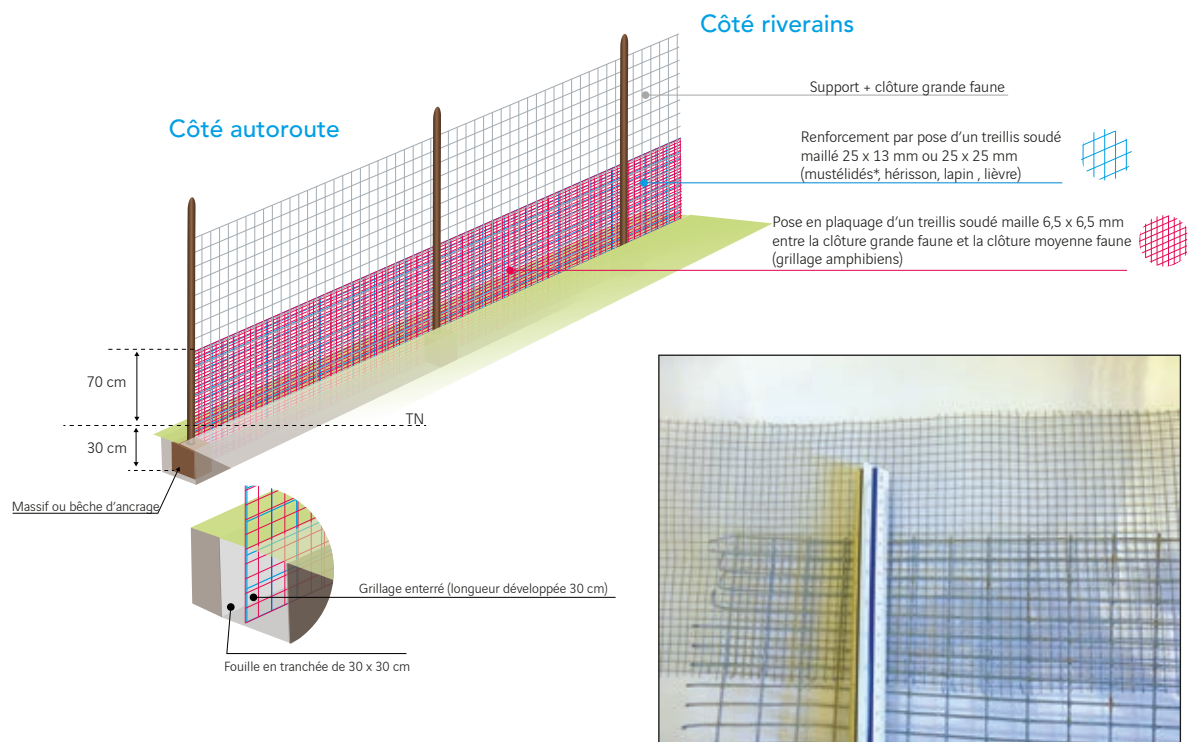


Figure n°3 : Renforts 6,5 x 6,5 mm + 25 x 13 mm et schéma de renforcement.



Photo n°10 : **Raccord correct, brise-vue avec jambes de force et joint souple sous écran (de gauche à droite).** (© VINCI Autoroutes).

Génie écologique

Plantations

L'aménagement prévoit trois types de formations végétales :

- arbres et arbustes sur les bandes boisées du tablier et sur les entonnements (en lignes);
- arbrisseaux en plantations isolées sur le tablier;
- semis d'herbacés sur le tablier et les entonnements.

La mise en place de ces espèces de type local respecte le calendrier avec des plantations de novembre à mars et des semis de septembre à mars. Préalablement à la mise en œuvre, un contrôle des matériaux et végétaux aura été effectué.

S'agissant des « plantations », **il est important de ne pas oublier que :**

- la réception définitive n'est pas prononcée aussitôt après la fin des travaux de « création », mais intervient après 2 saisons de végétation (21 mois en moyenne après le constat d'exécution des prestations végétales marquant la fin des travaux de création);
- entre les travaux de création et la réception définitive ou constat final, des points d'arrêts sont à faire pour déclencher les phases relatives aux travaux de parachèvement et délai de garantie (= travaux de confortement).

Rappel des points d'arrêts (en bleu dans le synoptique Tableau n°3, page 29):

Chronologie:

1. Constat d'exécution des prestations végétales;
2. 1^{er} constat de reprise;
3. Réception;
4. 2^e constat de reprise;
5. Constat final (ou réception définitive).

Les spécifications types pour les végétaux :

- semis : la densité de semis est de 10 à 20 gr/m² selon le mélange. À base de graines d'espèces natives, il est adapté aux conditions locales et privilégie les graminées associées à des dicotylédones, notamment pour les insectes;
- plantations : les arbustes et arbrisseaux d'essences locales en plants ramifiés de 60-80 cm, en conteneurs C2, C3 ou racines nues ou plants forestiers selon espèces, arbres de hauteur 175 - 200 cm (baliveaux).

Tableau n°3 : **Synoptique du marché de plantation type.**

Travaux de création	Automne Hiver Printemps	Délai Partiel 1	DP1-1 TRAVAUX PRÉPARATOIRES
			DP1-2 TRAVAUX DE PLANTATION
			≤10 j constat d'exécution des prestations végétales
Travaux de parachèvement	Avril	Délai Partiel 2	TRAVAUX DE PARACHÈVEMENT
	Mai		
	Juin		
	Juillet		
	Août		
	Sept		
	Oct.		1 ^{er} constat de reprise
	Nov.		Remplacement des végétaux puis réception
	Déc.		
Délai de garantie	Janvier	Délai Partiel 3	TRAVAUX DE CONFRONTEMENT
	Février		
	Mars		
	Avril		
	Mai		
	Juin		
	Juillet		
	Août		
	Sept		
	Oct.		2 ^e constat de reprise
	Nov.		Remplacement des végétaux puis constat final
	Déc.		

Mares

Il est intéressant de prévoir dans la mesure du possible, en cohérence avec les autres petits aménagements, plusieurs mares sur les entonnements. La configuration idéale est une forme circulaire d'une surface minimale de 5 m². Une profondeur suffisante de 60-70 cm évite un atterrissement précoce, maintient plus longtemps l'eau et des pentes douces.

Une mare peut être réalisée sur le tablier en veillant à ne pas endommager ses dispositifs d'étanchéité. Ici, la profondeur ne peut souvent pas excéder une vingtaine de cm et son caractère humide reste limité. Cependant, la mare centrale peut être employée pour inciter les animaux à la contourner et ainsi passer plus près des pièges photographiques. Elle reste donc particulièrement intéressante sur les ouvrages larges.

Pour maintenir une certaine humidité, les mares sont étanchéifiées par la mise en place en fond de forme d'un feutre anti-poinçonnement (300 g/m²) et d'une bâche de type EPDM (géomembrane, épaisseur 1 mm) recouverts de terre végétale (>10 cm minimum). Pour maximiser l'approvisionnement naturel des mares en eau (pluie et ruissellement), il faut prendre en compte la pente naturelle des terrains ou étendre davantage la géomembrane pour l'utiliser comme collecteur (cf. ci-après).



Photos n°11 : Réalisation de mares. (© VINCI Autoroutes).

Andains

Souvent préconisé, l'andain se compose d'un alignement continu de roches (Ø 60-80 cm) avec des souches et rondins de bois (Ø 10 cm minimum) liaisonnés par un câble en acier (passage du câble par percement dans le bois), fixé aux extrémités. L'andain peut aussi être recouvert en totalité par un grillage de type « Ursus » (maille > 10 cm) correctement raccordé au sol. Ces dispositifs préviennent le vol ou le jet des matériaux sur l'autoroute. Il devra être positionné (de préférence sur un côté) de telle sorte qu'il ne diminue pas trop la largeur utile du passage dédié à la grande faune ou ne gêne pas d'autres dispositifs.

La longueur de l'andain devra permettre de se raccorder à la végétation existante de part et d'autre de l'ouvrage.

Il est recommandé de sélectionner une qualité de bois (souches et rondins des andains) peu putrescibles selon les essences disponibles : robinier, châtaignier, chêne (cf. ci-après).



Photos n°12 : Réalisation d'andains ; on note le passage du câble sur la photo au centre. (© VINCI Autoroutes).

Anti-intrusion

Un alignement de blocs d'un diamètre compris entre 80 et 120 cm (1 à 2 t environ), avec une interdistance maximum d'1 m entre chaque bloc (cf. Photos n°13), empêche le passage de véhicule à 4 roues. Cet alignement de blocs sera réalisé sur l'entonnement hors tablier.

Des piquets de bois (autoclave, Ø 120-200 mm) scellés verticalement (1 m hors sol) peuvent également compléter le dispositif de blocs pour réduire encore davantage le risque de pénétration.

Un dispositif de barrières métalliques sous la forme d'une succession de barres horizontales et de cadres peut être utile également pour entraver fortement l'intrusion d'engins, tout en préservant le passage de la petite et grande faune.



Photos n°13 : **Alignement de blocs anti-intrusion (haut) et barrière métallique anti intrusion engin, mais perméable à la faune sur un écopont (bas).** (© VINCI Autoroutes).

Équipements pour le suivi écologique

Les appareils sont souvent fixés sur les écrans bois en partie centrale. Toutefois, il paraît judicieux de prévoir également la pose d'appareils directement sur les blocs constituant l'andain (pose par percement et chevillage).

Pour l'installation éventuelle de pièges photographiques ou de par exemple sur entonnement, il est possible de prévoir la pose de deux poteaux bois (autoclave, Ø 120-200 mm) scellés verticalement (2 m hors-sol) qui serviront de mats de fixation

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES POUR LE SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DES ÉCODUCS

Le suivi de la grande faune par piège photographique infrarouge est limité par les portées du flash (lisibilité des clichés nocturnes) et du détecteur. Elles varient selon le modèle du piège-photo et la taille des animaux détectés. Jusqu'à 8 m de large, le passage de la grande faune peut-être suivi par un seul appareil. De 8 à 15 m, deux pièges-photos en vis-à-vis et perpendiculaires à l'axe de l'écopont sont nécessaires. Au-delà, l'ajout d'appareils sur la partie centrale suppose un système de fixation, tel un bloc de pierre suffisamment gros. L'ajout d'une mare centrale reste techniquement possible et peut utilement servir à contraindre les animaux à passer plus près des appareils.

La création d'un andain revient à ajouter un couloir de passage supplémentaire et suppose un piège-photo additionnel, notamment pour la petite faune.



Photo n°14 : **Pièges photo fixés sur écrans et sur blocs de pierre.** (© VINCI Autoroutes).

Chantier

La phase de terrassement est la plus perturbante au regard des sensibilités environnementales. Le calage de cette phase impose d'éviter la période de reproduction et d'élevage des jeunes (avril à août pour la plupart des espèces animales).

La délimitation sur le plan des pistes sensibles et emprises conformes aux préconisations environnementales édictées lors de l'état initial écologique (respect des mesures d'insertion, balisage, aire de stationnement, mise en défens...) s'effectue dès le stade avant-projet.

La réalisation des pistes, zone de stockage et plateforme de travail à créer sont réalisées sur géotextile avec apport de matériaux. Le géotextile favorise l'enlèvement et la remise en état naturel du site.

La plateforme de travail est clôturée (ex. type Héras). Le géotextile remonté sur la clôture sur environ 1 m de hauteur évite à la fois la fuite de matériaux vers le milieu naturel et l'intrusion (risque de destruction, CNPN) de la petite faune sur la zone de travail.

Le bois coupé peut être utilisé pour façonner l'andain ou bien servir de gîte pour la faune sous forme de tas de bois à l'extérieur des entonnements.

Une attention particulière est recommandée pour empêcher le passage de la faune sur l'ouvrage durant le chantier. Face au risque de pénétration sur les voies (*figure ci-après*), la vigilance s'impose !



Photo n°15 : **Dispositif de portail de chantier avec panneau indiquant la fermeture obligatoire.**
(© VINCI Autoroutes).



Photos n°16 : **Chantiers d'écoponts ci-dessus et sur la page suivante.** (© VINCI Autoroutes).



INDICATIONS RÉGLEMENTAIRES

La réalisation d'un écopont suppose, à ce jour et hors cas particulier, d'établir d'un formulaire de « cas par cas » au titre de l'étude d'impact, art. R122-2 (*Code de l'environnement, réforme de l'étude d'impact, rubrique n° 7 a -pont inférieur à 100 m*).

Le formulaire de « cas par cas » intègre l'évaluation des incidences Natura 2000 au titre du décret du 09 avril 2010 (réforme de l'évaluation).

Avant tout projet, il reste essentiel de vérifier l'évolution du droit ou de la jurisprudence en la matière et de s'attacher les compétences juridiques nécessaires.

ECODUC*

Traitement des têtes

La construction de la tête est généralement réalisée en béton coffré, une solution qui respecte les pentes des talus, permettant ainsi :

- de « rentrer » dans le remblai (décaissement) pour favoriser l'effet d'entonnoir ;
- de maintenir les terres ;
- de raccorder parfaitement les clôtures autour par jointement via du mortier ;
- de réduire significativement l'entretien ultérieur, car le radier béton recouvert de terre empêche le développement des ligneux.

L'assemblage avec les buses comporte un joint d'étanchéité en élastomère.

Le calage du fonçage se situe au-dessus du Q100 (écoduc).

Le degré d'ouverture de l'entonnement est d'environ 30° par rapport à l'axe de la buse (cf. Figure n°4).

En cas d'implantation dans la pente du remblai, il convient de prolonger le radier béton par une rampe maçonnée en pente douce. Elle inclue des rugosités par scellement de pierres (débord de 4-5 cm) afin de retenir la couche de terre qui y sera appliquée (environ 15 cm de terre).

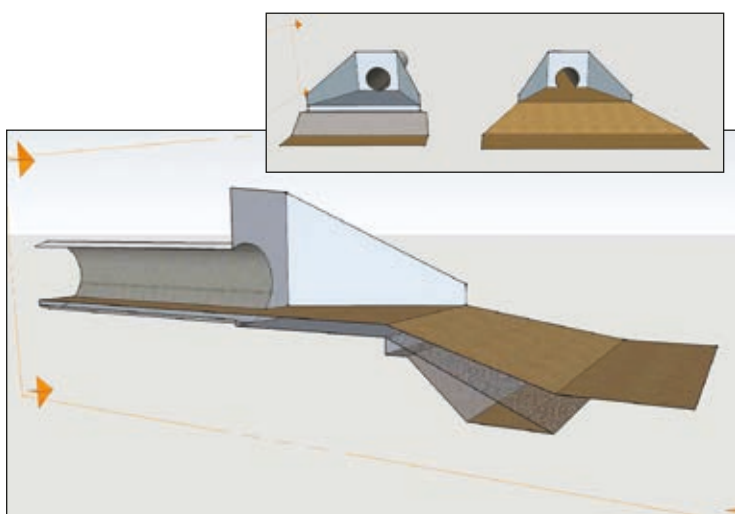


Figure n°4 : **Schéma de principe d'une rampe (gauche) et réalisation d'une rampe maçonnée avant recouvrement de terre.**
(© VINCI Autoroutes).

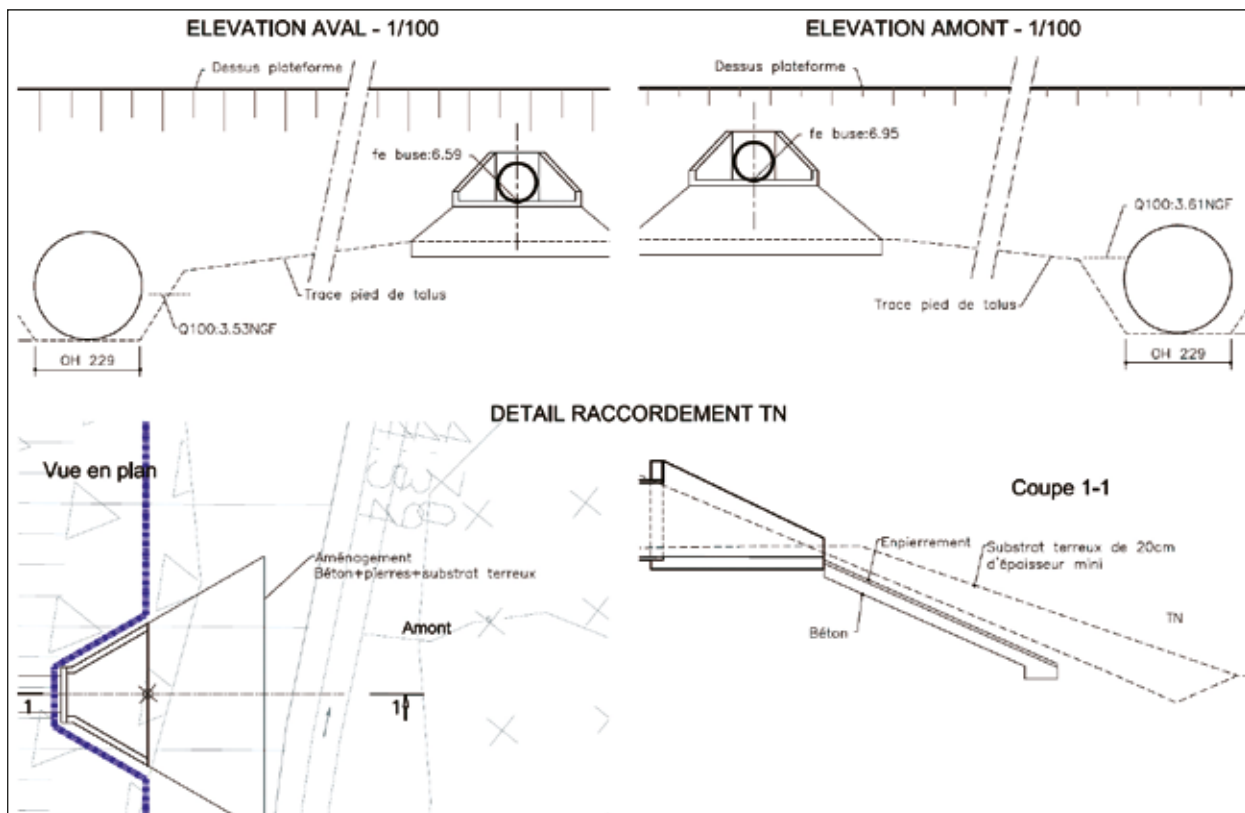


Figure n°5 : Plan AVP d'un écoduc faisant apparaître le Q100 et les élévations.

Techniques, tolérances admissibles et points d'arrêt

Les buses sont souvent posées par fonçage à l'arrière d'une machine d'excavation (tarière avec trousse hydraulique). Elles peuvent parfois nécessiter l'emploi d'un microtunnelier, la pose en tranchée si les conditions, notamment de trafic, le permettent. Mais l'alternative fréquente reste la technique de pose à « front ouvert »* lorsque la blocométrie apparaît limitante pour les tarières.

Les campagnes de reconnaissances géotechniques suffisantes (sondages BAU + minipelle sur remblais) doivent renseigner sur ce risque.

Les buses sont en métal ou béton ou encore PRV.

Les écarts maximaux admissibles pour la technique la plus usuelle de la tarière sont :

- planimétrie : plus ou moins 1 cm / ml de fonçage ;
- altimétrie : plus ou moins 2 mm / ml de fonçage (ou bien plus simplement 0,5 % d'écart par rapport au pendage initial projeté).

Le contrôle de la direction de l'alignement et de l'altimétrie est effectué en continu.

Les tubes des buses métalliques par fonçage (exécutées conformément au fascicule 66 du CCTG) sont en acier. Leur épaisseur est fixée et justifiée par note de calcul de façon à offrir la résistance mécanique nécessaire vis-à-vis des efforts que les tubes sont susceptibles de subir lors du fonçage. La détermination de l'épaisseur des

buses doit intégrer une épaisseur sacrifiée à la corrosion en tenant compte de la corrosivité des sols rencontrés (conformément aux préconisations de la norme EN 1993-5, sur la base d'une utilisation de 100 ans et en considérant un minimum de 2 mm pour l'épaisseur sacrificielle).

La mise en œuvre d'un dispositif de confinement du front ou d'obturation maintient en permanence la stabilité du front.

Un suivi topographique (plan et altimétrie) de la plateforme autoroutière est mis en place lors de la réalisation. Exécuté depuis l'extérieur de la plateforme, il évite toute intervention avec la circulation.

Une phase de débroussaillage anticipée apparaît souvent nécessaire pour apprécier véritablement la configuration du site. Il s'agit de repérer la présence éventuelle de cunettes ou de fossés non identifiés préalablement, dont l'incidence peut être notable sur le mode de réalisation ou sur la pose des clôtures.

Apports de terre

L'apport de terre à l'intérieur de l'écoduc et sur ses entonnements représente une épaisseur de 10 à 15 cm (10 cm minimum). De type terre végétale, elle est ni trop argileuse (gonfle) ni trop calcaire (durcie). La composition idéale associe 40-50 % de sable, 30-40 % de limon et 10-20 % d'argile.



Photos n°17 : **Technique de la tarière avec au 1^{er} plan certains blocs de diamètre limite (gauche) sur A11, technique à front ouvert (haut, droite) et bloc massif excavé avec cette technique (bas, droite) sur A83.**
(© VINCI Autoroutes).

Clôtures

Le renfort de clôtures petites mailles s'effectue sur environ 150 ml de part et d'autre de l'écoduc dans chacun des 2 sens, soit environ 600 ml au total.

Le renfort sur clôture autoroutière est constitué de deux couches de grillages petites mailles en galvanisation riche :

- un renfort en 6,5x6,5 mm ($\varnothing$ du fil 0,7 mm) ;
- un renfort en 25 x 13 mm ou 25 x 25 mm ($\varnothing$ du fil 1,8 mm) semi-enterré sur 30 cm dans le sol et minimum 70 cm hors-sol (cf. Photo n°19, page 38 ; Photos n°18, page 38 ; et Figure n°6).

Le traitement des franchissements de fossés/cunettes (et des passes américaines) est un point sensible, car il génère des points de faiblesse en permettant la pénétration de la petite faune à l'intérieur des clôtures, ce qui compromet l'effet de guidage recherché. Le repositionnement des clôtures permet souvent de s'affranchir de cette problématique.

Parmi les solutions possibles, il existe soit :

- la création d'un micro-seuil maçonné d'une hauteur minimale de 70 cm (si la pente le permet) avec la clôture passant devant le seuil ;
- la pose d'une grille renforcée ;
- l'installation d'un tube PVC de gros diamètre avec clapet anti-retour.

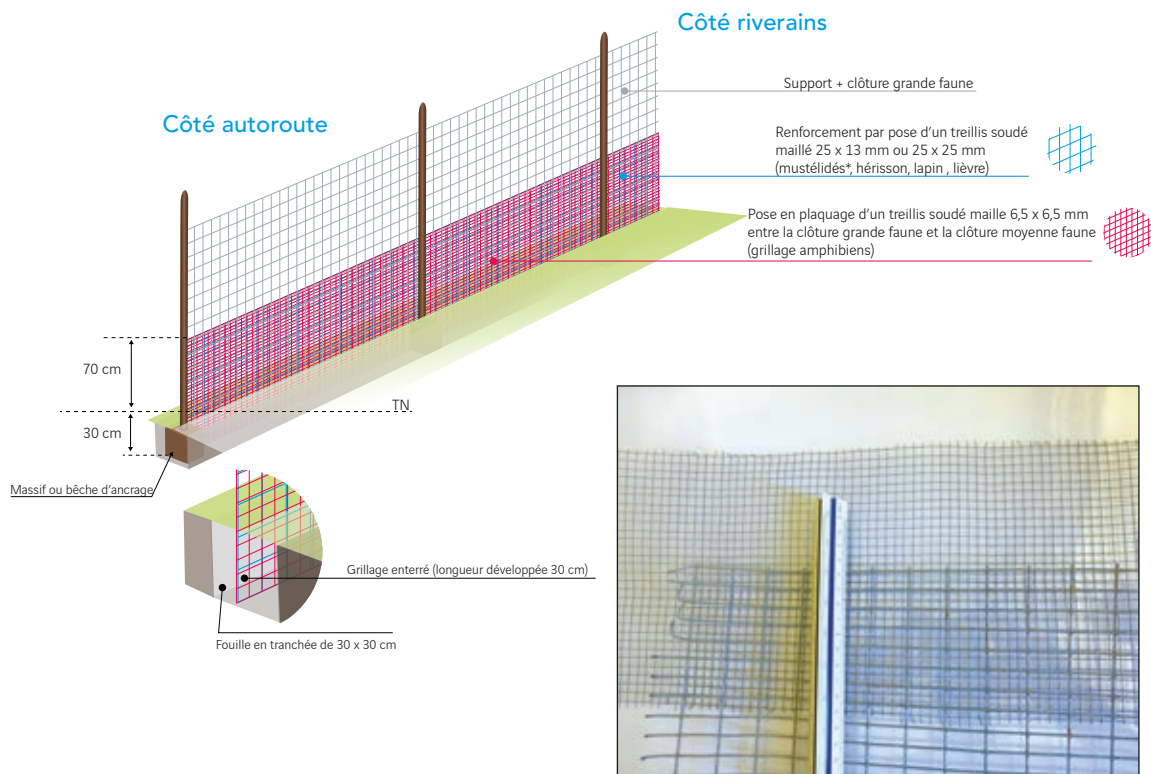


Figure n°6 : **Mailles de 6,5 x 6,5 mm et de 25 x 13 mm (gauche), schéma de principe du renforcement (droite).**

[NB : le renfort en 6,5 x 6,5 mm est le seul capable de guider les amphibiens mais sa durée de vie est très limitée en raison de sa fragilité. L'ajout d'un renfort 25 x 13 mm ou 25 x 25 mm robuste grâce au $\varnothing$ du fil en 1,8 mm permet d'accroître significativement sa longévité].



Photos n°18 : **Repositionnement semi-enterré du grillage renforcé (haut), jointure au mortier du grillage autour de la tête (bas).** (© VINCI Autoroutes).

Equipements pour le suivi écologique

La pose par l'entreprise d'une barre de type cornière en « L » solidement fixée aux parois intérieures de l'écoduc prévient la dégradation et le vol.

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES POUR LE SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DES ÉCOPONTS

Le suivi de ce type d'ouvrage suppose la pose d'un piège photographique suffisamment accessible pour des relevés réguliers, et si possible à l'abri des intempéries et de la vue des promeneurs. La pose au sol entrave un passage souvent étroit (écoducs de diamètre compris entre 800 et 1 200 mm). La fixation d'une cornière en partie haute (maintien de 15 cm de tirant d'air au-dessus) à 5 m à l'intérieur de l'écoduc permet d'installer un boîtier orienté vers le côté le plus long afin de mieux observer les traversées et demi-tours. Autre avantage, le boîtier se retrouve ainsi en grande partie dissimulé.



Photo n°19 : **Dispositif de type clapet adapté dans certains cas uniquement (clôture franchissant un fossé).** (© VINCI Autoroutes).

Chantier

La délimitation des pistes et emprises conformes aux préconisations environnementales édictées lors de l'état initial écologique (respect des mesures d'insertion, balisage, aire de stationnement, mise en défens...) s'effectue dès le stade avant-projet.

Les pistes, zone de stockage et plateforme de travail à créer sont réalisées sur géotextile avec apport de matériaux. Le géotextile favorise l'enlèvement et la remise en état naturel du site.

La plateforme de travail est clôturée (ex. type Héras). Le géotextile remonté sur la clôture sur environ 1 m de hauteur évite à la fois la fuite de matériaux vers le milieu naturel et l'intrusion (risque de destruction, CNPN) de la petite faune sur la zone de travail.

L'installation de dispositifs de filtration adéquats au droit de la zone de travail se révèle nécessaire en raison de la proximité très fréquente de zones humides et de cours d'eau.

Il est important de veiller à la stabilité des berges du cours d'eau, surtout si l'atelier de travail est très proche (vibrations qui risquent de provoquer un glissement et éventuelle fuite de MES*). Des dispositifs préventifs de stabilisation peuvent être nécessaires (géonattes et pieux en bois).

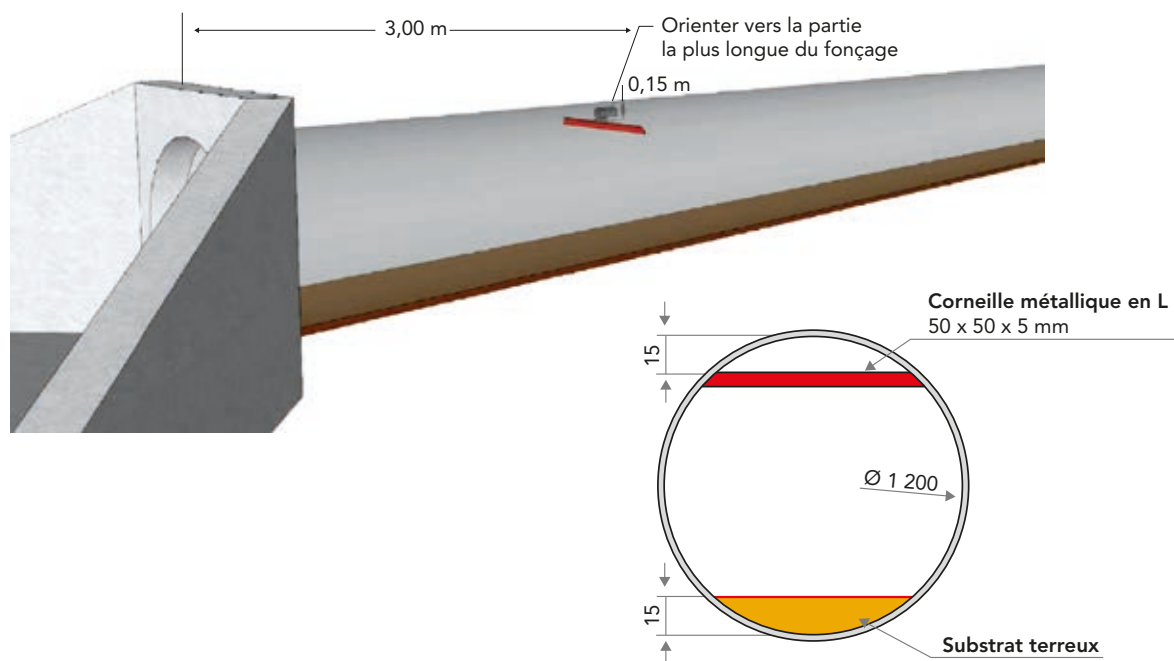


Figure n°7 : Schéma type pour la fixation.



Photos n°20 : **Plateforme de travail sur le chantier de l'écoduc de la Marguerite (A10) avec groupe électrogène sur un double fond bâché et géotextile conforme aux recommandations (gauche). À noter la proximité avec le cours d'eau et la conservation de certains arbres sur la zone (droite).** (© VINCI Autoroutes).



Photos n°21 : **Stockage conforme sur géotextile avec buse sur cales en bois.** (© VINCI Autoroutes).



Photos n°22 : **Stockage d'éléments préfabriqués d'une banquette.** (© VINCI Autoroutes).

ENCORBELLEMENTS ET BANQUETTES

Ils sont tributaires de la capacité hydraulique des ouvrages, et seule une étude hydraulique permet de vérifier ce paramètre dimensionnant. Exclure cette étape préalable revient à hypothéquer fortement l'utilisation future par la faune (aménagement trop souvent inondé). Si l'aménagement affecte trop défavorablement le gabarit de l'ouvrage (rehausse de la ligne de crues, non-respect des arrêtés de la Police de l'eau), les risques hydrauliques et réglementaires engagent la responsabilité de l'exploitant. L'établissement de la règle hauteur d'eau/débit permet de visualiser les options de calage altimétrique de l'aménagement projeté. Un calage inférieur à Q3* paraît souvent faible avec une occurrence d'immersion de l'encorbellement*/banquette* non négligeable. Souvent les configurations autoroutières permettent d'envisager un calage entre Q3 et Q5 en veillant à conserver un tirant d'air de 80 cm au-dessus de l'aménagement.

La vérification du maintien de la capacité de franchissement piscicole fait partie intégrante de l'étude et constitue une obligation réglementaire (prescriptions générales de l'arrêté du 28 novembre 2007). Si l'effet d'une banquette est de rehausser la lame d'eau par un rétrécissement de la largeur de l'ouvrage, cela a aussi pour effet d'accroître la vitesse de l'eau au risque de devenir infranchissable pour les poissons.

Il convient de vérifier par le calcul que le tirant d'eau et la vitesse de l'eau, projetés dans une gamme de débit comprise entre $[QMNA_5^* - 2,5 \times \text{Module}]$ (correspond

à environ 80 % du temps), sont compatibles avec les capacités de franchissement des espèces de poissons présentes dans le cours d'eau.

De nombreux projets de banquettes initialement imaginés se transforment en encorbellement, pour des raisons de gabarit hydraulique et/ou de franchissement piscicole. Dans d'autres cas, l'aménagement s'accompagne de l'ajout de barrettes, déflecteurs et autres, destinés aux poissons. Reste que l'encorbellement est souvent moins large qu'une banquette et que son raccordement aval et amont aux berges est nettement plus délicat.

Ainsi, le raisonnement de la continuité des ouvrages hydrauliques doit être pensé pour les franchissements terrestres et aquatiques.



Photo n°23 : **Barrettes équipées d'un encorbellement** dans un ouvrage hydraulique. (© Freyssinet)

Une éventuelle réfection programmée de l'OH (rechemisage de buses) doit être prise en compte le cas échéant pour le dimensionnement.

La largeur à rechercher est comprise entre 50 cm (minimum) et 70 cm (maximum) selon le type d'OH.

Une attention particulière est à porter au calage selon la configuration de l'OH. Cela requiert une analyse, car un calage n'est pas nécessairement parallèle au fond de la buse (risque d'immersion partielle pour des valeurs limites de Q en cas de rupture de pente dans l'OH et/ou d'effets de remous aval) ni obligatoirement calé de niveau (z constant qui peut s'avérer contraignant pour le tirant d'air).

Pour les encorbellements, les solutions de conception robustes sont à rechercher (type béton polymère, PRV, Béton Fibré Ultra-haute Performances (BFUP) optimisant les temps de pose.

Les solutions bois sont à éviter en raison des risques de vol, de dégradation et d'une pérennité moindre.

Le calcul de la résistance de l'encorbellement doit tenir compte du passage possible de l'homme dessus (intérieur et extérieur de l'OH), car l'aménagement reste toujours accessible (pêcheurs, curieux).

Les dispositifs de raccordement aux berges font l'objet d'une vigilance particulière afin de ne pas créer de « points durs » pour l'écoulement de l'eau et de permettre si possible l'accès à la faune depuis le pied de berge en lit vif et le haut de berge.

CONFIGURATIONS

	Encorbellement	Banquette
Avantages	- moins impactant qu'une banquette pour la capacité hydraulique de l'OH; - argumentation Police de l'eau plus simple; - préfabrication qui optimise le temps de réalisation « les pieds dans l'eau ».	- dispositif implanté dans le cheminement naturel des animaux; - pouvoir auto-nettoyant; - installation possible dans des buses métalliques.
Inconvénients	- impossible à faire sur buse métallique; - raccordements aux berges difficiles; - généralement moins de pouvoir auto-nettoyant (nettoyage par crue), car calé plus haut qu'une banquette.	- plus impactant pour la capacité d'écoulement de l'OH qu'un encorbellement; - encadrement administratif Police de l'eau pouvant être plus complexe; - temps de réalisation généralement plus long.



Photos n°24 : **Encorbellement en béton polymère, encorbellement achevé dans l'OH et raccordement offrant une possibilité de passage depuis le pied et le haut de berge et ne générant pas un point dur à l'écoulement (de gauche à droite).** (© VINCI Autoroutes).



Photos n°25 : **Coffrage d'une banquette double marche (gauche) et vue de la banquette achevée à l'intérieur de l'OH (droite).** (© VINCI Autoroutes).

Dimensionnements

Le dossier de la Police de l'eau doit montrer :

- l'absence d'effets néfastes sur la ligne d'eau et la capacité hydraulique de l'ouvrage ;
- l'absence d'effets dommageables sur la hauteur et la vitesse de l'eau pour le franchissement piscicole (*arrêté de prescriptions générales du 28 novembre 2007 arrêté*) et l'indication sur l'éventuel classement en liste 1 et/ou 2 (*R214-17 Code de l'environnement*).

L'aménagement doit effectivement permettre le franchissement piscicole durant 80 % du temps, les hauteurs et les vitesses modélisées dans une gamme de débits comprise entre $[QMNA_5^* - 2,5 \times \text{Module}]$ devant être compatibles avec les capacités de franchissement des espèces de poissons présentes sur ce cours d'eau.

Cette démonstration vaut pour un encorbellement comme pour une banquette. L'incidence de l'encorbellement est généralement moindre, car il n'affecte pas les vitesses de l'eau pour des débits inférieurs à son calage (puisque hors d'eau). La banquette agit dans tous les cas

sur la hauteur et la vitesse de l'eau (une démonstration du champ des vitesses peut être utile).

Pour ces raisons, un projet d'aménagement d'ouvrage hydraulique pour la faune terrestre s'accompagne très souvent de l'ajout de rugosités ou autres déflecteurs. Adaptés à la capacité de l'ouvrage hydraulique, ils permettant de réduire la vitesse de l'eau pour conserver des valeurs compatibles avec les capacités de nage des poissons présents.

Si l'ouvrage ne permettait déjà pas le franchissement piscicole avant aménagement, il convient de prévoir l'ajout à l'occasion du projet de rugosités ou autres dispositifs adaptés en veillant à leur compatibilité avec la capacité hydraulique de l'ouvrage.

En cas de mouvement de sédiments pour les besoins du chantier (curage puis remise dans l'ouvrage hydraulique ou besoin d'un apport extérieur), leur innocuité doit être démontrée au moyen d'une analyse sédimentaire (analyse dite « S1 » conformément à l'arrêté du 9 août 2006).

Clôtures

Contrairement aux écoducs et écoponts pour lesquels les clôtures ont un rôle prépondérant de guidage notamment pour l'herpétofaune, les clôtures se raccordent rarement aux ouvrages hydrauliques. Le rôle de guidage est moindre et les enjeux amphibiens ne sont pas à rechercher ici.

Ainsi, seul un renfort de clôtures petites mailles avec une simple couche de 25 x 13 mm ou 25 x 25 mm ($\varnothing$ du fil 1,8 mm) semi enterré sur 30 cm dans le sol et minimum 70 cm hors-sol est nécessaire (cf. Figure n°8).

Il est nécessaire de prévoir un renfort sur environ 150 ml de part et d'autre de l'ouvrage hydraulique dans chacun des deux sens, soit un linéaire d'environ 600 ml.

Dans la majeure partie des cas, le repositionnement et le remplacement de la clôture autoroutière sont inutiles pour ce type d'aménagement (sauf état de détérioration ne permettant pas le renforcement), à vérifier au préalable au niveau de l'avant-projet.

Équipements pour le suivi écologique

Prévoir la pose d'un « L » constitué de 2 morceaux de cornière fixés aux parois de l'ouvrage hydraulique à 80 cm au-dessus de l'encorbellement ou de la banquette.

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES POUR LE SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les contraintes de suivi des ouvrages hydrauliques aménagés sont très variables (dimensions, largeur utile, matériaux des parois, accessibilité d'ouvrage en eau, etc.) Ils sont donc généralement traités au cas par cas. Comme pour les écoducs, il est préférable de positionner l'appareil à 5 m à l'intérieur de l'ouvrage, orienté vers le côté le plus long. Pour cela, divers supports (cornière, bras articulé) de fixation peuvent être envisagés pour suspendre le boîtier afin de ne pas entraver le passage de la faune sur une largeur utile souvent réduite (50 cm), et de garder ainsi un recul suffisant pour la détection des passages.

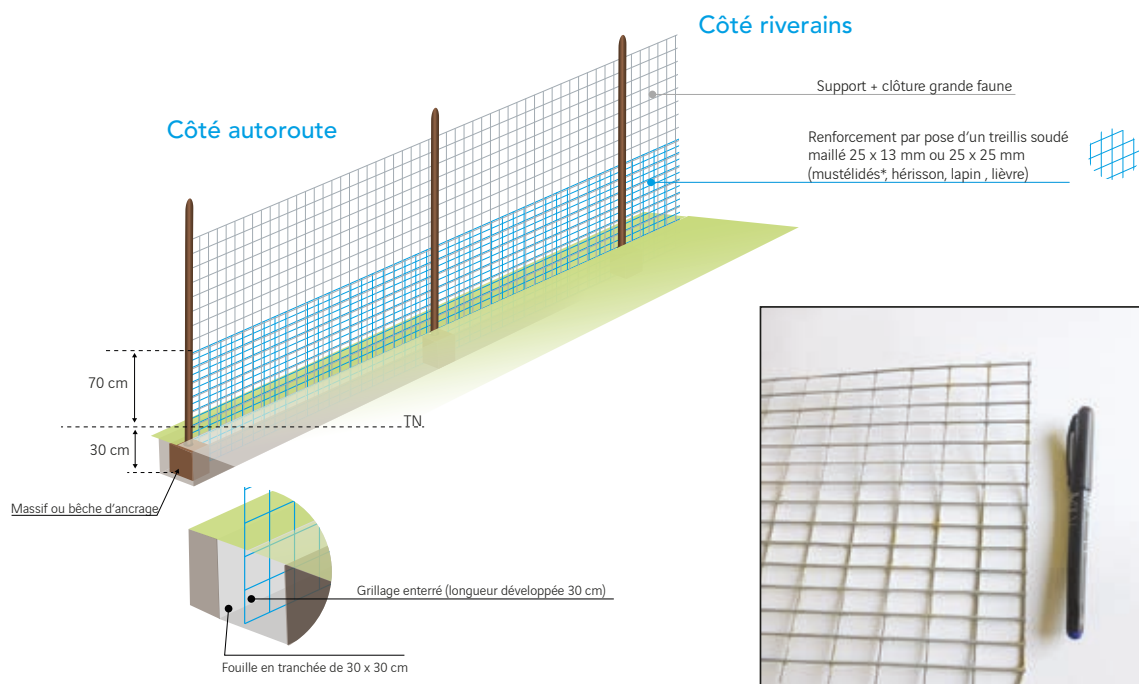


Figure n°8 : **Maillages en 25 x 13 mm et schéma de renforcement (de gauche à droite).**



Photos n°26 : **Fixation du « L » en vue du suivi écologique post-aménagement (à gauche) et appareil fixé sur une cornière simple sans possibilité de passage du câble de protection.** (© VINCI Autoroutes).

Chantier

Bien que limité à la période de basses eaux, le calendrier de réalisation favorable (cf. *Direction départementale des territoires (DDT*) compétente*) varie selon les enjeux écologiques présents (ex. si enjeux Loutre/Vison, il peut être demandé de ne travailler qu'à partir de septembre, si enjeux Écrevisse à pieds blancs, cela peut être retardé parfois jusqu'en octobre selon la sensibilité).

La dérivation par busage du cours d'eau est requise et réalisée avec batardeaux et pêche électrique préalable de sauvegarde imposée (cf. Photos n°27).

La délimitation sur le plan d'avant-projet des pistes et emprises est effectuée, en conformité avec les préconisations environnementales édictées lors de l'état initial écologique (respect des mesures d'insertion, balisage, aire de stationnement, mise en défens, etc.).

Les pistes sensibles, zone de stockage et plateforme de travail à créer sont réalisées sur géotextile avec apport de matériaux. Le géotextile favorisera l'enlèvement et la remise en état naturel du site.



Photos n°27 : **Dérivation par busage et batardeaux (on note la matérialisation du raccord à la berge sur la photo), pêche électrique préalable réalisée par une FDPPMA (de gauche à droite).** (© VINCI Autoroutes).

La plateforme de travail est clôturée (ex. type Héras). Le géotextile remonté sur la clôture sur environ 1 m de hauteur évite la fuite de matériaux vers le milieu naturel ainsi que l'intrusion (risque de destruction, CNPN) de la petite faune sur le zone de travail.

Le plan de prévention pollution est obligatoire, avec mise en œuvre de dispositifs de filtration adéquats et précautions anti-pollution (cf. Photos n°29).

Il est important de prévenir toute érosion régressive des berges et du lit notamment au droit de la sortie d'eau aval du busage de dérivation. L'installation d'un dispositif anti-érosif ou autre système est préconisé au niveau de cette sortie d'eau pour préserver le lit de la rivière (cf. Photo n°28).

Indications réglementaires

La réalisation d'un encorbellement ou d'une banquette est soumise, à ce jour et hors cas particulier, à encadrement administratif de la Police de l'eau (généralement de type « déclaration » ou « porter à connaissance » pour les ouvrages autorisés au titre du R214-18 et R214-51 du Code de l'environnement).

S'agissant d'un encadrement administratif de la Police de l'eau, le dossier intègre obligatoirement une évaluation des incidences Natura 2000 au titre du décret du 9 avril 2010 (réforme de l'évaluation).

Avant tout projet, il s'avère utile de prendre l'attache juridique nécessaire pour vérifier l'évolution du droit ou de la jurisprudence en la matière.



Photo n°28 : **Bâchage anti-érosif en sortie de la buse de dérivation.** (© VINCI Autoroutes).



Photos n°29 : **Kit anti-pollution, groupe électrogène sur cuve double fond avec bâche imperméable tout autour (de gauche à droite).** (© VINCI Autoroutes).

Suivi chiroptères par capture au filet et suivi petite faune terrestre par dispositif de capture et relâcher
(© LPO France, VINCI Autoroutes).

04. SUIVIS FAUNISTIQUES RÉALISÉS

17 associations agréées pour la protection de l'environnement ont participé à des suivis faunistiques dans 15 départements.

4.1 Présentation des suivis

Tous les aménagements réalisés et cités dans le *Tableau n°4* ont fait l'objet de suivis faunistiques.

Tous les suivis ont été confiés à des associations agréées pour la protection de l'environnement (naturalistes, chasseurs, pêcheurs), à travers des conventions incluant l'achat des pièges photographiques (y compris pièges de rechange en cas de vol) et des fournitures liées.

Les données de suivis intégrées à l'analyse ont toutes été collectées entre le 18 février 2011 et le 29 avril 2015. Au total, **17 structures ont participé à des suivis faunistiques, dans 15 départements différents** (*Tableau n°4*).

La *Figure n°9, page 49* permet de visualiser la répartition départementale du nombre d'ouvrages ayant fait l'objet d'un suivi faunistique.

La majorité des suivis faunistiques a été réalisée avec des pièges photographiques (*Photo n°30, page 50* et *Photo n°35, page 51*). Cependant, certains suivis, la plupart du temps effectués sur des ouvrages spécifiques, ont été complétés ou réalisés à l'aide d'autres outils de suivi :

- piège à traces (*Photo n°32, page 50*);
- piège à encre (*Photo n°33, page 50*);
- enregistreurs SM2 (*Photo n°34, page 50*) et AnabatSM2, détecteurs ultrasonores;
- capture de chiroptères avec filets;
- capture-marquage-recapture de micromammifères (*Photo n°31, page 50*);
- système de collecte/guidage d'amphibiens;
- prospection visuelle nocturne/diurne, etc. ;
- développement et test de pièges à vibration (capteurs de pression);
- pêche électrique;
- caméra thermique.



Tableau n°4 : **Nombre d'ouvrages suivis par structures et départements.**

Structure participante	Nombre d'ouvrages suivis	Départements d'action
CEN PACA	3	83
Cistude Nature	3	33
Biotope	10	44, 45, 49, 53, 72, 86
Écologistes de l'Euzière	3	34
FDC 17	1	17
FDC 26	1	26
FRAPNA 42/FDC 42	31	42
FRAPNA 69/FDC 69	18	69
LPO France	10	17
LPO 26	3	26
Nature Midi Pyrénées	6	65
Naturalia Environnement	5	26, 33, 42
ONCFS Rhône-Alpes/PACA/Corse	1	05
FPPMA Drôme	1	26

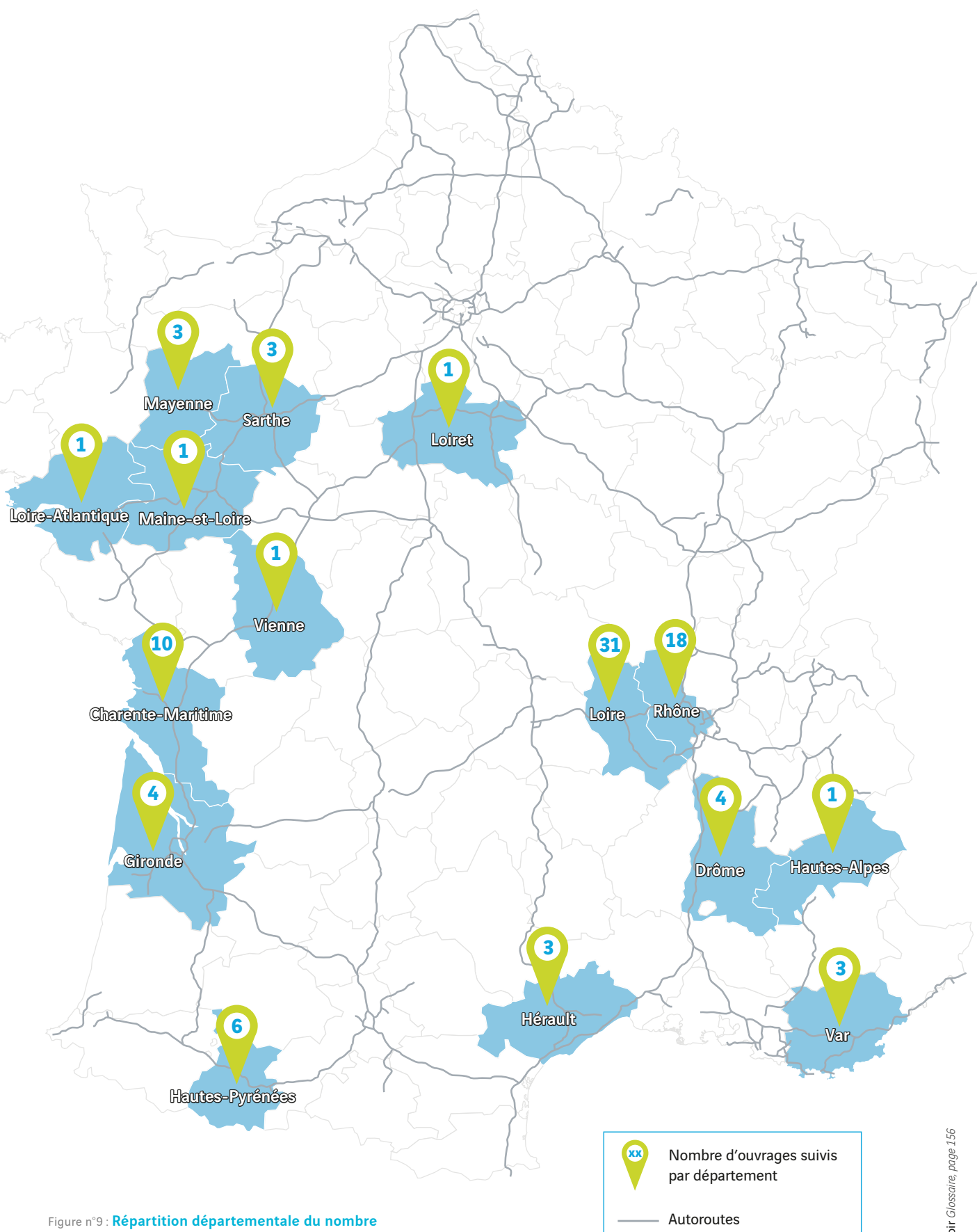


Figure n°9 : Répartition départementale du nombre d'ouvrages ayant fait l'objet d'un suivi faunistique, et réalisés dans le cadre du PVA et de la construction de l'A89.

Dans l'optique de pouvoir analyser de façon pertinente les données, il est nécessaire d'identifier les données comparables. Les données des suivis par pièges photographiques sont relativement homogènes et permettent dans certains cas (ouvrages de petites dimensions par exemple) des comparaisons entre les différents suivis, en calculant un indice de fréquentation (moyenne du nombre de passages/an/ouvrage). Afin d'avoir toutes les données permettant le calcul de la fréquentation, la collecte des données de suivis par pièges photographiques a été plus approfondie.

De par l'hétérogénéité des protocoles, il est souvent délicat de comparer les suivis spécifiques (chiroptères, entomofaune, poissons, etc.) de ceux réalisés avec des outils autres que le piège photographique (piège à traces, piège à encre, etc.). Les résultats et le retour d'expérience des personnes en charge des suivis permettent de discuter de la fréquentation des ouvrages et de la pertinence des différents protocoles mis en place, afin de mieux les calibrer si nécessaire.



Photo n°30 : **Piège photographique dans un écoduc de l'A10.** (©A. Orseau, LPO France).



Photo n°31 : **Piège à micromammifère sur un écopont de l'A10.** (©LPO France).



Photo n°32 : **Piège à traces sur un encoirbellement de l'A62.** (©Cistude Nature).



Photo n°33 : **Piège à encre sur un écopont de l'A57.** (©CEN PACA).



Photo n°34 : **Enregistreur SM2 sur un écopont de l'A10.** (©LPO France).



Photo n°35 : **Piège photographique dans un PIGF* de l'A89 et gîtes à chiroptères.**
(©FRAPNA Loire, VINCI Autoroutes).

4.2 Suivis par pièges photographiques

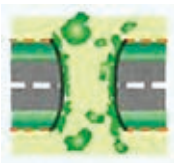
Les suivis d'ouvrages retenus pour une analyse approfondie concernent uniquement les suivis par pièges photographiques réalisés dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier et de la construction de l'autoroute A89. Ces suivis ont l'avantage d'avoir des protocoles assez similaires et une pression d'observation relativement homogène. Les données collectées sur 76 ouvrages ont pu être analysées et comparées.

CLASSIFICATION ET PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS TYPES D'OUVRAGES

Les différents types d'ouvrages sont traditionnellement identifiés et classés selon la nomenclature du guide technique du SETRA « Aménagements et mesures pour la petite faune » (SETRA & MEDD, 2005). Ce classement est effectué selon le type de l'ouvrage, sa configuration et ses dimensions (*Tableau n°5, page 52*).

Tableau n°5 : **Classement par type d'ouvrage selon la classification établie par le SETRA.**
(source : figures issues du guide technique du Setra, 2005).

Figure descriptive	Description du type d'ouvrage
	Type I : Buse ou dalot.
	Type II : Passage à batraciens.
	Type III : Passage hydraulique mixte de petite dimension. a : OH de petite taille avec pied sec submersible. b : OH avec pied sec étroit. c : OH de taille moyenne avec pied sec supérieur à 1,5 m. d : OH de grande taille fonctionnel pour petite et grande faune. e : Conduit sec placé à proximité de l'OH.

Figure descriptive	Description du type d'ouvrage
	Type IV : Passage agricole ou forestier de petite dimension.
	Type V : Passage inférieur grande faune.
	Type VI : Écopont, pont vert, pont végétalisé.
	Type VII : Passage sous viaduc.
	Type VIII : Couloir écologique (tunnel).

Dans le but de comparer les données des suivis, certaines catégories de cette classification peuvent être regroupées. Elles constituent, avec l'ajout d'ouvrages non pris en compte dans cette classification, les 6 grandes catégories d'ouvrages qui ont été suivies :

- écoducs (types I et IIIe);
- ouvrages hydrauliques aménagés (types IIIa, b, c, d);
- écoponts (type VI);
- passages inférieurs spécifiques grande faune (type V);
- ouvrages d'art aménagés;
- passages non dédiés¹ (correspondant aux dimensions des types I et IV).

Le *Tableau n°6, page 54* précise par type d'ouvrage, le nombre d'ouvrages suivis par piège photographique pris en compte dans l'analyse. Il détaille aussi les dimensions moyennes des ouvrages.

1) Certains passages non dédiés à la faune (passage supérieur/ inférieur ou ouvrage hydraulique), mais dont la configuration semble adaptée au passage de certaines espèces, ont été suivis afin de voir si ces ouvrages sont fréquentés par la faune et dans quelle mesure.

Tableau n°6 : Nombre, type, et principales dimensions des ouvrages suivis par piège photographique.

Type d'ouvrages suivis	Nb d'ouvrages suivis	% du nb d'ouvrages	Longueur (en m)			Largeur moy. (en m)	Hauteur moy. (en m)	Coeff. d'ouverture moy. (L×l×h)	Largeur utile moy. (en m)
			Moy.	Min.	Max.				
Buses sèches circulaires	35	46 %	48,6	31	75	1,1	1	0,023	0,8
Buse sèche circulaire (PPF)	16	21 %	41,5	31	72	1,1	1	0,028	0,8
Buse à pieds secs (au droit d'OH)	19	25 %	54,7	36	75	1,1	0,94	0,018	0,7
Ouvrages hydrauliques aménagés	15	20 %	73,9	48	100	3,1	2,7	0,142	1,3
Enrochement	3	4 %	82,3	73	100	4,4	4,3	0,3	2,5
Encorbellement	4	5 %	57,3	48	63	1,3	1,2	0,026	0,6
Banquette	8	11 %	77,5	60	100	3,5	2,9	0,146	1,2
Écoponts	4	5 %	49,9	34	69	15,4	-	-	15,1
Passages inférieurs spécifiques grande faune	4	5 %	39	30	48	11	4,7	1,4	10,3
Ouvrages d'art aménagés	3	4 %	36,7	35	40	5,2	5,8	1	5,2
PI mixte	2	3 %	35	35	35	6,3	5,8	1	6,3
PS mixte	1	1 %	40	-	-	3	-	-	3
Passages non dédiés	15	20 %	60,6	30	140	2,1	1,9	0,11	1,5
OH non dédié à la faune	12	16 %	67,3	35	140	1,5	1,4	0,03	0,8
PI/PS	3	4 %	33,7	30	40	4,5	4,5	0,59	4,5
Total	76								

PARAMÈTRES RETENUS POUR CARACTÉRISER LES OUVRAGES

Selon leur conception, les ouvrages présentent des caractéristiques différentes. Les paramètres les plus importants ont donc été collectés afin d'évaluer si possible leur potentielle influence sur la fréquentation des ouvrages par la faune. D'autres paramètres, parfois difficilement appréciables ou bien non présents dans les ouvrages étudiés, peuvent également être pertinents et influencer sur la fréquentation des ouvrages (Tableau n°7).

Tableau n°7 : Liste des paramètres retenus pour caractériser les ouvrages.

Paramètres essentiels
Localisation précise (coordonnées GPS): Implantation dans l'habitat (distance au cours d'eau, boisement, etc.), distance entre ouvrages.
Type d'ouvrage: Banquette, passage grande faune, écoduc, etc.
Dimensions: Longueur et ouverture de la structure (largeur, hauteur).
Largeur utile pour la faune: Largeur et caractéristiques du pied sec pour les ouvrages hydrauliques (nombre de marches pour les banquettes, aménagement bilatéral ou unilatéral, etc.).
Type de substrat dans l'ouvrage: Terre, béton sec, végétation, etc.
Ancienneté du corridor: Rétablissement d'un corridor existant (autoroute nouvelle ou élargissement d'un passage) ou création d'un nouveau corridor (pour les autoroutes anciennes).
Date de mise en service de l'autoroute.
Date de mise en service de l'ouvrage.
Type de clôtures au niveau de l'ouvrage: Clôture grande faune enterrée ou non; présence d'une clôture petite faune, présence d'un bavolet, étanchéité des clôtures.
Présence d'une protection acoustique au niveau de l'ouvrage: Le bruit et les mouvements dus au trafic de l'autoroute peuvent effrayer la faune.
Paramètres secondaires
Difficulté d'accès à l'entrée de l'ouvrage: Un dénivelé important, un accès restreint ou une végétation très dense peuvent être un obstacle pour certaines espèces. Ce paramètre est difficile à évaluer sur le terrain.
Perturbations liées à des activités humaines (proximité d'habitations, animaux domestiques).
Tirant d'air utile au-dessus des aménagements d'ouvrages hydrauliques: Il peut être difficile à mesurer pour des ouvrages en voûte par exemple (encorbellement, banquette, etc.).
Présence d'un puits de lumière: Il permet de casser l'effet tunnel de certains ouvrages (aucun ouvrage suivi dans cette étude ne possède de puits de lumière).

PARAMÈTRES RETENUS POUR CARACTÉRISER LES SUIVIS FAUNISTIQUES

Les suivis par pièges photographiques impliquent certains biais de détection. Le paramétrage et le positionnement du matériel peuvent également faire varier ces biais de détection.

Le *Tableau n°8* détaille les paramètres retenus pour caractériser les suivis, ainsi que les paramètres probablement influents dans les biais de détection, mais difficilement mesurables et qui n'ont pas toujours pu être pris en compte.

DESCRIPTION DES DONNÉES

Les suivis retenus (uniquement par piège photographique) totalisent 38 985 jours cumulés de suivis, soit l'équivalent de près de 107 années. Ils ont permis de collecter 27 475 lignes de données¹, dont 24 670 données de faune sauvage, hors animaux domestiques, insectes (détection aléatoire) et oiseaux nidicoles (bien que certains ouvrages puissent servir de continuum d'habitat pour les oiseaux nidicoles, leur capacité de dispersion par le vol rend l'interprétation de leur utilisation des ouvrages peu pertinente dans la problématique de fragmentation des populations).

Tableau n°8 : Liste des paramètres utiles pour caractériser les suivis faunistiques.

Paramètres retenus
Pression d'observation : Dates et durée de fonctionnement du piège photographique.
Piège photographique placé en intérieur et/ou en extérieur des ouvrages : Biais de détection minimisé en intérieur (aléas climatiques limités).
Modèle du piège photographique : Différentes performances techniques (temps de déclenchement, etc.).
Paramétrage du type de détection : Détection infrarouge (mode normal), déclenchements réguliers programmés (mode time-lapse).
Paramètres non retenus
Les densités de populations des différentes espèces présentes aux abords des ouvrages.
Détails de positionnement : La hauteur et l'inclinaison du matériel sont importants pour optimiser le champ de détection, mais difficilement mesurables sur le terrain.
Éléments perturbateurs pour la détection : La présence de végétation ou de plans d'eau, conjuguée à l'action de la chaleur et/ou du vent peuvent poser des problèmes de détection récurrents dans certaines situations.
Configuration détaillée des pièges photographiques : Les modèles présentent des réglages avancés permettant d'optimiser les prises de vue selon les situations (réglage de la sensibilité, du flash, etc.).
Fréquence de relevé des pièges photographiques : Des relevés fréquents permettent de réduire les périodes de pannes, mais les odeurs laissées par des passages trop fréquents peuvent également repousser certaines espèces craintives.

1) Une ligne de donnée correspond au passage de n individus d'une espèce, dans un ouvrage, à une date et un horaire donnés. Un individu effectuant plusieurs passages consécutifs en réalisant des va-et-vient dans un délai inférieur à 10 min (entre 5 et 10 min selon les opérateurs de suivi) ne comptabilise qu'un seul passage (1 donnée).

4.3 Suivis spécifiques

Sur des ouvrages atypiques (ouvrage d'art aménagé, passe-aquatique, etc.) ou ciblant certains taxons (chiroptères, amphibiens, etc.), des suivis spécifiques ont été mis en place. Ces suivis nécessitent matériels et protocoles bien différents. De fait, ils ne sont pas ou peu comparables. Le *Tableau n°9* dresse la liste des suivis spécifiques, en précisant les taxons ciblés et le type de suivi mis en place pour chaque ouvrage concerné.

Tableau n°9 : Liste des suivis faunistiques spécifiques réalisés dans le cadre du PVA.

Aut.	Dpt.	Type d'ouvrage	Taxons ciblés	Type de suivi
A10	17	Écopont	Mammifères, micromammifères, herpétofaune, chiroptères	Piège photographique, enregistrement SM2/capture chiroptères, capture micromammifères, prospections ciblées amphibiens/système de collecte
A7	26	Écopont	Mammifères, micromammifères, chiroptères, herpétofaune, rhopalocères	Piège photographique, capture micromammifères, enregistrement SM2, prospections amphibiens, reptiles (plaques) et rhopalocères
A7	26	Passe aquatique	Poissons, mammifères	Pêche électrique, piège photographique et prospections nocturnes.
A62	33	Passage à pieds secs mixte et encorbellement	Mammifères	Piège à traces (et piège photographique)
A62	33	Viaduc	Entomofaune	Suivi d'observation
A64	65	Viaduc (gîte artificiel)	Chiroptères	Comptage à l'émergence
A9	34	Passage inférieur	Chiroptères	Enregistrement SM2
A9	34	Passage supérieur	Chiroptères	Enregistrement SM2
A51	05	Passage inférieur grande faune	Mammifères	Piège à traces
A8	83	Ouvrages inférieurs	Chiroptères	Enregistrement Anabat SD2
A8	83	Tronçon autoroutier	Chiroptères	Enregistrement Anabat SD2
A8	83	Écopont	Mammifères, micromammifères, herpétofaune, chiroptères, entomofaune, avifaune	Piège photographique, piège à traces, piège à encre, capture micromammifères, enregistrements SM2, points d'écoute, prospections reptiles (plaques), amphibiens et insectes.
A57	83	Écopont		
*A89	42	Ouvrages inférieurs et supérieurs (chiroducts)	Chiroptères	Enregistrement SM2 et caméra thermique.

* hors PVA.





05. SUIVIS PAR PIÈGES PHOTOGRAPHIQUES

76 ouvrages suivis par pièges photographiques ont permis de détecter et d'analyser les déplacements de plus de 41 espèces dont 29 espèces de mammifères.

5.1 Un jeu de données important et riche en informations

Les données de suivis intégrées à l'analyse ont toutes été collectées entre le 18 février 2011 et le 29 avril 2015.

Au total, les 76 ouvrages suivis par piège photographique ont permis de détecter un minimum de 41 espèces différentes à l'intérieur des ouvrages. Ces 41 espèces (Tableau n°10) sont composées de 29 espèces de mammifères (dont 7 espèces de micromammifères et au moins 1 espèce de chiroptère), 4 espèces d'amphibiens, 4 espèces de reptiles et 4 espèces d'oiseaux nidifuges*.

Cette liste ne comprend pas les déclenchements provoqués par :

- les insectes dont les potentielles traversées sont difficilement interprétables au regard de la faible étendue de leur domaine vital (ou déplacements), et pour lesquels les déclenchements sont très aléatoires ;

- les oiseaux nidicoles* qui utilisent principalement la voie des airs pour se déplacer. Au contraire, les oiseaux nidifuges (anatidés, gallinacés, etc.) se déplaçant au sol avec leurs poussins, sont comptabilisés dans la liste ;
- la faune domestique dont la présence ne présente pas d'intérêt écologique.

Dans la suite du document, l'indice de fréquentation est donné par un nombre moyen de passages/an/ouvrage pour les traversées effectives (hors refus).

Un passage correspond à la traversée d'un ou plusieurs individus de la même espèce à une date et un horaire donnés.

Tableau n°10 : Liste de l'ensemble des espèces faunistiques détectées dans les ouvrages suivis par piège photographique quel que soit le protocole (infrarouge et déclenchement-minute).

Ordre	Famille	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Mammifères n=29			
Artiodactyla	Cervidæ	Cerf élaphe	<i>Cervus elaphus</i>
Artiodactyla	Cervidæ	Chevreuril européen	<i>Capreolus capreolus</i>
Artiodactyla	Suidæ	Sanglier	<i>Sus scrofa</i>
Carnivora	Canidæ	Loup gris	<i>Canis lupus</i>
Carnivora	Canidæ	Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>
Carnivora	Felidæ	Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>
Carnivora	Mustelidæ	Belette	<i>Mustela nivalis</i>
Carnivora	Mustelidæ	Blaireau européen	<i>Meles meles</i>
Carnivora	Mustelidæ	Fouine	<i>Martes foina</i>
Carnivora	Mustelidæ	Hermine	<i>Mustela erminea</i>
Carnivora	Mustelidæ	Loutre d'Europe	<i>Lutra lutra</i>
Carnivora	Mustelidæ	Martre des pins	<i>Martes martes</i>

Ordre	Famille	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Carnivora	Mustelidæ	Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>
Carnivora	Procyonidæ	Raton laveur	<i>Procyon lotor</i>
Carnivora	Viverridæ	Genette commune	<i>Genetta genetta</i>
Chiroptera	Rhinolophidæ	Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>
Erinaceomorpha	Erinaceidæ	Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>
Lagomorpha	Leporidæ	Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>
Lagomorpha	Leporidæ	Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>
Rodentia	Cricetidæ	Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>
Rodentia	Gliridæ	Muscardin/Lérot	<i>Gliridae sp</i>
Rodentia	Muridæ	Campagnol sp	<i>Muridae sp</i>
Rodentia	Muridæ	Mulot sylvestre	<i>Apodemus sylvaticus</i>
Rodentia	Muridæ	Rat noir	<i>Rattus rattus</i>
Rodentia	Muridæ	Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>
Rodentia	Myocastoridæ	Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>
Rodentia	Sciuridæ	Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>
Soricomorpha	Soricidæ	Crocitude sp	<i>Crocitude sp</i>
Soricomorpha	Talpidæ	Taupe d'Europe	<i>Talpa europaea</i>
Amphibiens n=4			
Anura	Bufo	Crapaud commun/épineux	<i>Bufo bufo</i>
Anura	Rana	Grenouille agile	<i>Rana dalmatina</i>
Urodela	Salamandridæ	Salamandre tachetée	<i>Salamandra salamandra</i>
Urodela	Salamandridæ	Triton sp	<i>Salamandridae sp</i>
Reptiles n=4			
Squamata	Colubridæ	Couleuvre verte et jaune	<i>Hierophis viridiflavus</i>
Squamata	Lacertidæ	Lézard ocellé	<i>Timon lepidus</i>
Squamata	Lacertidæ	Lézard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>
Squamata	Phyllodactylidæ	Tarente de Maurétanie	<i>Tarentola mauritanica</i>
Oiseaux nidifuges n=4			
Anseriformes	Anatidæ	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>
Galliformes	Phasianidæ	Faisan de colchide	<i>Phasianus colchicus</i>
Galliformes	Phasianidæ	Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>
Gruiformes	Rallidæ	Râle d'eau	<i>Rallus aquaticus</i>

5.2 Suivis pièges-photos : résultats et commentaires

5.2.1 Écoducs

Avec 35 ouvrages suivis, les écoducs (*Photo n°36* et *Photo n°37*) représentent le plus grand échantillon d'ouvrages suivis (cf. *Tableau n°11, page 63*). Les dimensions de ces buses sont relativement homogènes avec un diamètre de 0,8 à 1,2 m et une longueur comprise entre 31 et 75 m.

La configuration de ces ouvrages qui canalisent la faune dans un couloir étroit facilite les suivis. Le matériel de suivi peut être placé à l'intérieur des ouvrages, à l'abri des intempéries. Les principaux biais de détection résident pour les individus petits et/ou se déplaçant rapidement et ceux peu détectables en infrarouge.

Les résultats de la fréquentation des écoducs par la faune sont détaillés dans le *Tableau n°11, page 63*.



Photo n°37 : **Écoduc de type I sur l'A89.**
(© FRAPNA Loire, VINCI Autoroutes).



Photo n°36 : **Écoduc de type IIIe sur l'A10, à proximité de 2 buses hydrauliques.** (© LPO France, VINCI Autoroutes).

Tableau n°11 : **Nombre et diversité spécifique des passages de faune sauvage détectée dans les écoducs**
(occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, valeurs min-max,
et nombre total de passages détectés) *Tableau détaillé en Annexe 1, page 136.*

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
ÉCODUCS (n=35 ouvrages)						
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		100 %	299,4	2,7	1242,4	14770
Mammifères						
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	83 %	189,0	0,0	1135,0	7 437
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	94 %	50,5	0,0	247,2	2 810
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	91%	36,6	0,0	133,7	1 776
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	46 %	58,5	0,0	815,0	911
Genette commune	<i>Genetta genetta</i>	26 %	36,8	2,5	104,5	660
Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	31%	31,8	0,5	97,5	508
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	29%	10,8	0,8	56,2	213
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	43 %	12,3	0,0	144,4	115
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	17 %	5,5	0,0	27,7	72
Lapin/lièvre	<i>Leporidae sp</i>	11 %	18,4	5,7	41,8	45
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	17 %	3,8	0,5	10,6	42
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	26 %	1,6	0,0	7,4	25
Loutre d'Europe	<i>Lutra lutra</i>	14 %	2,0	0,5	3,3	21
Belette	<i>Mustela nivalis</i>	11 %	1,6	0,4	3,1	12
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	23 %	0,8	0,0	1,6	9
Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>	6 %	5,5	3,0	8,0	9
Mammifères ind.	<i>Mammalia sp</i>	9%	1,8	0,6	4,1	7
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	6 %	5,6	0,6	10,6	5
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	6 %	1,7	1,5	1,9	5
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	6 %	1,1	0,0	2,3	2
Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>	3 %	2,6	-	-	1
Taupe d'Europe	<i>Talpa europaea</i>	3 %	0,4	-	-	1
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	6 %	-	-	-	-

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
Oiseaux marcheurs nidifuges						
Canard colvert	Anas platyrhynchos	9%	14,4	8,9	24,8	78
Perdrix rouge	Alectoris rufa	6%	1,3	0,4	2,3	6
Faisan de colchide	Phasianus colchicus	6%	-			-
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		46%	8,5	0,0	53,2	230
Micromammifères						
Mulots/souris	Muridae sp	23%	7,8	0,0	24,1	121
Micromammifères ind.	Micromammal sp	34%	3,4	0,0	30,9	30
Campagnols ind.	Arvicola sp	14%	2,4	0,0	11,0	29
Soricidés ind.	Soricidae sp	9%	3,5	0,0	9,8	25
Muscardin/lérot	Gliridae sp	3%	0,4	-	-	1
Amphibiens/Reptiles						
Salamandre tachetée	Salamandra salamandra	3%	5,3	-	-	13
Tritons ind.	Triturus sp	3%	1,6	-	-	4
Anoures ind.	Anura sp	3%	0,8	-	-	2
Crapaud com./épineux	Bufo bufo/spinosus	3%	0,8	-	-	2
Couleuvre verte et jaune	Hierophis viridiflavus	3%	1,2	-	-	2
Grenouille agile	Rana dalmatina	3%	0,4	-	-	1
Crapaud épineux	Bufo spinosus	3%	-	-	-	-
Lézard des murailles	Podarcis muralis	3%	-	-	-	-
Lézards ind.	Lacertidae sp	3%	-	-	-	-

Remarque : ce tableau et les 5 suivants sont dans un format plus détaillé dans les annexes respectives 1 à 6, complétées par les données de faune domestique (non notée systématiquement), de chiroptères (déclenchements aléatoires), de faune indéterminée et les données de refus (parfois difficilement interprétables sur photo).



UNE DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE REMARQUABLE

De par l'effet tunnel provoqué par la longueur des ouvrages, les écoducs sont parfois sujets à discussion quant à leur fréquentation par la faune. Ils sont pourtant ici fréquentés par un nombre conséquent d'espèces (48,6 m en moyenne pour les ouvrages suivis). Dans les 35 écoducs étudiés, 33 espèces au minimum (hors oiseaux nidicoles, mammifères domestiques et insectes) ont été détectées : 25 espèces de mammifères, 5 espèces d'amphibiens/reptiles et 3 espèces d'oiseaux nidifuges.

Outre la diversité spécifique importante, le panel des espèces est assez large puisque plusieurs espèces de micromammifères tels que muridés (mulot/souris), gliridés (muscardin/lérot) ou musaraignes sont observées à l'intérieur des ouvrages. Les écoducs

sont également bien utilisés par les chiroptères (cf. chapitre 6.4.2, page 102 ; Pichard *et al.*, 2012), les amphibiens (Movia A., LPO Drôme, déc. 2011, juin 2013, oct. 2014) et dans une moindre mesure par les reptiles, même si la faible détection de ces espèces ne permet pas d'estimer le nombre de passages réels (2 passages de couleuvre verte et jaune détectés).

Le nombre de sangliers et de chevreuils (Photos n°38, Photo n°39, Photo n°40) observés à l'intérieur des ouvrages n'est étonnamment pas négligeable. Il atteste d'une fréquentation occasionnelle, mais régulière, alors que ces ouvrages ne sont pas dimensionnés pour ces espèces (des sangliers ont de façon étonnante traversé une buse de 80 cm de diamètre pour 42 m de long sous l'A10).



Photos n°38 : **Chevreuils européens traversant des écoducs de 120 cm de diamètre.** (© LPO France, VINCI Autoroutes).



Photo n°39 : **Marcassins dans un écoduc de 120 cm de diamètre.** (© LPO France, VINCI Autoroutes).



Photo n°40 : **Sanglier dans un écoduc de 80 cm de diamètre.** (© LPO France, VINCI Autoroutes)

En Charente-Maritime, la Loutre d'Europe (*photo ci-après*), espèce ciblée par les écoducs réalisés à proximité des ouvrages hydrauliques, est présente dans 5 ouvrages sur 8, malgré les potentiels problèmes de détection pour cette espèce.

Concernant les amphibiens, quasiment indétectables en infrarouge, un protocole spécifique avec une prise de photographie toutes les minutes a permis de collecter la quasi-totalité des données d'amphibiens. Ce protocole fait l'objet d'une analyse détaillée dans le *paragraphe 6.3.1, page 94*.



Photos n°42 : **Loutre au sortir d'un écoduc de 80 cm de diamètre sur l'A10.** (© LPO France, VINCI Autoroutes)



Photo n°43 : **Lièvre d'Europe entrant dans un écoduc de 120 cm de diamètre.** (© VINCI Autoroutes)



Photo n°44 : **Putois d'Europe dans un écoduc de 120 cm de diamètre.** (© LPO France, VINCI Autoroutes)



Photos n°41 : **Loutres d'Europe utilisant des écoducs de 120 cm de diamètre, sur l'A10.** (© LPO France, VINCI Autoroutes)



Photo n°45 : **Couleuvre verte et jaune dans un écoduc de 120 cm de diamètre.** (© LPO France, VINCI Autoroutes)



Photo n°46 : **Renard croisant une grenouille dans un écoduc de 120 cm de diamètre.**
(©LPO Drôme, VINCI Autoroutes)



Photo n°47 : **Blaireau entrant dans un écoduc de 120 cm de diamètre.** (© VINCI Autoroutes)



Photo n°48 : **Belette dans un écoduc de 80 cm de diamètre.**
(©LPO France, VINCI Autoroutes)

5.2.2 Ouvrages hydrauliques aménagés

Les ouvrages hydrauliques aménagés correspondent à des passages à pieds secs créés à l'intérieur même des ouvrages hydrauliques. Ici, ils sont au nombre de 15 (pour 16 protocoles différents) et sont de type enrochement (Photo n°49), encorbellement (Photo n°50) ou banquette (Photo n°51).



Photo n°49 : **Enrochement sur l'A89.** (©FRAPNA Loire).



Photo n°50 : **Encorbellement sur l'A64.** (© VINCI Autoroutes).



Photo n°51 : **Banquette préfabriquée sur l'A89.** (©EGIS).

Le suivi de ces ouvrages est un peu plus compliqué que pour les écoducs. En effet, les possibilités de fixation du matériel de suivi sont réduites, en raison de la difficulté d'accès aux ouvrages en eau et par les contraintes liées aux possibles crues noyant le matériel.

Le *Tableau n°12* détaille la fréquentation par les différentes espèces des ouvrages hydrauliques aménagés.

Tableau n°12 : **Nombre et diversité spécifique des passages de faune sauvage détectée dans les ouvrages hydrauliques aménagés (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, valeurs min-max, et nombre total de passages détectés).** *Tableau détaillé en Annexe 2, page 140.*

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
OUVRAGES HYDRAULIQUES AMÉNAGÉS (n=14)						
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		100 %	156,4	7,9	718,1	1 101
Mammifères						
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	86 %	107,3	0,7	503,9	554
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	64 %	50,2	1,0	156,4	202
Genette commune	<i>Genetta genetta</i>	21 %	19,8	1,4	37,7	113
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	64 %	21,1	3,0	60,8	112
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	43 %	8,0	0,0	31,9	24
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	21 %	6,4	4,3	7,8	22
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	7 %	35,7	-	-	18
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	14 %	3,7	1,4	6,0	5
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	21 %	2,9	1,5	5,2	5
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	14 %	4,3	4,0	4,6	4
Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>	14 %	2,4	0,5	4,3	3
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	14 %	2,6	0,0	5,2	3
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	14 %	2,2	2,0	2,4	2
Loutre d'Europe	<i>Lutra lutra</i>	7 %	0,9	-	-	2
Belette	<i>Mustela nivalis</i>	7 %	2,0	-	-	1
Raton laveur	<i>Procyon lotor</i>	7 %	0,5	-	-	1

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
Oiseaux marcheurs nidifuges						
Canard colvert	Anas platyrhynchos	36 %	11,1	0,0	39,1	30
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		57 %	0,7	0,0	2,3	5
Micromammifères						
Micromammifères ind.	Micromammal sp	43 %	0,4	0,0	2,0	2
Mulots/souris	Muridae sp	14 %	0,5	0,0	0,9	2
Amphibiens/Reptiles						
Crapaud commun/épineux	Bufo bufo/spinosus	7 %	2,3	-	-	1
Lézard des murailles	Podarcis muralis	14 %	-	-	-	-
Lézards ind.	Lacertidae sp	14 %	-	-	-	-

DES OUVRAGES HYDRAULIQUES MOINS FRÉQUENTÉS QUE LES ÉCODUCS

Ces ouvrages, bien que situés à l'intérieur même du corridor écologique créé par le cours d'eau, présentent une fréquentation deux fois moins élevée que pour les écoducs (respectivement en moyenne 156,4 passages/an/ouvrage et 299,4 passages/an/ouvrage; cf. paragraphe 5.2.3, page 70). Des différences significatives de fréquentation sont observées pour certaines espèces : les mustélidés Fouine/Martre des pins et Putois

d'Europe sont davantage présents dans les ouvrages hydrauliques aménagés, alors que la Genette commune (Photo n°52), le Ragondin, le Hérisson d'Europe et surtout le Blaireau européen sont davantage détectés dans les écoducs (en moyenne 189 passages/an/écoduc contre 8 passages/an/ouvrage hydraulique par exemple pour le Blaireau).



Photo n°52 : **Genette commune traversant un encoffrement d'ouvrage hydraulique sur l'A64.**
(© Nature Midi Pyrénées, VINCI Autoroutes).

Ce type d'aménagement est généralement très utilisé par les mustélidés semi-aquatiques dans des ouvrages en eau toute l'année (Fagart & Jourde, LPO France, 2014). Ici, la faible utilisation (2 traversées) des ouvrages par la Loutre d'Europe (Photo n°53) est à relativiser puisque la majorité des ouvrages réalisés se situent dans des secteurs où l'espèce reste assez rare. De plus, celle-ci observe généralement un laps de temps souvent assez long (Fagart *et al.*, 2016) avant d'emprunter une nouvelle voie de déplacement, sans compter les biais potentiels de détection pour cette espèce.

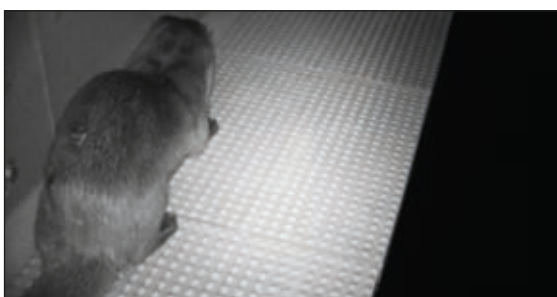


Photo n°53 : **Loutre d'Europe traversant un encorbellement d'ouvrage hydraulique sur l'A62.**
(© Cistude Nature, VINCI Autoroutes).

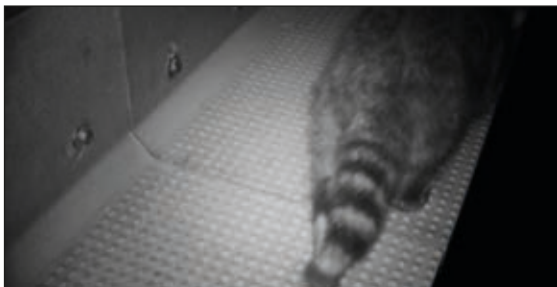


Photo n°54 : **Raton laveur traversant un ouvrage hydraulique sur un encorbellement sur l'A62.**
(© Cistude Nature, VINCI Autoroutes).

5.2.3 Écoponts

Les écoponts suivis (Photo n°55 et Photo n°56) sont au nombre de 4.

3 sont des ouvrages nouvellement construits, le 4^e ouvrage concerne l'élargissement d'un passage à faune supérieur étroit. Étant donné la largeur importante de ces écoponts (de 12 à 18,5 m), les suivis par pièges photographiques ont été menés de différentes façons : certains protocoles se sont concentrés sur la détection de la grande faune tandis que d'autres suivis, plus complexes et moins efficaces, étaient axés sur la petite et moyenne faune.



Photo n°55 : **Écopont de l'A10** (© LPO France).



Photo n°56 : **Écopont de l'A7** (© FDC 26, VINCI Autoroutes).

Le Tableau n°13 présente les résultats de la faune détectée par piège photographique pour les 4 écoponts suivis.

Tableau n°13 : **Nombre et diversité spécifique des passages de faune sauvage détectée par piège photographique sur les écoponts (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, valeurs min-max et nombre total de passages détectés).** Tableau détaillé en Annexe 3, page 142.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
ÉCOPONTS (n=4 ouvrages)						
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		n=4	393,0	82,5	609,8	4 101
Mammifères						
Cerf élaphe	<i>Cervus elaphus</i>	n=1	1086,1	-	-	2 202
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	n=4	122,1	2,4	249,3	791
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	n=3	75,1	39,0	128,6	534
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	n=4	44,2	4,0	143,6	243
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	n=4	46,6	3,9	102,7	238
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	n=4	7,6	0,0	20,9	46
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	n=2	2,6	0,3	4,9	25
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	n=1	1,6	-	-	7
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	n=1	1,2	-	-	4
Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	n=2	2,0	1,0	3,0	4
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	n=1	0,8	-	-	3
Loup gris	<i>Canis lupus</i>	n=1	1,0	-	-	1
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	n=1	0,2	-	-	1
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	n=1	0,2	-	-	1
Oiseaux marcheurs nidifuges						
Faisan de colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	n=1	0,3	-	-	1
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES						
		n=1	6,9	6,9	6,9	35
Micromammifères						
Mulot sylvestre	<i>Apodemus sylvaticus</i>	n=1	3,7	-	-	19
Mulots/souris	<i>Muridae sp</i>	n=1	2,2	-	-	11
Micromammifères ind.	<i>Micromammal sp</i>	n=1	0,8	-	-	4
Amphibiens/Reptiles						
Lézards ind.	<i>Lacertidae sp</i>	n=1	0,2	-	-	1

DES PASSAGES DIMENSIONNÉS POUR LA GRANDE FAUNE

Le fait notable de ces suivis est l'omniprésence sur l'écopont de l'A10, du Cerf élaphe (*Photo n°58*), considéré comme l'espèce dimensionnante pour les écoponts.

Sur ce site, un important massif forestier est « coupé » par l'A10. Un passage supérieur d'une largeur de 4,5 m avait été initialement construit. Il était peu fonctionnel pour la grande faune, notamment le Cerf élaphe. C'est sur cet ouvrage existant que l'écopont de l'A10 d'une largeur de 18,5 m a été construit. Sur 2 années de suivis, 2 202 traversées de Cerf élaphe ont été observées (1 482 passages d'individus ou de groupe d'individus), correspondant à environ 1 086 passages d'individus par an. Les passages révèlent également des échanges équilibrés entre les 2 côtés de l'écopont, levant les inquiétudes quant à une éventuelle « fuite » ou un déséquilibre des populations avec l'agrandissement conséquent de l'écopont.

La fréquentation intensive de l'écopont par le Cerf élaphe s'est faite immédiatement après l'agrandissement de l'ouvrage (1 111 passages la 1^{ère} année), et même durant la phase chantier comme l'atteste l'observation d'empreintes à cette période (obs. pers., C. Heurtebise). Elle ne montre pas d'évolution sur les 2 années de suivis, contrairement aux autres espèces comme le Chevreuil ou le Sanglier qui voient leurs nombres de passages augmenter de façon significative (respectivement +89 % et +197 % sur 2 ans (FDC17, 2014)).

Pour l'espèce Cerf, ces résultats restent sans équivalent dans la bibliographie et rendent possible une analyse plus fine par sexe et par classe d'âge. Globalement, pour les Cerfs, Chevreuils et Sangliers, l'analyse du nombre de passages par créneaux horaires montre que les animaux tendent à franchir plus tôt cet écopont (augmentation avec le temps des passages en tout début de soirée). Les échanges de ces 3 espèces sont relativement équilibrés entre les 2 côtés de l'A10 avec maintenant, une seule et unique population de Cerfs sur tout le massif et un brassage génétique bien plus important. Le croisement des données avec les comptages au phare (FDC17), ainsi que la présentation régulière du suivi ont aussi permis de rassurer les chasseurs locaux, pourtant très réticents avant la construction de l'écopont. Ce dernier contribue finalement à une gestion plus rationnelle des populations (Bouton et al, 2016).

Hormis le Cerf, les espèces les plus détectées sur les écoponts sont le Chevreuil et le Sanglier qui sont avec le Cerf les plus grandes espèces et donc aussi les plus détectables.

Il est intéressant de noter également que l'écopont lui-même peut servir de milieu de vie.

La mise bas d'une hase*, l'allaitement d'un faon de cerf, ainsi que des chevreuils broutant l'herbe du tablier végétalisé ont ainsi été observés sur plusieurs écoponts.

Ces résultats mettent également en évidence la difficulté de détecter avec des pièges photographiques, les petites espèces dans les milieux ouverts que constituent les écoponts. Même si des appareils ont été placés de manière à cibler la petite faune, leurs passages sont probablement largement sous-estimés (cf. *paragraphe 7.1.4, page 112*).



Photos n°57 : **3 espèces (Cerf et biche / Chevreuil / Sanglier) fréquentant un écopont sur l'A10.**
(© FDC17, VINCI Autoroutes)



Photo n°58 : **Cerf élaphe traversant un écopont sur l'A10.** (©FDC 17, VINCI Autoroutes).



Photo n°59 : **Sanglier sur un écopont de l'A7.** (©E. Rondeau)



Photo n°60 : **Sanglier sur un écopont de l'A8.** (©CEN PACA, VINCI Autoroutes)

5.2.4 Passages inférieurs spécifiques grande faune (PIGF*)

Les passages inférieurs spécifiques grande faune sont des passages aménagés pour la grande faune (Photo n°61). Ils sont la plupart du temps équipés de palissades occultantes réduisant notamment les nuisances pouvant effrayer la faune (phares, déplacements de véhicules, etc.).

Seuls 4 PIGF ont fait l'objet de suivis faunistiques. Les résultats de la faune détectée dans ces ouvrages sont détaillés dans le Tableau n°14.



Photo n°61 : PIGF sur l'A89 (©FRAPNA Loire).

Tableau n°14 : Nombre et diversité spécifique des passages de faune sauvage détectée dans les passages inférieurs spécifiques grande faune (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, valeurs min-max et nombre total de passages détectés). Tableau détaillé en Annexe 4, page 144.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
PASSAGES INFÉRIEURS SPÉCIFIQUES GRANDE FAUNE (n=4)						
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		n=4	210,1	35,9	490,2	1 095
Mammifères						
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	n=4	69,6	10,0	140,5	427
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	n=3	124,7	14,9	305,6	412
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	n=4	22,8	4,4	66,8	107
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	n=4	11,0	2,2	23,2	74
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	n=3	6,2	1,1	15,5	32
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	n=3	3,9	0,0	8,3	21
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	n=1	11,7	-	-	11
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	n=3	1,1	0,0	2,1	4
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	n=1	1,1	-	-	1
Oiseaux marcheurs nidifuges						
Faisan de colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	n=2	3,2	0,0	6,4	6
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		n=1	34,3	34,3	34,3	62
Micromammifères						
Micromammifères ind.	<i>Micromammal sp</i>	n=1	34,3	-	-	62

COMMENTAIRES

La largeur de ces passages (entre 8 et 12 m) rend difficile le suivi de la petite et moyenne faune avec un seul piège photographique. Le faible échantillon d'ouvrages, ainsi que ce biais de suivi peuvent expliquer en partie la fréquentation relativement faible observée pour la moyenne faune commune (le Blaireau avec 11 passages/an/ouvrage, les *martes sp* avec 6,2 passages/an/ouvrage), et l'absence de la Genette commune.

L'absence du Cerf élaphe dans ces 4 ouvrages est logique puisque qu'aucun d'entre eux ne se situe dans un secteur où l'espèce est présente.

La taille importante d'ouvrages tels que les PIGF* combinée à l'absence de structures (végétation) à l'intérieur de ceux-ci, peut être un obstacle pour certaines petites espèces peu enclines à traverser « à découvert » des espaces trop dégagés. Le Chevreuil (*Photo n°62*) et le Lièvre européen, les 2 espèces les plus observées dans les PIGF suivis, sont des espèces se déplaçant volontiers dans les milieux ouverts.

La fréquentation des grands ouvrages tels que les PIGF peut ainsi largement dépendre de leurs positions par rapport à des corridors naturels (haies, lisières) et/ou la présence de structures paysagères à l'intérieur des ouvrages (andains, végétation).



Photo n°62 : **Chevreuil traversant dans un ouvrage mixte (de type pont cadre) hydraulique/faune.**
(©FRAPNA Loire, FDC Loire, VINCI Autoroutes).

5.2.5 Ouvrages d'art aménagés (PI et PS mixtes)

Les ouvrages d'art aménagés étudiés ici correspondent à des passages inférieurs ou supérieurs initialement conçus exclusivement pour la circulation routière. Dans un second temps et dans le cadre du PVA, le choix a été fait par le gestionnaire autoroutier de trouver des solutions de compromis et d'aménager ces ouvrages pour faciliter les déplacements de la faune, tout en maintenant la circulation routière.

Les suivis peuvent être difficiles à mettre en œuvre sur ce type d'ouvrage à cause de leur exposition aux aléas climatiques, de la surface à couvrir (végétalisée et parfois large), et de leur exposition importante aux vols et dégradations du matériel.

Ici, les ouvrages d'art aménagés concernent un passage supérieur aménagé (*Photo n°63*) et deux passages inférieurs aménagés (*Photo n°64*), dont 1 d'une largeur de 10 m nécessitant l'emploi de 3 pièges photographiques positionnés différemment.



Photo n°63 : **Passage mixte supérieur sur l'A9.** (© VINCI Autoroutes).



Photo n°64 : **Passage mixte inférieur sur l'A9.** (© VINCI Autoroutes).

Les résultats de la fréquentation des ouvrages d'art aménagés sont exposés dans le *Tableau n°15*.

Tableau n°15 : **Nombre et diversité spécifique des passages de faune sauvage détectée dans les ouvrages d'art aménagés (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, valeurs min-max, et nombre total de passages détectés).** *Tableau détaillé en Annexe 5, page 146.*

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
OUVRAGES D'ART AMÉNAGÉS (n=3)						
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		n=3	125,9	20,2	252,1	646
Mammifères						
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	n=3	63,9	0,6	190,2	288
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	n=3	22,2	7,4	45,7	148
Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	n=2	36,1	14,1	58,1	124
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	n=1	28,9	-	-	43
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	n=1	3,8	-	-	16
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	n=2	1,1	0,2	2,0	4
Genette commune	<i>Genetta genetta</i>	n=3	0,7	0,2	1,3	4
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	n=2	0,6	0,5	0,7	3
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	n=1	2,0	-	-	3
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	n=1	0,5	-	-	2
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	n=1	1,3	-	-	2
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	n=2	0,4	0,2	0,6	2
Rat noir	<i>Rattus rattus</i>	n=1	0,7	-	-	1
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	n=1	0,2	-	-	1
Oiseaux marcheurs nidifuges						
Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>	n=1	3,4	-	-	5

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		n=3	16,4	12,8	23,6	140
Micromammifères						
Micromammifères ind.	<i>Micromammal sp</i>	n=3	12,7	3,4	23,6	123
Mulots/souris	<i>Muridae sp</i>	n=1	8,1	-	-	12
Amphibiens/Reptiles						
Tarente de Maurétanie	<i>Tarentola mauritanica</i>	n=1	1,1	-	-	2
Anoures ind.	<i>Anura sp</i>	n=1	0,7	-	-	1
Amphibiens ind.	<i>Amphibia sp</i>	n=1	0,7	-	-	1
Lézard ocellé	<i>Timon lepidus</i>	n=1	0,6	-	-	1

DES OUVRAGES FRÉQUENTÉS PAR DES ESPÈCES PEU CRAINTIVES

Ces ouvrages semblent logiquement peu adaptés à la grande faune. Seul 1 passage de sanglier est noté. Même constat pour la moyenne faune commune puisque le Renard (3,8 passages/an/ouvrage) et le Blaireau (0,5 passage/an/ouvrage) utilisent très peu ce type d'ouvrage.

La proximité de la route qui provoque des nuisances sonores et visuelles importantes peut expliquer en grande partie cette faible fréquentation de la moyenne et grande faune. Ceci peut laisser penser qu'à ce titre, les ouvrages inférieurs ou supérieurs strictement routiers (non aménagés) sont d'un intérêt très limité pour la faune, même s'ils peuvent dans de rares cas permettre une certaine perméabilité.

Les espèces les plus souvent observées dans ces ouvrages mixtes sont :

- le Hérisson (Photo n°65) (63,9 passages/an/ouvrage) ;
- les *martes sp* (22,2 passages/an/ouvrage) ;
- le Lapin (36,1 passages/an/ouvrage) ;
- le Ragondin (28,9 passages/an/ouvrage) ;
- le Chat domestique (32,9 passages/an/ouvrage).

Ces espèces sont dans l'ensemble connues pour vivre à proximité de l'homme, d'une adaptabilité importante

ou assez peu farouches. Elles sont d'ailleurs en général fortement touchées par les collisions routières (Fagart et al, 2016).



Photo n°65 : **Hérisson d'Europe traversant un passage inférieur aménagé sur l'A9.**
(©Écologistes de l'Euzière, VINCI Autoroutes).



Photo n°66 : **Lézard ocellé sur un passage mixte aménagé sur l'A9.** (©Écologistes de l'Euzière, VINCI Autoroutes).

5.2.6 Passages non dédiés (OH, PI routier)

Sur l'A89 exclusivement, 15 ouvrages non dédiés à la faune ont été suivis, majoritairement des ouvrages hydrauliques (*Photo n°68*), ainsi que des passages inférieurs ou supérieurs (*Photo n°67*). Les protocoles de ces suivis sont identiques à ceux des ouvrages dédiés, et comportent donc les mêmes biais de détection.

Ces ouvrages non dédiés à la faune offrent un panel assez large de configuration notamment pour les ouvrages hydrauliques dont la longueur varie de 35 m à 140 m.



Photo n°67 : **Passage inférieur non dédié sous l'A89.**
(©FRAPNA Loire).



Photo n°68 : **Ouvrage hydraulique non dédié sur l'A89.** (©FRAPNA Loire).

Les résultats de la fréquentation observée dans les passages non dédiés sont détaillés dans le *Tableau n°16*.

Tableau n°16 : **Nombre et diversité spécifique des passages de faune sauvage détectée dans les passages non dédiés (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, valeurs min-max, et nombre total de passages détectés).** Tableau détaillé en Annexe 6, page 148.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹			
			Moy.	Min.	Max.	Nb. total
PASSAGES NON DÉDIÉS (n=15)						
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		93 %	176,9	0,0	1733,3	1 528
Mammifères						
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	20 %	477,9	0,0	1399,5	812
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	27 %	68,9	2,0	251,2	268
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	67 %	41,3	2,0	147,0	216
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	13 %	36,3	2,0	70,6	55
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	67 %	6,7	0,0	33,3	46
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	13 %	12,3	2,0	22,6	19
Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>	7 %	9,9	-	-	10
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	7 %	10,4	-	-	6
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	13 %	6,2	1,7	10,6	4
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	7 %	5,2	-	-	3
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	7 %	3,0	-	-	3
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	7 %	1,7	-	-	1
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	7 %	-	-	-	-
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	7 %	-	-	-	-
Oiseaux marcheurs nidifuges						
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	7 %	147,0	-	-	85
Râle d'eau	<i>Rallus aquaticus</i>	7 %	-	-	-	-
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		20 %	-	-	-	-
Micromammifères						
Micromammifères ind.	<i>Micromammal sp</i>	7 %	-	-	-	-
Mulots/souris	<i>Muridae sp</i>	13 %	-	-	-	-
Amphibiens/Reptiles						
Anoures ind.	<i>Anura sp</i>	7 %	-			-

COMMENTAIRES

Avant tout, il faut noter que la fréquentation moyenne de l'ensemble de ces ouvrages est fortement « influencée » par la fréquentation exceptionnelle d'un ouvrage (1 733,3 passages/an) dont la majorité des passages résulte de la fréquentation du Ragondin (1 399,5 passages/an).

Le nombre assez important de 15 ouvrages suivis permet de recenser un nombre non négligeable de 12 espèces minimum fréquentant ces ouvrages. Par contre, un pourcentage assez faible d'ouvrages est utilisé par les différentes espèces. Les *martes sp* (Photo n°69) et le Renard qui utilisent chacun 67 % des ouvrages sont les espèces qui fréquentent le plus grand nombre d'ouvrages. D'autres, comme le Ragondin ou le Blaireau utilisent un faible nombre d'ouvrages (respectivement 20 % et 27 %), mais de façon plus régulière (respectivement 477,9 passages/an/ouvrage et 68,9 passages/an/ouvrage en moyenne).

La forte fréquentation du Ragondin est donc à mettre en relation avec un ouvrage hydraulique très fréquenté (maximum de 1 399,5 passages/an/ouvrage). Mais il n'est pas étonnant de voir ce mammifère semi-aquatique utiliser ce type d'ouvrage de façon quotidienne pour peu que la structure hydraulique se situe dans son domaine vital.

Il est intéressant de noter également qu'au-delà de 85 m de longueur, 2 ouvrages hydrauliques de 105 et 140 m de long sont utilisés exclusivement par les *martes sp*.

5.3 Suivis pièges-photos : discussion sur l'utilisation par la faune sauvage des ouvrages aménagés

5.3.1 Utilisation générale des ouvrages par la faune sauvage

Les données collectées pour les différents types de passages suivis par des pièges photographiques totalisent 22 295 traversées d'individus de faune sauvage réparties sur 76 ouvrages différents. Ces chiffres correspondent, pour les 4 écoponts, à une moyenne de fréquentation de 393 passages par an par ouvrage, et pour le reste des ouvrages (72 hors écoponts) à une moyenne de 240,8 passages par an par ouvrage (hors micromammifères, amphibiens et reptiles, peu détectables).

Ces moyennes correspondent globalement à ce que l'on retrouve dans la littérature européenne (Yanes *et al.*, 1995 ; Underhill, 2003 ; Mata *et al.*, 2005 ; Ascensão & Mira, 2007 ; Grilo *et al.*, 2008 ; Mateus *et al.*, 2011), en considérant que les suivis étudiés ici se rapportent à des ouvrages neufs suivis dans leur 1^{ère} année de mise en service (en moyenne 20 jours entre la mise en service de l'ouvrage et le début du suivi).



Photo n°69 : Martre des pins traversant un ouvrage hydraulique non dédié de l'A89. (@FRAPNA Loire, FDC Loire, VINCI Autoroutes).

En effet, plusieurs études rapportent qu'une période d'accoutumance de plusieurs années peut être nécessaire avant que les passages à faune soient utilisés par les espèces de mammifères « cibles » pour lesquelles les structures ont été installées (Clevenger & Waltho, 2004 ; Goosem *et al.*, 2005 ; Bellis, 2008 ; Soanes *et al.*, 2013).

Les tableaux précédents (Tableau n°11, page 63 au Tableau n°15, page 77) mettent en évidence des valeurs très différentes d'indice de fréquentation annuelle selon les espèces et les ouvrages. En l'absence de données individualisant les animaux, et de connaissance de l'état des populations animales aux abords des ouvrages, il est difficile d'interpréter cet indice comme reflétant l'efficacité réelle d'un ouvrage. En effet, il convient d'interpréter ces chiffres avec prudence, car plusieurs types de fréquentation peuvent se mettre en place dans les ouvrages :

- les ouvrages situés à l'intérieur ou à proximité de l'espace vital de certaines espèces communes sont à terme généralement fréquentés de façon journalière par quelques individus de cette espèce. Dans ce cas, l'intégration de l'ouvrage par ces individus est entière (fréquentation élevée) et essentielle afin de limiter le risque important de collision ;

- par ailleurs, certains ouvrages sont utilisés plus ponctuellement par différentes espèces. Si la fréquentation de ces ouvrages peut paraître très faible, ils n'en sont pas moins utiles. En effet, les passages ponctuels peuvent concerner par exemple l'essaimage de jeunes individus à la recherche de nouveaux territoires, ou l'erratisme de mâles en rut. Dans ce cas, ces traversées sont très importantes pour contribuer à la continuité écologique de la répartition des espèces et au brassage génétique des différentes populations.

5.3.2 Évolution positive de la fréquentation

Étant donné les biais associés aux suivis, il est très compliqué d'analyser l'évolution globale de la fréquentation pour l'ensemble des ouvrages suivis. La plus forte contrainte pour l'analyse réside dans l'hétérogénéité des pressions d'observations pour les différents jeux de données.

La Figure n°10 met en évidence la corrélation entre le nombre de passages de faune sauvage et le nombre de jours de suivi (pression d'observation) pour 46 suivis d'ouvrages différents (écoducs et ouvrages hydrauliques aménagés).

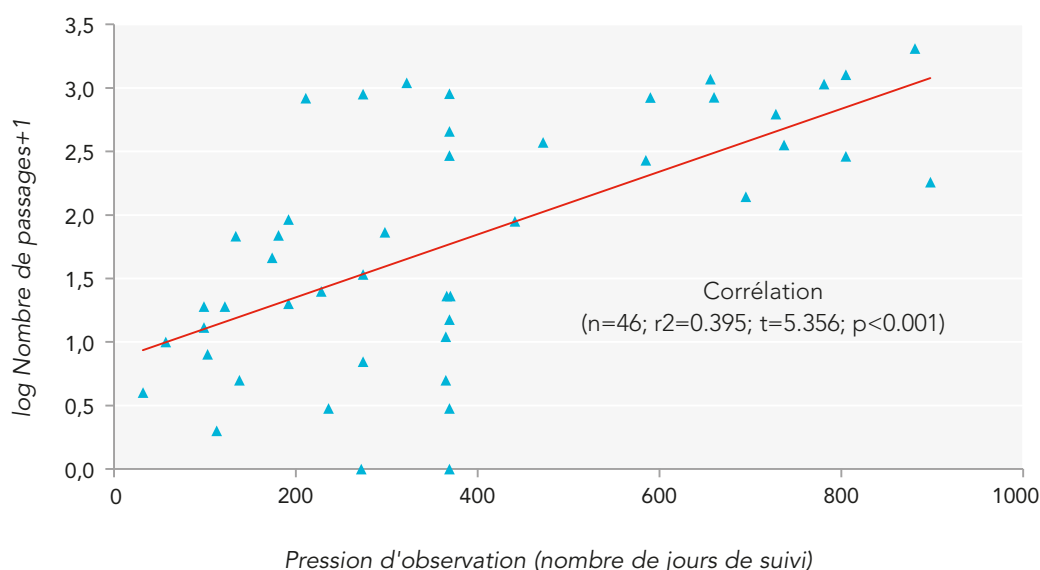


Figure n°10 : Logarithme du nombre de passages des espèces en fonction de la pression d'observation en nombre de jours de suivi, pour 46 ouvrages (écoducs et ouvrages hydrauliques aménagés). Un triangle représente un suivi d'ouvrage, la droite (en rouge) indique la tendance linéaire des données.

En se focalisant sur un jeu de données restreint, mais plus homogène au niveau des suivis, l'analyse devient plus précise. Des suivis ininterrompus, menés pendant 2 ans dans 9 écoducs en Charente-Maritime, ont fait l'objet d'analyses statistiques détaillées sur l'évolution de la fréquentation de ces ouvrages par la faune sauvage (Fagart *et al.*, 2016).

La Figure n°11, tirée de cette étude, met en évidence un phénomène d'appropriation des ouvrages par la faune sauvage. Il se traduit par une fréquentation multipliée par 8 en l'espace de 24 mois de suivis, et une baisse significative du taux de refus observés.

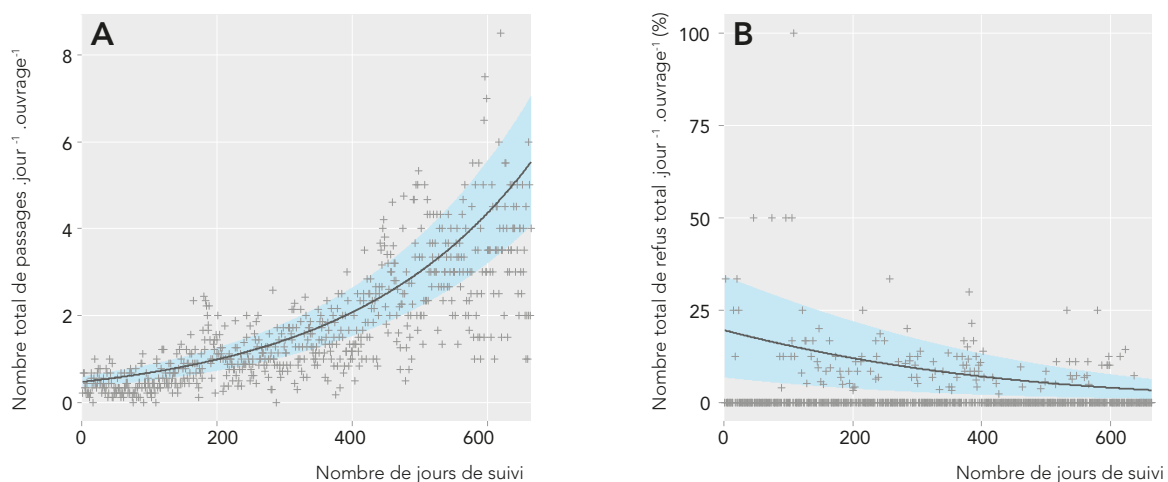
Si ce phénomène d'appropriation explique en partie la hausse de la fréquentation (Figure n°11A), la baisse du taux de refus (Figure n°11B) est à mettre en relation avec l'adaptation d'un certain nombre d'individus aux stimuli que sont le flash de lumière infrarouge et le bruit électronique du déclenchement des prises de vue.

5.3.3 Influence des paramètres structurels des ouvrages (type d'ouvrage, dimensions)

Il est délicat d'attribuer certains écarts de fréquentation entre différents ouvrages comme la conséquence de paramètres structurels différents entre les ouvrages (dimensions par exemple). L'analyse statistique ne permet généralement pas de mettre en évidence des différences significatives. Ceci s'explique par :

- l'hétérogénéité des données qui dépendent de nombreux paramètres (protocole de suivi);
- des paramètres structurels relativement homogènes (ex: longueur);
- un nombre limité de suivis pour certains types d'ouvrages.

Les retours d'expériences de l'ensemble des personnes ayant réalisé les suivis, combinés aux analyses et comparaisons des données de fréquentation, permettent néanmoins de discuter certains points.



A : Évolution du nombre de passages journaliers totaux par ouvrage au cours du temps.

B : Évolution du taux de refus journalier (% du nombre total d'individus) par ouvrage au cours du temps depuis le début des suivis.

Les prédictions des modèles sur les nombres moyens de passages et les taux de refus par jour et par ouvrage en fonction des jours de suivi et des saisons sont représentées (courbes noires) avec leurs intervalles de prédiction entre les premiers et derniers quartiles (zones bleutées).

Figure n°11 : Évolution du nombre de passages et du taux de refus pour 9 ouvrages suivis pendant 2 ans en Charente-Maritime. (source: Fagart *et al.*, 2016).

LES ÉCODUCS PLUS FRÉQUENTÉS QUE LES OUVRAGES HYDRAULIQUES AMÉNAGÉS

Les écoducs le long de cours d'eau (type IIIe) et les ouvrages hydrauliques aménagés sont relativement semblables à première vue. En effet, ils constituent généralement un passage inférieur de petites à moyennes dimensions (d'une largeur variant de 0,55 à 4,4 m dans l'étude) souvent situé dans le corridor écologique d'un cours d'eau. Pourtant, leurs fréquentations respectives semblent assez différentes (Tableau n°17).

Le Tableau n°17 met en évidence une fréquentation moyenne des écoducs situés le long de cours d'eau (type IIIe) bien supérieure à la fréquentation moyenne des ouvrages hydrauliques aménagés (encorbellement, enrochement, et banquette).

La fréquentation des banquettes est quant à elle supérieure à celle des autres ouvrages hydrauliques aménagés (encorbellement et enrochement).

Comment expliquer ces différences ?

- **Par la durée des suivis ?** De par le faible nombre d'ouvrages suivis, les deux enrochements peuvent être écartés de l'analyse. Par contre, les 3 autres types d'ouvrages ont été suivis sur des durées conséquentes.
- **Par les biais de suivis ?** Les suivis de ces ouvrages sont tous réalisés avec le même type de matériel à l'intérieur d'ouvrages de faible largeur, ils peuvent donc raisonnablement être considérés comme homogènes.

- **Par le nombre d'ouvrages suivis ?** Le faible nombre d'ouvrages suivis et en particulier ceux équipés des enrochements et encorbellements fait que les résultats sont notamment très soumis aux conditions locales et doivent être interprétés avec précaution.

- **Par les différences de régions biogéographiques ?** Les encorbellements faiblement fréquentés sont situés plus à l'ouest que les banquettes, mais les écoducs, fortement fréquentés, sont également situés plus à l'ouest que les banquettes. Dans ce cas, difficile d'y voir une influence significative à l'échelle nationale, même si ceci aura davantage de conséquences au niveau spécifique (par exemple pour la Genette, plus localisée à l'est).

- **Par l'influence du dimensionnement et de l'accessibilité des ouvrages ?** L'accessibilité des ouvrages hydrauliques aménagés (banquette, encorbellement, enrochement) peut dépendre de différents paramètres. L'un des principaux est le coefficient d'ouverture des ouvrages (cf. Tableau n°6, page 54) et plus précisément la largeur du pied sec et la hauteur utile au-dessus de ce dernier. Certaines espèces sont donc absentes de ces ouvrages, de par leur trop grande taille comme le Sanglier ou le Chevreuil.

La proximité immédiate du cours d'eau à l'intérieur même de l'ouvrage, qui ne se retrouve pas dans les écoducs, a probablement une influence importante sur la fréquentation de certaines espèces comme les Lagomorphes (Lièvre européen et Lapin de garenne) ou les plus imposantes (Chevreuil, Blaireau) qui n'apprécient pas forcément cette proximité dans des ouvrages plutôt confinés.

Tableau n°17 : Comparaison des moyennes de fréquentation pour les 4 types d'ouvrages hydrauliques, pour les espèces les plus détectables (hors micromammifères et herpétofaune).

	Écoduc (type IIIe)	Banquette	Encorbellement	Enrochement
Nb d'ouvrages	19	8	4	2
Pression d'obs (nb de jours)	9479 j	1681 j	1775 j	526 j
Fréq. moy. (pass.an ⁻¹ .ouvr ⁻¹)	400,7	170,4	39,1	31,9

Pour les encorbellements, solution d'aménagement pour des ouvrages existants, l'accessibilité peut être largement dépendante de raccords à la berge peu évidents à mettre en place et dont la fonctionnalité varie en fonction des niveaux d'eau. De plus, à l'étiage, certains cours d'eau permettent le passage à pied sec dans le lit du cours d'eau, impliquant une fréquentation moindre de l'encorbellement alors en surplomb dans l'ouvrage.

L'accessibilité des ouvrages est un paramètre non quantifiable sur le terrain, mais elle peut se retrouver indirectement en observant le temps mis par la faune pour trouver un ouvrage (date de 1^{ère} traversée par rapport au début du suivi). Il faut alors également observer le délai écoulé entre la mise en service de l'ouvrage et le début du suivi, afin de prendre en compte les différentes phases d'appropriation (Tableau n°18).

L'hypothèse d'une accessibilité réduite semble se vérifier pour les encorbellements dont la 1^{ère} traversée intervient en moyenne le 50^e jour de suivi (318^e jour pour les Fouine/Martre, et 130^e jour pour le Renard).

Cette accessibilité est par contre difficilement appréciable pour les banquettes et enrochements à cause du délai d'environ 1 an (359 et 372 jours) observé entre la mise en service de l'ouvrage et le début des suivis.

LES OUVRAGES DÉDIÉS PLUS FRÉQUENTÉS QUE DES OUVRAGES NON DÉDIÉS COMPARABLES SUR L'A89

Sur l'autoroute A89, des passages non dédiés à la faune, mais qui semblent suffisamment adaptés pour celle-ci ont été suivis, et permettent d'obtenir quelques données intéressantes.

Deux types de passages non dédiés ont été suivis :

- les passages de type I sont initialement des ouvrages hydrauliques de décharge restant à sec une grande partie de l'année (cf. Photo n°67, page 79 & Photo n°69, page 81) ; ils peuvent être comparés à des écoducs de type I.
- les passages de type IV sont initialement des chemins (cf. Photo n°68, page 79) permettant la traversée occasionnelle de véhicules ou de troupeaux d'élevages ; ils sont comparables en quelques points aux PIGF spécifiques.

Afin de minimiser les biais, cette analyse se limite aux ouvrages de l'A89 (contexte écologique relativement homogène, et protocole de suivi identique), et aux espèces les plus détectables (hors micromammifères* et herpétofaune*).

Tableau n°18 : Pour les différents types d'ouvrages hydrauliques aménagés : nombre de jours écoulés entre le début du suivi et la 1^{ère} traversée (en gras), nombre de jours écoulés entre la mise en service de l'ouvrage et le début du suivi (en italique), toutes espèces confondues, et focus sur des espèces bien représentées dans les ouvrages.

DELAIS MOYENS EN NOMBRE DE JOURS						
	1 ^{ère} trav./ déb. suivi	déb. suivi/ réal. ouvr.	1 ^{ère} trav./ déb. suivi	déb. suivi/ réal. ouvr.	1 ^{ère} trav./ déb. suivi	déb. suivi/ réal. ouvr.
	Toutes espèces		Fouine/Martre		Renard roux	
Écoduc (type IIIe), n=19	19	18	173	16	112	18
Banquette, n=8	10	359	10	359	51	359
Encorbellement, n=4	50	43	318	38	130	38
Enrochement, n=2	23	372	25	372	-	-

Les paramètres structurels qui diffèrent entre les ouvrages comparés sont également notés (Tableau n°19).

La fréquentation moyenne détectée dans les ouvrages dédiés est bien supérieure (au minimum multipliée par 2) à celle des ouvrages non dédiés à la faune. La diversité spécifique observée est également supérieure dans les ouvrages dédiés.

Ces écarts de fréquentation peuvent être influencés par le choix initial de l'implantation du site ou par les différences de paramètres structurels qui ont été notées. Pour les ouvrages hydrauliques non dédiés et les écoducs dédiés, les paramètres les plus pertinents semblent être la longueur moyenne inférieure et le système de guidage de la faune, davantage optimisé pour les buses dédiées. Pour les PI/PS non dédiés et les PIGF* dédiés, la largeur moyenne bien plus grande et la présence de palissade pour les PIGF sont probablement les paramètres les plus influents.

Tableau n°19 : **Comparaison des données de fréquentation moyenne (passages/an/ouvrage) et de la diversité spécifique (nombre d'espèces), pour la faune empruntant les ouvrages dédiés et non dédiés comparables sur l'A89 ; et paramètres structurels pouvant influencer sur ces données.**

	Ouvrages non dédiés	Ouvrages dédiés
Données faunistiques	OH (type I)	Écoduc
Nb d'ouvrages	n=12	n=12
Fréq. moy. (pass.an ⁻¹ .ouvr ⁻¹)	133,9	274,7
Diversité spécifique	9	21
Paramètres structurels		
Long. moy. des ouvrages (en m)	67,3 m	37,1 m
Guidage de la faune	OH éloigné des clôtures	Clôtures proches des buses
Substrat au sol dans l'ouvrage	béton nu	terre
Données faunistiques	Chemin (PI/PS)	PIGF spécifique
Nb d'ouvrages	n=3	n=4
Fréq. moy. (pass.an ⁻¹ .ouvr ⁻¹)	50,4	119,7
Diversité spécifique	5	10
Paramètres structurels		
Larg. moy. des ouvrages (en m)	3,5 m	11 m
Présence d'écran (palissade)	non	oui
Substrat au sol dans l'ouvrage	enrobé/terre	terre, substrat naturel

5.3.4 Influence des paramètres écologiques des ouvrages (habitat, corridor)

L'influence des habitats et corridors de déplacement à proximité des ouvrages est un élément essentiel de leur fonctionnalité. En règle générale, l'emplacement d'un ouvrage est ajusté en fonction des corridors de déplacements naturels formés par la structure du paysage. Certains groupes d'espèces ont des écologies différentes et ne fréquentent pas forcément les mêmes milieux, et un ouvrage peut avoir vocation à cibler une espèce à l'écologie particulière. Mais dans la majorité des cas, un cours d'eau, une lisière, ou encore une haie canalisent les déplacements d'un nombre important d'espèces.

Dans cette étude, il n'a pas été possible de caractériser l'habitat et les corridors aux abords de chaque ouvrage. Par contre le type d'ouvrage permet de différencier les écoducs de type IIIe implantés le long de cours d'eau, et les écoducs de type I implantés dans des milieux plus homogènes (boisements, prairies, cultures) non associés à un cours d'eau.

Les cours d'eau constituent des corridors écologiques connus pour être attractifs pour de nombreuses espèces quand ils demeurent un minimum préservés (végétation rivulaire, berges naturelles, etc.). Cette caractéristique peut se vérifier en comparant certaines données (Tableau n°20).

La différence de diversité spécifique est sensiblement la même (18 contre 17 espèces) si l'on ne prend que les espèces les plus détectables. Mais si l'on ajoute les données d'herpétofaune, la diversité spécifique grimpe à un total de 28 espèces pour les ouvrages associés à un cours d'eau contre 20 espèces pour les ouvrages non associés à un cours d'eau.

Si le contraste de diversité spécifique est peu évident, la fréquentation moyenne est bien supérieure pour les écoducs le long de cours d'eau (en moyenne 401 passages/an/ouvrage, contre 226 passages/an/ouvrage pour les écoducs non associés à un cours d'eau). Ces écarts corroborent l'hypothèse que la fonctionnalité des ouvrages est largement dépendante de la qualité des corridors de déplacements aux abords des ouvrages.

Tableau n°20 : **Comparaison de la fréquentation moyenne (nombre de passages/an/ouvrage), de la pression d'observation (nombre de jours), et de la diversité spécifique (espèces les plus détectables et espèces peu détectables différenciées) pour les écoducs associés et non associés à un cours d'eau.**

	Écoduc le long d'un cours d'eau (type IIIe)	Écoduc non associé à un cours d'eau (type I)
Nb d'ouvrages	n=19	n=16
Pression d'observation (en jours)	9479 j	5271 j
Fréq. moy. (passages/an/ouvrage)	400,7	226,4
Diversité spécifique (hors Micromam. et herpétofaune)	18	17
Diversité spécifique micromam. et herpétofaune	10	3



06. SUIVIS SPÉCIFIQUES

Réalisés sur certains sites,
dans des configurations différentes,
les suivis spécifiques enrichissent
le retour d'expérience avec des
données et des enseignements affinés.

6.1 Suivis par pièges à traces

SUIVI DE TROIS OUVRAGES DE L'A62

Sur ces 3 ouvrages, des pièges à traces ont été mis en place, en complément des pièges photographiques déjà positionnés depuis plus d'une année. Ils ont été installés après la suspicion du non-déclenchement des pièges photographiques sur certains individus.

Ces pièges à traces (*Photo n°70*) sont constitués de plaques (50 cm × 40 cm) d'un mélange de sable, d'argile et de mousse florale imbibée d'eau pour maintenir l'humidité. Ils sont installés un mois sur deux et contrôlés de façon hebdomadaire.

Les relevés d'empreintes ont permis de détecter certaines espèces non détectées par les pièges photographiques : la Genette commune a été repérée sur les 3 ouvrages (contre 1 seul ouvrage pour les pièges photographiques). La Fouine et un mustélidé de type Vison/putois ont été détectés sur 1 ouvrage où le piège photographique ne les a pas repérés.

D'un point de vue quantitatif, les pièges photographiques se sont révélés être plus efficaces que les pièges à traces avec la détection d'un nombre plus important d'individus, permettant de quantifier plus précisément la fréquentation et le nombre d'espèce empruntant les ouvrages.

Cependant, les pièges à traces ont apporté des informations complémentaires qualitatives (nombre

d'espèces) plutôt que quantitatives (nombre de passages), mettant en évidence certaines limites des pièges photographiques (détection, disposition compliquée et recul insuffisant dans ce cas précis de suivi).

SUIVI D'UN PIGF DE L'A51

Ce PIGF* mis en service en même temps que cette portion d'autoroute en 1999 a été suivi exclusivement à l'aide d'un piège à traces contrôlé de façon hebdomadaire de mars 2003 à février 2005. Le piège à traces était constitué d'un substrat humide sur la largeur de l'ouvrage. Il a permis de dénombrer 245 passages de 10 espèces différentes de faune sauvage (7 espèces de mammifères, 2 espèces d'oiseaux et au moins une espèce de reptile).

Le suivi permet d'estimer la fréquentation de l'ouvrage qui est de 121,1 passages/an/ouvrage. Cette fréquentation est en majeure partie attribuable au Renard roux qui totalise 80,3 passages/an/ouvrage.

Pour comparaison, les 4 PIGF suivis par piège photographique sur l'A89 totalisent une moyenne de fréquentation de 210,1 passages/an/ouvrage, pour des ouvrages pourtant moins matures que celui de l'A51.



Photo n°70 : Disposition d'un piège à traces sur un encorbellement de l'A62. (@Cistude Nature).

SUIVI DES ÉCOPONTS DE L'A8 ET DE L'A57

Ces écoponts ont été suivis pendant une année à partir d'octobre 2013. Les pièges à traces étaient constitués d'une bande d'un mélange de sable et d'argile d'environ 2,5 m de large traversant entièrement les écoponts. D'abord contrôlés de façon régulière, ils ont ensuite servi uniquement de complément aux pièges photographiques installés sur l'écopont, leur efficacité étant très limitée lorsque le substrat est sec (été ou gel), (M. Gervais, *comm. pers.*).

COMMENTAIRES SUR LES SUIVIS PAR PIÈGES À TRACES

Les pièges à traces se révèlent davantage efficaces lorsqu'ils sont disposés à l'intérieur des ouvrages (de type écoducs) plutôt qu'à l'extérieur où ils sont soumis aux aléas climatiques (écopont par exemple).

Cependant, en extérieur, leur utilisation peut être complémentaire de l'utilisation d'un piège photographique, d'autant plus que le piège à traces maintient une zone découverte, favorable pour la détection par pièges photographiques.

Comparés aux pièges photographiques qui apportent des données quantitatives précises, les pièges à traces présentent un intérêt principalement pour l'apport de données qualitatives complémentaires (complétant la liste des espèces utilisant l'ouvrage détectées par les pièges photographiques).

Le *paragraphe 7.2.1, page 113* compare les avantages et inconvénients des suivis par piège à traces par rapport à d'autres méthodes de suivi.

6.2 Suivis des reptiles sur les écoponts

Les reptiles sont des animaux ectothermes* qui sont de fait très peu détectables par les pièges photographiques infrarouges. Des suivis spécifiques (pose de plaques de thermorégulation, observation ponctuelle) ont été réalisés sur les différents écoponts afin d'évaluer leur présence sur ces ouvrages (*Tableau n°21*).

La pression d'observation de ces suivis étant assez faible et ponctuelle, les données ne permettent pas d'analyses détaillées pour ces espèces. Il ressort cependant de ces suivis que les andains (*Photos n°73, page 92*) jouent pour elles un rôle essentiel. La majorité des données ont en effet été relevées dans ou à proximité de ces andains. Généralement constitués de rondins de bois et de blocs rocheux dans des milieux bien exposés au soleil, ils constituent pour les reptiles des refuges et des micro-habitats où des populations peuvent s'établir, comme pour le Lézard des murailles par exemple (S. Fagart, *obs. pers.*; Movia A., LPO Drôme, nov. 2014). Il est à noter que ce type d'aménagement peut-être réalisé dans les passages inférieurs spécifiques grande faune ou non.

Bien que les observations de reptiles soient ponctuelles et ne mettent pas en évidence la traversée des ouvrages, il faut noter que pour ces espèces (comme pour les micromammifères) l'écopont joue un rôle de continuum d'habitat qui facilite à terme les échanges entre populations de part et d'autre des écoponts.

Tableau n°21 : Liste des reptiles observés sur les différents écoponts (X=présence).

		Écoponts				Observation
Espèces	Nom scientifique	A10	A7	A8	A57	
Lézard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>	X	X	X		Andains, plaques
Lézard vert occidental	<i>Lacerta bilineata</i>		X		X	Andains
Tarente de Maurétanie	<i>Tarentola mauritanica</i>			X	X	Plaques
Couleuvre verte et jaune	<i>Hierophis viridiflavus</i>		X			Andains, plaques
Couleuvre à collier	<i>Natrix natrix</i>			X		Blocs rocheux
Couleuvre sp	-	X				Andains



Photos n°71 : Evolution du couvert végétal entre le printemps et l'été influençant la détection des reptiles sur l'écopont de l'A7. (© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).



Photos n°73 : Andain composé de rochers et de rondins de bois sur l'écopont de l'A10. (© LPO Drôme, LPO France).



Photo n°72 : Lézard ocellé sur un muret de pierre disposé sur l'écopont de l'A8.(© CEN PACA).



Photo n°74 : **Couleuvre verte et jaune sous une plaque
disposée sur l'écopont de l'A7.**
(© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

6.3 Suivis des amphibiens

6.3.1 Suivi des amphibiens par piège photographique programmé (time-lapse)

Les amphibiens sont des animaux à « sang froid ». De ce fait ils ne sont pas détectés par les pièges photographiques utilisant la technologie infrarouge basée sur la détection des mouvements de chaleur. Sur l'ensemble des suivis (hors écopont), correspondant à 88 années de suivis cumulés, une seule donnée d'amphibien (Crapaud commun/épineux sur un encoirbellement de l'A62) provient du déclenchement infrarouge d'un piège photographique. D'autres rares données d'amphibiens proviennent de passages simultanés avec d'autres animaux.

Certains pièges photographiques permettent de programmer des déclenchements automatiques à intervalles de temps réguliers. C'est ce type de suivi qui a été réalisé dans la Drôme (Movia A., LPO Drôme, oct. 2014) dans un secteur favorable aux amphibiens. Cet ouvrage d'environ 50 m de longueur, de type buse circulaire a été spécialement adapté aux déplacements des amphibiens : ses parois ont été rendues verticales par des plaques de béton et le fond de l'ouvrage recouvert d'une couche de terre (Photo n°75).



Photo n°75 : **Configuration d'une buse circulaire adaptée aux déplacements des amphibiens.**
(© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

Un protocole visant à déclencher une prise de vue toutes les minutes a été appliqué à différentes périodes de l'année entre 2011 et 2014 (l'automne et le printemps étant privilégiés). Ce protocole s'est révélé être efficace puisque 34 données (22 traversées et 12 demi-tour) pour au moins 4 espèces d'amphibiens ont été détectées (Photo n°76) dans l'ouvrage sur 3 années consécutives de suivis : Salamandre tachetée (n=22), Triton sp (n=6), Crapaud commun/épineux (n=3) et Grenouille sp (n=3).



Photo n°76 : **Traversée d'une salamandre tachetée dans une buse aménagée pour les amphibiens sous l'A7.**
(© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

Si l'identification voire l'individualisation (motifs des tâches jaunes) de la Salamandre tachetée adulte est possible sur les photos (Photo n°76), l'identification des petits urodèles et des Grenouilles est très compliquée avec la résolution actuelle du matériel (le piège photographique utilisé pour ce suivi est le Reconyx HC600®, pourtant apprécié pour la qualité de ses images).

Comme attendu, la phénologie des données collectées est assez marquée (Figure n°12, page 95) :

- peu ou pas de données en hiver ;
- 10 données dispersées au printemps (du 26 février au 29 mai) ;
- peu ou pas de données en été ;
- 24 données concentrées à l'automne (du 11 octobre au 14 novembre).

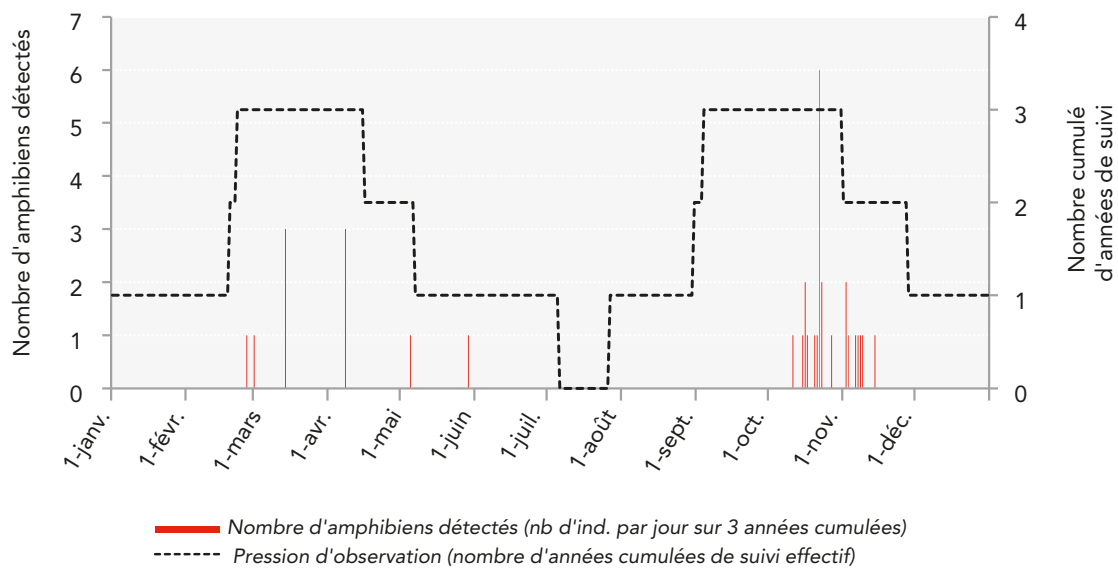


Figure n°12 : **Phénologie annuelle des détections d'amphibiens (nombres de passages /jour) et pression d'observation associée (3 années de suivi).**

Étant donné l'irrégularité du suivi et des passages d'amphibiens sur l'année, il est délicat d'interpréter l'évolution de la fréquentation. Cependant, la hausse du nombre de données est importante notamment en automne, où il n'y a aucune donnée en 2011, contre 6 données en 2012 puis 18 données en 2013 (Figure n°13).

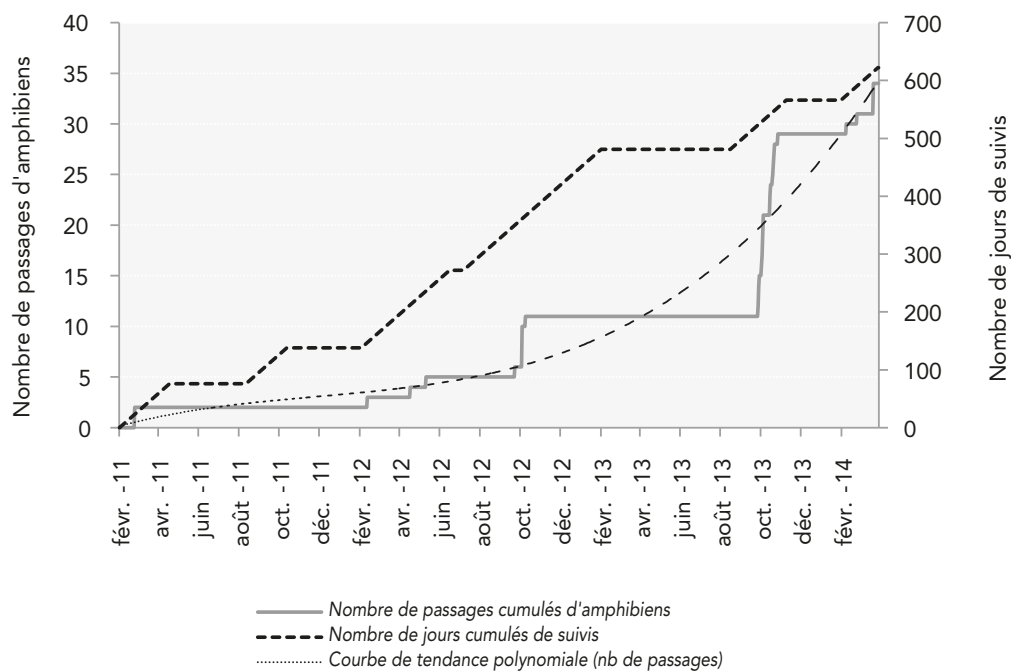


Figure n°13 : **Évolution du nombre d'amphibiens détectés et du nombre de jours de suivi au cours des trois années de suivi.**

À l'automne 2013, ce suivi a été perturbé par une inondation exceptionnelle de l'écoduc, emportant le substrat terreux déposé au fond de la buse. Ce substrat est initialement déposé (Photos n°77A) dans le but notamment d'éviter aux amphibiens d'avoir à se déplacer sur de longues distances sur un béton sec pouvant provoquer une déshydratation rapide. Après cet événement, le béton du fond de l'ouvrage a retrouvé son aspect d'origine (Photos n°77B), mais n'a d'après les données, pas empêché les traversées d'amphibiens.

Les photos ont même permis d'émettre l'hypothèse d'une facilité accrue de déplacement, notamment pour les petits urodèles (Tritons) qui semblent emprunter des trajectoires plus rectilignes sur le béton que sur un substrat terreux marqué par certaines irrégularités (cailloux, microreliefs) (Movia A., LPO Drôme, oct. 2014). Le béton « lavé » par les eaux boueuses a également probablement perdu de son alcalinité néfaste aux amphibiens (Sétra & MEDD, 2005). La présence d'un léger dépôt sédimentaire est également peut-être favorable au déplacement de ces espèces.

Il faut noter enfin que le béton employé dans cet ouvrage est un béton polymère (résineux) très lisse, et donc très peu abrasif, possiblement plus adapté aux amphibiens qu'un béton classique.

Pour détecter de façon optimale certains animaux peu détectables avec un système infrarouge (par exemple les amphibiens), un système de capteurs de vibration est actuellement en développement dans une buse sèche circulaire du réseau ASF en Charente-Maritime. Le dispositif se montrant particulièrement efficace pour les Anoures (cf. paragraphe 7.3.2 *Suivis herpétologiques*, page 122), il sera donc testé prochainement sur le site de la Drôme. Ce système est efficace pour l'ensemble des animaux à sang froid (reptiles et amphibiens) et les micromammifères, les résultats de ces suivis sont donc exposés au fil de la discussion.

6.3.2 Suivi des amphibiens sur les écoponts

De la même façon que pour les reptiles, les amphibiens sont assez difficiles à suivre avec une pression d'observation satisfaisante, et les pièges photographiques ne détectent pas les « corps froids » des amphibiens. Les suivis se déroulent donc généralement en prospections ciblées, lors de sorties nocturnes effectuées aux périodes les plus propices aux déplacements des amphibiens (printemps et automne).



Photos n°77 : Ouvrage avant (A : avec substrat) et après (B : sans substrat) la crue. (© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

Sur 2 des 4 écoponts étudiés, des mares ont été réalisées aux entrées ou au milieu des ouvrages. Les suivis de ces écoponts situés dans la Charente-Maritime et la Drôme ont mis en évidence la présence de plusieurs espèces d'amphibiens au sein même de l'écopont (*Tableau n°22, Photo n°78*). Sur les 2 écoponts ne comportant pas de mares, aucune donnée d'amphibien n'a été relevée, à l'exception d'une Rainette méridionale présente sur un écopont (situé dans le Var), à une période où une petite flaque avait pu se former au printemps. La présence de points d'eau semble donc logiquement augmenter l'attractivité des écoponts pour les amphibiens.

Ces mares sont encore récentes, la présence de l'eau y est pour la plupart assez temporaire, et la végétation ne s'y est pas encore suffisamment développée pour qu'elles soient vraiment fonctionnelles. Aucune reproduction d'amphibiens n'a donc été constatée dans ces mares, mais la présence d'au moins 8 Tritons palmés sur une mare de l'écopont de l'A10 en mars 2014 montre la fonctionnalité émergente de ces aménagements. Leur attractivité permet de constituer des micro-habitats pour ces espèces, et d'augmenter les chances de traversée de l'écopont lors des phases de dispersion.

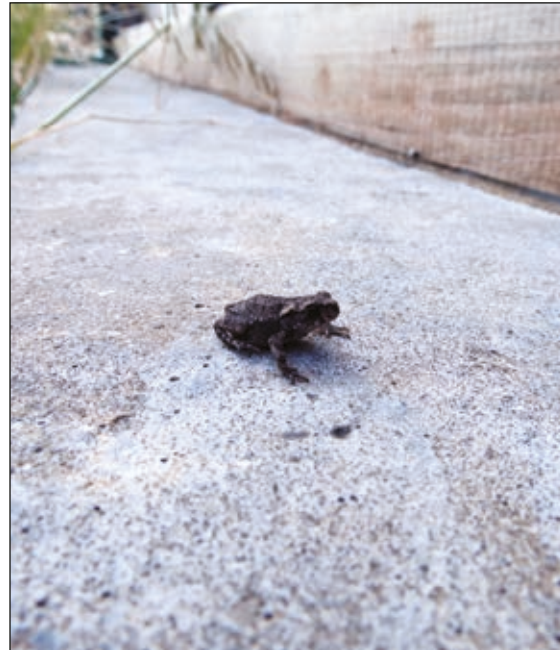


Photo n°78 : **Crapaud épineux juvénile en transit sur le rebord béton de la palissade d'un écopont de l'A10.** (© LPO France).

Tableau n°22 : **Liste des amphibiens observés sur les différents écoponts (X = présence).**

Espèces	Nom scientifique	Écoponts				Observation
		A10	A7	A8	A57	
Grenouille verte ind.	<i>Pelophylax sp</i>		X			flaque
Grenouille agile	<i>Rana dalmatina</i>	X	X			transit, mare
Rainette méridionale	<i>Hyla meridionalis</i>	X			X	flaque, mare
Crapaud commun/épineux	<i>Bufo bufo/spinosus</i>	X	X			transit, mare
Triton palmé	<i>Lissotriton helveticus</i>	X	X			transit, mare

6.3.3 Suivi des micromammifères sur les écoponts

Les suivis de micromammifères sont relativement difficiles à mettre en œuvre. Le procédé permettant d'optimiser la collecte de données est le piégeage (cf. Photo n°79, piège de type INRA).



Photo n°79 : **Piège à micromammifère sur un écopont de l'A10.** (©LPO France, VINCI Autoroutes).

Des sessions de piégeage des micromammifères ont eu lieu sur les 4 écoponts suivis.

Le protocole mis en place sur l'écopont de la Drôme a donné de très bons résultats (74 captures) : 6 sessions

de piégeage ont été réalisées (2 à l'automne 2013, 2 au printemps 2014 et 2 à l'été 2014). Pour chaque couple de session, la 1^{ère} a été réalisée sur l'écopont et la 2^e aux 2 extrémités extérieures. Les résultats sont intéressants puisque 4 espèces (Campagnol agreste, Campagnol des champs, Mulot sylvestre, et Musaraigne musette) semblent établir des populations sur l'écopont, dont l'habitat semi-ouvert correspond à leur biotope.

Pour la Musaraigne musette par exemple (Figure n°14), l'écopont joue le rôle de continuum d'habitat puisque celle-ci est présente aussi bien aux abords (lisières, fourrés) que sur l'écopont (pelouse rase).

Le cas du Campagnol des champs est sensiblement différent puisque cette espèce qui affectionne les milieux ouverts a été capturée uniquement sur l'écopont (Figure n°15, page 99). Il semble donc que l'écopont constitue un nouvel habitat pour l'espèce présente dans les champs alentours. De plus, il est probable que cet habitat transitoire puisse jouer le rôle d'échange entre les populations de Campagnol des champs de part et d'autre de l'autoroute et qui cherchent à se disperser (MOVIA & BLACHE, nov. 2014).

Les 2 cartes (Figure n°14 et Figure n°15, page 99) mettent en évidence la colonisation de l'écopont par plusieurs espèces. Cette colonisation permet les échanges de population de part et d'autre de l'ouvrage.

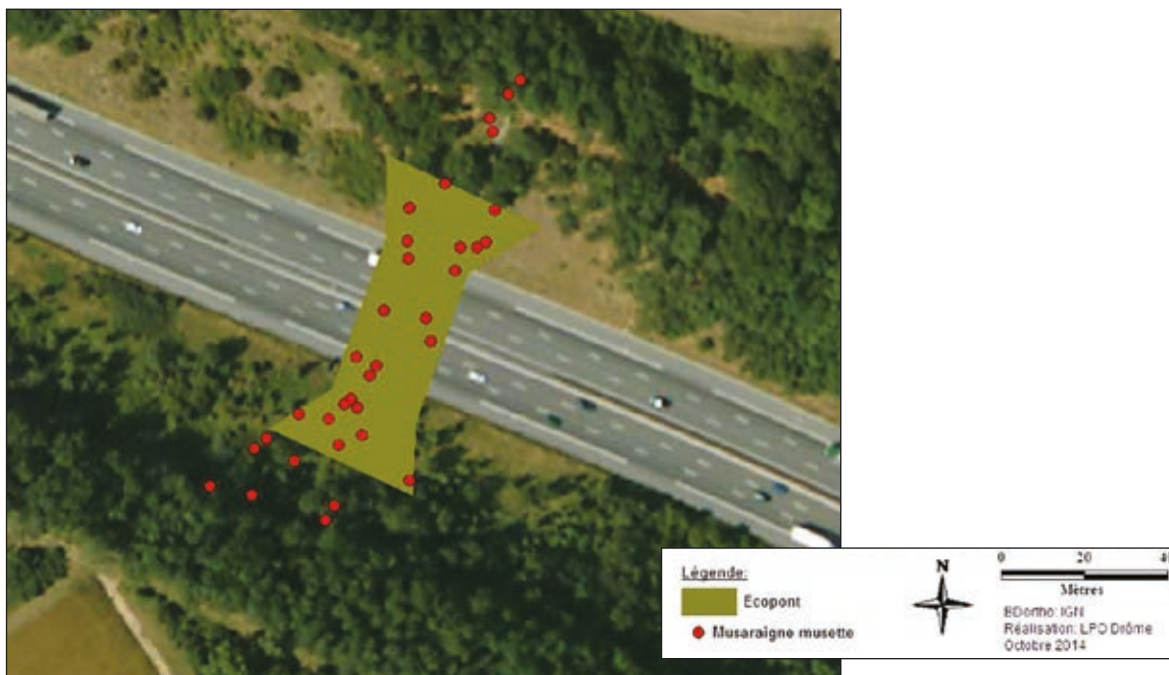


Figure n°14 : **Carte du pointage des captures de Musaraigne musette sur et aux abords de l'écopont.** (©LPO Drôme, VINCI Autoroutes, nov. 2014).



Figure n°15 : **Carte du pointage des captures de Campagnol des champs sur et aux abords de l'écopont.**
 (@LPO Drôme, VINCI Autoroutes, nov. 2014).

En revanche, 3 autres espèces (Campagnol roussâtre, Mulot à collier et 1 Musaraigne « à dents rouges ») n'ont été capturées qu'en dehors de l'écopont. Ces espèces affectionnent davantage les milieux boisés des abords de l'écopont et sont donc moins amenées à traverser le milieu prairial que constitue l'écopont (voir l'exemple du Campagnol roussâtre *Figure n°16, page 100*). Les andains et le développement des haies plantées sur les écoponts doivent toutefois aider à réduire cet effet de rupture d'habitat.



Photos n°80 : **Capture d'un micromammifère et piège INRA lors de session de capture sur un écopont.** (@LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

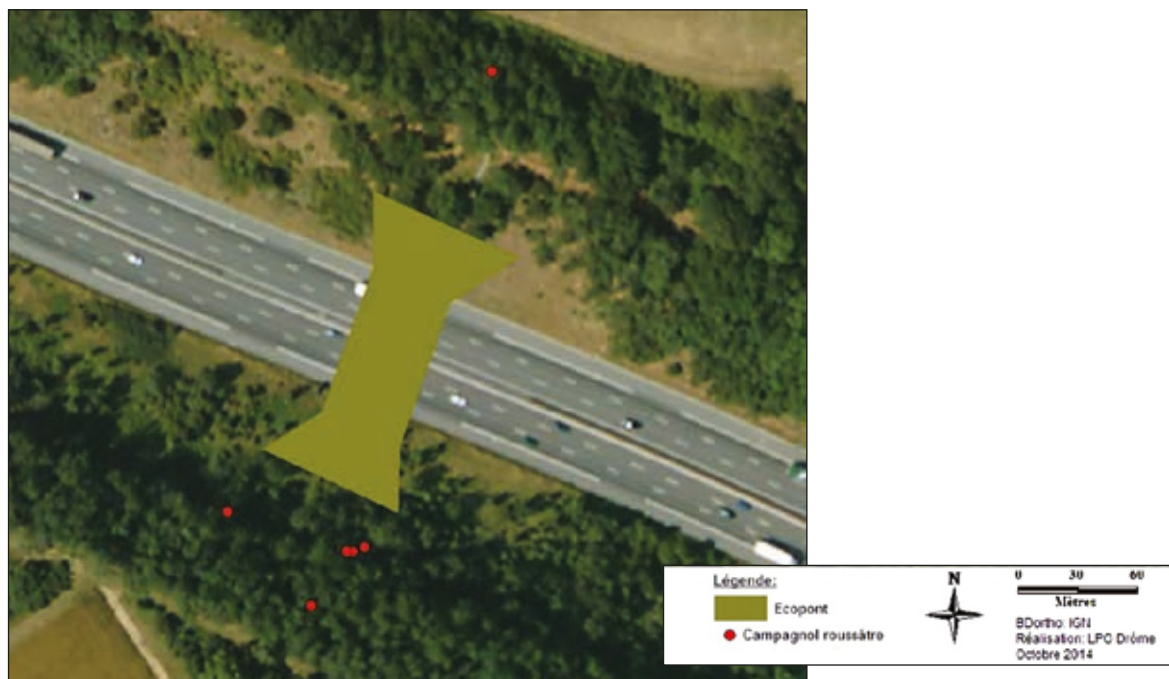


Figure n°16 : Carte du pointage des captures de Campagnols roussâtres sur et aux abords de l'écopont.
(© LPO Drôme, VINCI Autoroutes, nov. 2014).

Les suivis des 3 autres écoponts totalisent un plus faible nombre de captures : 11 captures de Mulot sylvestre pour les 2 écoponts du Var et 14 captures pour au moins 4 espèces sur l'écopont de la Charente-Maritime (Tableau n°23), rendant l'interprétation des données moins évidente.

Toutefois, les andains de ces ouvrages semblent jouer un rôle important dans le déplacement de certaines

espèces de micromammifères, notamment le Mulot sylvestre. Ainsi, pour l'écopont de la Charente-Maritime, 9 des 14 captures de micromammifères ont été réalisées dans l'andain. De plus, pour ce même ouvrage, le suivi par piège photographique a permis de collecter 32 déclenchements de micromammifères (principalement le Mulot sylvestre) se déplaçant à proximité immédiate de l'andain.

Tableau n°23 : Liste des micromammifères capturés sur les différents écoponts (X = présence).

		Eco-ponts				Observation
Espèces	Nom scientifique	A10	A7	A8	A57	
Mulot sylvestre	<i>Apodemus sylvaticus</i>	X	X	X	X	capture, piège-photo
Campagnol agreste	<i>Microtus agrestis</i>		X			capture
Campagnol des champs	<i>Microtus arvalis</i>	X	X			capture
Musaraigne musette	<i>Crocidura russula</i>	X	X			capture
Musaraigne pygmée	<i>Sorex minutus</i>	X				capture

6.4 Suivis des chiroptères

6.4.1 Suivi des chiroptères sur les écoponts

Les 4 écoponts suivis ont fait l'objet de sessions d'enregistrements ultrasonores à l'aide d'enregistreurs automatiques SM2 (Photo n°81) permettant de déterminer :

- l'espèce ou le groupe d'espèces : la différenciation de certains groupes (myotis, sérotines/noctules) n'est pas toujours possible ;
- l'activité de vol : transit, chasse, etc. ;
- les horaires de chaque contact.

Il n'est en revanche pas possible de déterminer la direction de vol (sauf avec la mise en place de 2 microphones, et d'un traitement lourd du signal, basé sur le principe de la stéréo).

Il n'est également pas possible de déterminer la distance entre la chauve-souris détectée et le microphone. La portée des signaux d'écholocation varie fortement selon l'écologie des espèces. Par exemple, les signaux acoustiques de la Noctule commune peuvent porter à près de 150 m, alors que ceux des Rhinolophes ne dépassent généralement pas une dizaine de mètres.

L'interprétation de la traversée d'un écopont (et des passages supérieurs en général) à partir d'enregistrements ultrasonores n'est donc possible que pour les espèces émettant des cris d'intensité très faibles, c'est-à-dire les espèces des genres *Rhinolophus* (Rhinolophes), *Plecotus* (Oreillards) et certains *Myotis* (Murins). Pour les autres espèces, l'enregistrement ultrasonore ne permet généralement pas de différencier un déplacement sur l'écopont (transversal à l'autoroute) d'un déplacement parallèle à l'autoroute (en lisière) ou d'un vol en altitude.

Il faut noter que les espèces qui émettent des cris de faible intensité (Rhinolophes, Oreillards) sont aussi celles qui se déplacent le plus souvent à proximité du sol (elles recherchent une structure susceptible de réverbérer leurs cris pour se déplacer). Ces espèces sont donc généralement les plus exposées aux collisions routières (Arthur & Lemaire, 2009).

En appliquant la méthodologie d'écarter tous les signaux ne permettant pas de valider le transit par l'ouvrage, les suivis réalisés sur l'écopont de l'A7 ont permis de dénombrer 16 franchissements par les chiroptères en 2012 (sur 27 nuits d'enregistrements, soit une

moyenne de 0,59 franchissement par nuit) et 29 franchissements en 2014 (sur 11 nuits d'enregistrements, soit une moyenne de 2,63 franchissements par nuit).

La fréquentation moyenne de l'écopont par les chiroptères est en augmentation de 2012 à 2014, mais même si les suivis ont été réalisés durant plusieurs nuits et aux mêmes périodes, il est délicat d'interpréter ces résultats, les variations de l'activité des chiroptères pouvant fluctuer de façon très importante en fonction des pics de dispersion des insectes, également liés aux conditions météorologiques locales.



Photo n°81 : Microphone d'enregistreur automatique SM2 monté sur une perche et positionné au milieu d'un écopont. (© LPO France).

La Photo n°82 illustre la traversée d'un écopont par un chiroptère. Elle a été prise par un piège photographique déclenché lors du passage d'un Renard et non du Chiroptère.



Photo n°82 : Chiroptère indéterminé photographié par un piège photographique déclenché par le passage simultané d'un renard sur un écopont de l'A10. (© LPO France, VINCI Autoroutes).

DES ÉCOPONTS À LA VÉGÉTATION ENCORE TROP PEU DÉVELOPPÉE

Tous les ouvrages suivis l'ont été suite à leur construction. De ce fait, les haies d'arbustes et d'arbres plantées sur ces écoponts ne sont pas encore bien développées (S. Fagart, *obs. pers.* ; M. Gervais, *comm. pers.*). Or, les structures végétales verticales que sont les haies ou les lisières sont primordiales pour « guider » et favoriser les déplacements de chiroptères.

Pour les raisons évoquées précédemment, les suivis des chiroptères par enregistrement ultrasonore sur les écoponts ne répondent pas entièrement à la question de la fonctionnalité des écoponts pour ce groupe d'espèces. Même si un enregistrement met en évidence une richesse spécifique et une fréquentation importante de l'écopont, celles-ci doivent être comparées avec celles d'un enregistrement ultrasonore réalisé directement au-dessus de l'autoroute (sans écopont). Ceci afin de comparer les flux et de mettre en évidence le fait que les chiroptères privilégient s'ils ont le choix la traversée de l'autoroute par un écopont.

Plusieurs arguments penchent pour cette hypothèse :

- les chiroptères recherchent généralement des structures paysagères pour se déplacer, l'écopont (comme les autres passages supérieurs) en constitue une ;
- les nuisances sonores et lumineuses émises par le trafic de l'autoroute ont tendance à éloigner les chiroptères à quelques exceptions près. Or, les écoponts sont équipés de palissades occultantes, réduisant ces nuisances en leur sein.

Des tests d'enregistrements ont ainsi été réalisés sur l'écopont de l'A10, en plaçant un microphone au milieu de l'écopont et un microphone suspendu au-dessus de l'autoroute au niveau de la palissade. La palissade joue ainsi le rôle d'écran acoustique entre le microphone de l'écopont et le microphone positionné côté autoroute. Ces résultats tendent à montrer que les contacts de chiroptères sont deux fois plus importants sur l'écopont que du côté autoroute de la palissade. Ce protocole reste cependant contestable sur certains points :

- les chiroptères volant en altitude sont possiblement détectés par les deux microphones ;
- le microphone côté autoroute étant proche de la palissade (écran acoustique), celui-ci échantillonne une zone plus restreinte que celui placé au centre de l'écopont ;
- les signaux les plus puissants ne permettent pas de différencier un déplacement transversal ou parallèle à l'autoroute.

6.4.2 Suivi des chiroptères dans les passages souterrains

LES ÉTUDES DU FRANCHISSEMENT DE L'AUTOROUTE A8 PAR LES CHIROPTÈRES

Dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité des systèmes de réduction d'impact des infrastructures de transport du Plan National d'Actions sur les Chiroptères (2009-2013), 2 études de Rombaut & Brisorgueil (2011) et Pichard *et al.* (2012), ont été menées sur 2 portions de l'autoroute A8 dans le département du Var. Elles portent sur l'utilisation de passages souterrains par les chiroptères.

Ces portions ont été choisies pour leur proximité avec des gîtes abritant des colonies de chiroptères d'importance nationale et de potentielles zones d'alimentation situées au-delà de l'autoroute A8.

Les 2 études ont permis de suivre respectivement 9 ouvrages souterrains d'un diamètre compris entre 0,85 m et 4 m et 15 ouvrages souterrains d'un diamètre compris entre 0,93 m et 4 m à l'aide d'enregistreurs ultrasonores automatiques Anabat SD2 (un enregistreur par ouvrage ; *Photo n°83*). Chaque ouvrage a été suivi durant 3 séries de 2 nuits consécutives à des périodes favorables pour l'activité des chiroptères (entre juin et fin septembre). Les suivis de ces ouvrages ont été complétés par des points d'enregistrement au niveau de l'autoroute, permettant de connaître le nombre de contact associé à chaque espèce, ou encore d'interpréter les axes de transit privilégiés au niveau de l'autoroute.

Les résultats de ces derniers sont difficilement interprétables et ne sont donc pas détaillés ici.



Photo n°83 : **Emplacement de l'enregistreur Anabat dans un ouvrage souterrain de l'A8.**
(©CEN PACA).

Les résultats (cf. annexe 7) mettent en évidence une fréquentation assez importante de certaines buses par les chiroptères, avec une moyenne de 14,2 passages/nuit/ouvrage (min : 0,0 ; max : 98,8) pour les 24 passages souterrains suivis. Ces résultats mettent en évidence l'augmentation du nombre de contacts avec l'augmentation du diamètre des buses (diamètre et longueur sont ici liés) (Figure n°17).

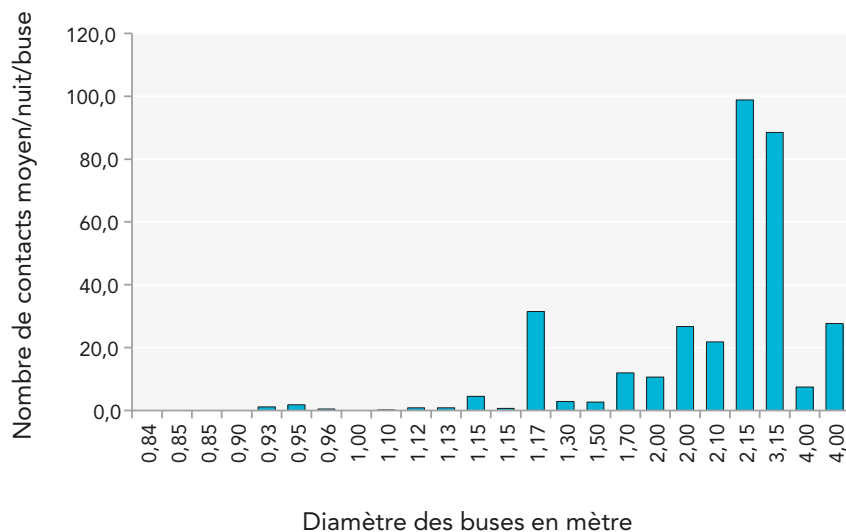


Figure n°17 : **Évolution du nombre moyen de contacts de chiroptères (par nuit et par buse) en fonction du diamètre des 24 buses suivies.** (@Pichard et al., 2012; Rombaut & Brisorgueil, 2011).

D'après Pichard et al. (2012), l'accessibilité des ouvrages inférieurs semble être également un élément important. Pour les chiroptères, une accessibilité importante se traduit par des ouvrages faiblement obstrués par la végétation, et par la présence d'éléments paysagers et/ou écologiques servant de corridors de déplacements (haies, couvert arboré, cours d'eau, etc.) à proximité des buses.

Sur un minimum de 10 espèces détectées dans les buses (Tableau n°24, page 104), les 2 études mettent en évidence une utilisation assez importante des ouvrages souterrains par les Rhinolophes et les Murins qui sont davantage détectés dans les ouvrages qu'au niveau de l'autoroute : 98 % des contacts de Rhinolophes et 94 % des contacts de Murins ont été enregistrés à l'intérieur des ouvrages souterrains dans l'étude de Rombaut & Brisorgueil (2011).

La fréquentation importante des ouvrages par les Rhinolophes, notamment le Petit Rhinolophe qui utilise près de 80 % des buses suivies (Tableau n°24, page 104) s'explique par le fait que les Rhinolophes se déplacent

généralement à basse altitude (Fourasté et al., 2014) et sont donc plus à même d'emprunter les ouvrages que des espèces se déplaçant généralement en milieu plus ouvert (noctules, minioptères, etc.). Par ailleurs, ces espèces semblent s'aventurer dans ce type d'ouvrage plus facilement, car seuls les Rhinolophes ont été observés dans les ouvrages d'un diamètre inférieur à 1,3 m. Les buses où la plus grande diversité d'espèces a été observée sont celles ayant le plus grand diamètre (entre 2 m et 4 m de diamètre).

La présence des Murins (dans 38 % des ouvrages suivis) peut quant à elle s'expliquer par le fait que des espèces comme le Murin de Daubenton et le Murin de Capaccini (tous deux présents dans ce département) s'alimentent au-dessus de l'eau et privilégient donc les déplacements en fond de vallée (Rombaut & Brisorgueil, 2011).

Si le groupe des Pipistrelles semble également bien représenté dans les ouvrages, elles fréquentent par contre davantage les abords de l'autoroute. Ceci est notamment dû au fait que les Pipistrelles sont des espèces assez répandues dans cette région.

Tableau n°24 : Liste des chiroptères détectés dans les ouvrages souterrains de l'A8 sur les 2 sections suivies, et nombre d'ouvrages fréquentés par chaque espèce. (source : Pichard et al., 2012 ; Rombaut & Brisorgueil, 2011).

Espèces Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nb de buses fréquentées	% de buses fréquentées
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	19 sur 24	79 %
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	9 sur 24	38 %
Murin indéterminé	<i>Myotis sp</i>	9 sur 24	38 %
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	6 sur 24	25 %
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	4 sur 24	17 %
Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	<i>Pipistrellus kuhlii/nathusii</i>	3 sur 24	13 %
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	2 sur 24	8 %
Sérotines/Noctules	<i>Eptesicus/Nyctalus</i>	2 sur 24	8 %
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	1 sur 24	4 %
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	1 sur 24	4 %

Finalement, ces 2 études montrent que les passages souterrains sont des structures bien utilisées par certaines espèces de chiroptères pour traverser les autoroutes (Arthur et al., 2010). Celles-ci peuvent donc se révéler d'une grande utilité pour maintenir la connexion entre 2 sites (gîte et zone de chasse par exemple de part et d'autre d'un axe de circulation) tout en réduisant le risque de collision routière. De par leur écologie, les espèces comme les Rhinolophes ou encore les Murins les utilisent assez facilement, mais la fonctionnalité des buses pour les chiroptères demeure très variable selon les dimensions de l'ouvrage (diamètre), son accessibilité ou encore son insertion par rapport aux corridors naturels de déplacements.

DÉTECTABILITÉ DES CHIROPTÈRES PAR LES PIÈGES PHOTOGRAPHIQUES

L'ensemble des suivis par pièges photographiques a permis de collecter 53 données de chiroptères, équivalent à une fréquentation d'environ 0,007 passages/nuit/ouvrage (seulement pour les ouvrages fréquentés au moins une fois, et ce, quelle que soit la saison). Ces données ont pour point commun de provenir des écoducs (Photo n°84) de 1,2 m de diamètre situés dans des boisements alluviaux et dans une moindre mesure des zones boisées ou bocagères. Dans tous les cas, la présence de structures paysagères sylvicoles est vérifiée.



Photo n°84 : Chiroptère indéterminé détecté par un piège photographique dans un écoduc de 1,2 m de diamètre, sous l'A10. (© LPO France, VINCI Autoroutes).

Cependant, le nombre de données collectées par les pièges photographiques est probablement négligeable par rapport à la fréquentation réelle des ouvrages souterrains par les chiroptères. Les études de la fréquentation des ouvrages souterrains de l'A8 par les chiroptères (*cf. chapitre précédent, page 101*), réalisées avec du matériel spécifique (enregistreurs ultrasonores) sur 6 nuits et à des périodes favorables, montrent en effet une fréquentation moyenne de 14,2 passages/nuit/ouvrage. Dans le meilleur des cas, la fréquentation détectée par les pièges photographiques n'atteint pas 1 passage/nuit/ouvrage : 7 données en 10 nuits pour la 1^{ère} quinzaine de septembre sur l'ouvrage comptabilisant le plus de données.

La détectabilité des chiroptères par les pièges photographiques est donc très mauvaise, ce qui s'explique par de nombreux paramètres dont notamment :

- la combinaison de la petite taille et de la vitesse importante de déplacement des chiroptères ;
- ainsi que l'orientation et l'inclinaison des pièges photographiques disposés de façon optimale pour les mammifères terrestres et non volants.

6.4.3 Suivi des chiroducs*

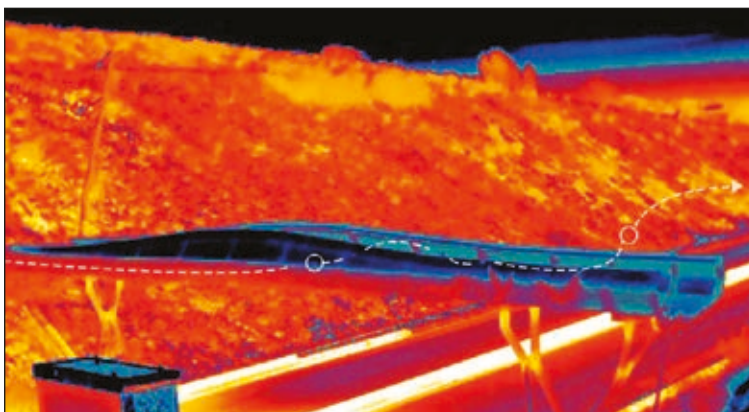
Les chiroducs (*cf. Photo n°5, page 21*) sont des structures s'apparentant à d'énormes « gouttières » passant au-dessus de l'autoroute. Ces aménagements expérimentaux visent à guider les chiroptères afin de faciliter leur traversée de l'autoroute à une altitude suffisamment importante pour éviter tout risque de collision.

Les premiers résultats de suivis par caméra thermique réalisés en 2014 et 2015 sur 2 chiroducs* de l'A89 (Naturalia Environnement & FRAPNA42, 2015) montrent que certaines chauves-souris utilisent l'aménagement pour franchir l'autoroute, que ce soit en passant à l'intérieur du chiroduc (*Photos n°85*) ou en suivant les parois extérieures de la structure.

En un peu plus de 26 heures de suivis sur 2 chiroducs, 28 traversées des ouvrages par des chiroptères ont été observées (visualisation en direct sur l'image thermique et vérification des enregistrements). Un des deux ouvrages est davantage emprunté que l'autre, avec des moyennes de fréquentation de 2,05 passages/heure (27 traversées) pour l'un, et de 0,08 passage/heure (1 traversée) pour l'autre. Les espèces concernées appartiennent majoritairement au groupe des Pipistrelles et dans une moindre mesure à celui des « Sérotules » (Sérotines et Noctules). Dans le même temps et dans le même champ de vision de la caméra, 7 chiroptères ont traversé l'autoroute sans « utiliser » les chiroducs.

Ces premiers résultats mettent avant tout en évidence l'efficacité de la méthode de suivi. Les enregistrements par caméra thermique permettent de visualiser les trajectoires empruntées par les chiroptères et leurs comportements à proximité de l'ouvrage, contrairement aux méthodes de suivis ultrasonores en milieu ouvert (enregistrement SM2 sur un écopont par exemple).

Ces suivis (en cours) seront complétés, car il est pour l'heure difficile de dire dans quelle mesure ces chiroducs participent à la préservation des chauves-souris : réduction du risque de collisions routières, et/ou facilité d'accès à de nouveaux territoires (alimentation, brassage génétique, etc.).



Photos n°85 : Image issue d'un suivi par caméra thermique sur un chiroduc*. Les pointillés matérialisent la trajectoire approximativement suivie par un chiroptère empruntant l'ouvrage. (© Naturalia).

6.5 Suivis d'une passe aquatique

Une passe aquatique a été aménagée dans la Drôme au niveau du franchissement d'un cours d'eau par l'autoroute A7. À l'origine, un seuil de 2,5 m de hauteur à paroi inclinée (150 %) était présent sur toute la largeur du cours d'eau (pour protéger de l'érosion régressive l'ouvrage autoroutier en aval). La paroi rend l'ouvrage (Photo n°87A) impossible à franchir pour la faune aquatique (anguilles, etc.) ou la faune semi-aquatique (Loutre d'Europe, Castor d'Eurasie). Une passe dimensionnée a été réalisée, pour respecter l'impératif de stabilité de l'ouvrage d'art et permettre le franchissement piscicole. Constituée de rampes rugueuses avec macro rugosités dite « à singularités régulièrement réparties » de 2 niveaux et séparées par un bassin de repos intermédiaire, elle permet de recréer des conditions de hauteur d'eau, de vitesse et de puissance dissipée compatible avec le franchissement de l'anguille et des cyprinidés d'eau vive. Le dispositif piscicole est complété par l'ajout d'une banquette utilisable par les mammifères semi-aquatiques qui sert également de chemin d'entretien (Photo n°87B et Photo n°86)

Un suivi par piège photographique ciblant les mammifères semi-aquatiques, et un suivi par prospections nocturnes visuelles ciblant la faune aquatique ont été mis en place.

Le suivi par piège photographique a montré l'utilisation de l'ouvrage par 2 espèces de mammifères semi-aquatiques, le Castor d'Eurasie (Photo n°88, page 107) et le Ragondin, ainsi que l'utilisation de la passe aquatique ou de l'enrochement par des mammifères terrestres (Renard roux, Lapin de garenne) et de nombreux oiseaux (Canards, Hérons, Bergeronnettes, etc.).

Les multiples données de franchissement avéré de Castors sont particulièrement intéressantes, dans la mesure où le seuil était ici auparavant infranchissable pour cette espèce. Plusieurs cas de mortalité par collisions avaient été signalés au droit du seuil. Le Castor connaît ici, comme en de nombreux sites du Rhône, une dynamique de population favorable.

Le suivi piscicole est réalisé au moyen de transects nocturnes avec lampes torches, et de pêches électriques



Photo n°86 : Vue du seuil, de la passe aquatique et de l'enrochement aménagés. (© P. Roche, ONEMA).



Photo n°87 : Seuil avant travaux (Photo A), et après travaux (Photo B). (© VINCI Autoroutes).

diurnes et nocturnes par sondages. Il a permis de cartographier 26 données d'anguilles d'Europe (stade adulte, *Photo n°89*). Les prospections ont été réalisées avant et après la construction de la passe aquatique, et en amont et en aval de l'ouvrage. Alors que la présence de l'anguille avait été confirmée en aval, mais n'avait pas été observée en amont de l'ouvrage avant la construction de la passe aquatique, des individus ont été observés après la construction de la passe, en amont de celle-ci, témoignant ainsi de la recolonisation par cette espèce migratrice menacée d'un tronçon amont

favorable (habitat rocheux notamment et zone de chasse lentiques) jusqu'à alors inaccessible.

Autre élément notable, le suivi piscicole a permis d'observer davantage de Toxostomes (une espèce à enjeu pour le site Natura 2000) grâce aux captures effectuées par pêches électriques sur la partie amont. Cette évolution favorable peut être liée à la restauration de la libre circulation piscicole.



Photo n°88 : **Castor d'Europe au niveau de la passe aquatique.** (© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).



Photo n°91 : **Castor curieux lors de prospection nocturne.** (© Naturalia)



Photo n°89 : **Anguille d'Europe en amont de la passe aquatique.** (© Naturalia).



Photo n°90 : **Capture de Barbeau dans le bassin de repos de la passe aquatique.** (© Naturalia)



Photos n°92 : **Pêche électrique nocturne.** (© FDPPMA Drôme, VINCI Autoroutes)





07.

BILAN DU RETOUR D'EXPÉRIENCE DES SUIVIS FAUNISTIQUES

La grande diversité d'informations et de données génère un retour d'expérience inédit sur les suivis faunistiques d'aménagements autoroutiers.

De par les différents groupes d'espèces visées, les différents protocoles mis en place, ou les différents types de matériels utilisés, le lot de données collectées pour les différents suivis est très hétérogène.

Les fiches techniques suivantes synthétisent les points importants pour la mise en place de suivis pour les principaux groupes faunistiques. Elles sont insérées en *Annexe 8, page 151*.

- Fiche technique 1 :
Suivi généraliste des mammifères par pièges-photo
- Fiche technique 2 :
Suivi des micromammifères
- Fiche technique 3 :
Suivi de l'herpétofaune
- Fiche technique 4 :
Suivi des chiroptères

7.1 Principaux éléments orientant le choix du protocole de suivi

7.1.1 Durée du suivi

Les données collectées doivent apporter des réponses pertinentes en fonction des problématiques soulevées. La période et la durée de suivi, la pression d'observation, le matériel utilisé doivent être adaptés en fonction des questions posées.

De façon générale, il faut différencier :

- les suivis sur le long terme (plusieurs mois/années) pour lesquels les enregistreurs automatiques (pièges photographiques, enregistreurs acoustiques) permettent de collecter des données qualitatives (date, horaire, température, donnée associée, etc.) de façon semi-autonome ;
- les suivis plus ponctuels où le matériel demande la permanence ou l'intervention régulière d'experts (captures, pièges à traces, observations, etc.) pour collecter des données selon un protocole précis et répété.

La gestion du temps disponible (relatif au budget du suivi) est un élément capital. Si les systèmes automatiques de collecte (piège photographique, SM2) permettent d'étaler les suivis sur de longues périodes (plusieurs

années), le temps de collecte/visionnage/saisie des données peut être conséquent selon la finesse des résultats souhaités (prise en compte de plus ou moins de paramètres).

Une durée de 3 ans, prenant en compte notamment la période d'appropriation, apparaît une durée pertinente pour estimer l'utilisation par la faune des ouvrages.

7.1.2 Type d'ouvrage et ses dimensions

De façon générale, plus un ouvrage est de grande taille, plus son suivi faunistique est complexe. Cela s'explique par :

- la diversité spécifique potentiellement plus importante dans des ouvrages plus grands ;
- la difficulté de suivre une surface et/ou un volume plus grand ;
- la difficulté d'identifier le type d'utilisation d'un grand ouvrage pour la faune (transit, micro-habitat, etc.).

Les petits ouvrages (buse/ouvrage hydraulique aménagé) ont l'avantage de canaliser la faune dans un couloir étroit (jusqu'à 2 m).

De même, un ouvrage à ciel ouvert ou semi-ouvert (écopont par exemple) est plus difficile à suivre qu'un ouvrage couvert (écoduc par exemple), en raison des contraintes suivantes :

- l'interférence des aléas climatiques (pluie, soleil, variation importante de température) sur le matériel de suivi ;
- la présence probable de végétation évoluant librement, et pouvant engendrer un biais saisonnier important (une partie de la faune masquée par une végétation haute et dense, et/ou des déclenchements par les mouvements de la végétation).

7.1.3 Avantages et inconvénients des différentes méthodes de suivi

Une fois identifié la problématique du suivi, le type d'ouvrage et les espèces cibles, le choix du matériel de suivi peut être optimisé en fonction des avantages et inconvénients de chacun des dispositifs (*Tableau n°25*).

Tableau n°25 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes de suivi utilisées.

	Avantages	Inconvénients
Piège-photo (en mode infrarouge)	• Autonomie importante • Données chronotées par heure • Individualisation possible dans certains cas	• Ne détecte pas les animaux à corps froid • Parfois intrusif pour la moyenne faune (renard, fouine, etc.)
Piège-photo (en mode déclenchement minute)	• Échantillonne de façon automatique • Déclenche également en infrarouge • Adapté aux déplacements lents des amphibiens	• Autonomie réduite • Non adapté aux déplacements rapides • Nombre important de photos à contrôler
Piège à traces	• Dimensions adaptables du piège • Peu intrusif	• Lecture et interprétation variables (humidité, substrat) des traces (fréquentation sousestimée) • Données non heureées • Pas d'individualisation • Biais observateur • Passages réguliers (chronophage)
Piège à vibration	• Autonomie importante • Données chronotées par heure • Individualisation possible dans certains cas • Détecte les animaux à corps froid • Biais de détection réduits • Déclenche également en infrarouge	• Dimensions limitées du tapis (~ 1 m²) • Intrusif pour la moyenne faune (renard, blaireau, etc.) • Dispositif peu adapté pour l'extérieur
Capture (Marquage Recapture)	• Identification voire individualisation • Interprétation des déplacements lors de recaptures	• Très intrusif • Pas de données comportementales • Pression d'observation limitée dans le temps
Observation directe	• Données comportementales	• Parfois intrusif • Biais observateur • Chronophage • Pression d'observation limitée dans le temps
Enregistreurs ultrasonores (Chiroptères)	• Autonomie importante • Identification possible	• Trajectoires de vols non connues avec un simple enregistreur
Caméra thermique (Chiroptères)	• Trajectoires de vols connues • Identification compliquée	• Pression d'observation limitée dans le temps (nécessite un opérateur)
Trajectographie (Chiroptères)	• Trajectoires de vols connues • Identification possible	• Matériel encore très peu utilisé

7.1.4 Choisir le piège photographique adapté au suivi

Il y a aujourd'hui un large choix de pièges photographiques sur le marché. Tous ont des caractéristiques et performances techniques différentes (Meek *et al.*, 2012) et le choix du matériel doit être dicté par les besoins du suivi.

Les suivis par pièges photographiques traités ici, sont tous réalisés avec du matériel utilisant la technologie des capteurs infrarouges passifs (PIR) et équipés de LED infrarouges permettant de capturer des images/vidéos de nuit sans flashes de lumière visible. Ces suivis ont été réalisés en grande majorité avec le Reconyx HC600®, reconnu pour ses performances, notamment sa rapidité de déclenchement (0,2 seconde).

Dans le cadre de ces suivis, plusieurs tests de comparaison de pièges photographiques ont été réalisés, privilégiant tous finalement le Reconyx (Movia, déc. 2011).

Certains besoins nécessaires au suivi peuvent orienter le choix du piège photographique (Tableau n°26, page 112). Par exemple, l'observation du comportement des animaux aux abords d'un aménagement (hésitation, demi-tour, fuite) demande généralement d'avoir un appareil permettant de déclencher des séquences vidéos.

D'autres suivis spécifiques peuvent être axés sur la reconnaissance des critères individuels (amphibiens, mammifères, etc.). Dans ce cas l'utilisation de pièges photographiques avec flashes de lumière blanche peut être préférée (clichés nocturnes en couleur et de haute définition). Toutefois, l'utilisation de ces flashes de lumière blanche a un impact plus important sur le comportement de la faune (nuisance, fuite) et peut engendrer une usure plus rapide des batteries et un temps de déclenchement moins rapide qu'avec des LED infrarouges (Meek *et al.*, 2014). Pour certains suivis, la problématique d'un faible gradient de chaleur entre l'air ambiant et la faune (air ambiant très chaud, herpétofaune, etc.) peut nécessiter l'utilisation d'un appareil équipé d'un mode de déclenchement automatique (time-lapse).

Note sur le choix des piles/batteries

*Le choix des batteries/piles est également important pour le bon fonctionnement du matériel et le bon déroulement du suivi. En général, le choix est à faire entre les piles alcalines, les batteries au Lithium, et les batteries NiMH (Nickel-Metal Hybride). Les batteries au Lithium sont les plus performantes en termes de temps de charge (performances non affectées par le froid) mais aussi les plus onéreuses. Les piles alcalines, bon marché, sont davantage adaptées aux suivis à court terme. Les batteries NiMH semblent être un bon compromis performances/coût, avec toutefois des performances très variables selon les marques (Meek *et al.*, 2012).*

Tableau n°26 : **Avantages et inconvénients des différents paramètres techniques orientant le choix d'un piège photographique.**

Paramètres piège-photo	Avantages	Inconvénients
Time-lapse	Permet le suivi d'amphibiens (non détectables et lents)	Sollicite davantage les batteries Nombre important de photos à traiter
Vidéos	Donnée comportementale	Demande plus d'espace de stockage et use davantage les batteries
Résolution des photos	Identification d'espèces se ressemblant (amphibiens, fouine/martre)	-
Temps de déclenchement rapide	Nécessaire sur les zones de transit	-
Affichage de la température sur chaque cliché	Donnée supplémentaire (la température peut être un biais important pour les suivis)	-
Flashes de lumière blanche	Identification individuelle plus facile	Effarouche la faune et use davantage les batteries

7.1.5 Saisie et interprétation des données collectées

La saisie des données est une étape primordiale, en vue d'une analyse pertinente de la fréquentation des passages à faune. Il convient de prendre le temps nécessaire à cette saisie, en intégrant un maximum de paramètres, afin de ne pas s'imposer de limites pour les analyses qui suivront.

La table de données des passages doit comprendre au moins les paramètres les plus importants :

- un identifiant du piège photographique;
- l'espèce identifiée;
- la date et l'heure du passage;
- le nombre d'individus;
- le refus (demi-tour constaté d'un individu);
- des informations comportementales diverses (marquage olfactif, transport de nourriture, etc.).

D'autres paramètres peuvent être également renseignés :

- le nombre de déclenchements par passage (un passage peut provoquer plusieurs déclenchements);
- le nombre de prises de vues (un déclenchement peut engendrer une série de plusieurs photos);
- le sens de traversée;
- la température (donnée par le piège photographique).

Cette table de données de passage doit être complétée par les tables de pression d'observation (généralement en nombre de jour) et de données ouvrages (dimensions, type de suivi, etc.).

Dans le cas d'individus effectuant plusieurs allers-retours dans un laps de temps très réduit, chaque passage ne doit pas être noté, au risque qu'un seul individu provoque une surestimation des passages. Dans cette étude, les suivis ont généralement pris le parti de considérer que les passages successifs d'un même individu (ou groupe d'individus) dans un délai inférieur à 10 minutes (5 à 10 minutes en réalité selon les suivis) constituent une donnée unique de passage.

L'interprétation des refus est également délicate et diffère selon le positionnement du matériel de suivi à l'intérieur ou à l'extérieur de l'ouvrage. Il est également courant que le matériel de suivi, notamment le piège photographique, provoque le refus (Fagart *et al.*, 2016), étant donné la capacité des mammifères, en particulier les nocturnes, à entendre et voir le déclenchement des appareils (S. Fagart, *obs. pers.*; Meek *et al.*, 2014).

7.2 Suivis généralistes des mammifères (de la grande faune jusqu'aux petits carnivores)

7.2.1 Pièges photographiques et pièges à traces

Si avec les progrès technologiques de ces dernières années, le piège photographique tend à s'imposer face au piège à traces, ces procédés offrent tous deux des avantages (*Tableau n°27*) qu'il convient d'étudier afin d'opter pour le plus adapté au suivi.

Des études comparatives (Gužvica *et al.*, 2014, Mateus *et al.*, 2011) ont montré que pour les espèces allant de la mésofaune jusqu'aux petits carnivores, le piège photographique ou la vidéo-surveillance détectent davantage d'individus que les pièges à traces dans les ouvrages de type buses circulaires (jusqu'à 1,5 m de diamètre). Cet avantage se réduit généralement et peut basculer légèrement en faveur du piège à traces pour les ouvrages de plus grande largeur (passage cadre à partir de 2 m de largeur). Cela est dû à la faible capacité des détecteurs infrarouges à couvrir de grandes surfaces (Mateus *et al.*, 2011). Ce biais est variable selon la taille des espèces, les modèles de piège photographique et l'aptitude de l'opérateur à placer le matériel de façon optimale.

La lecture d'empreintes sur un piège à traces requiert une grande expérience de l'opérateur. Les possibilités de lecture dépendent largement de la granulométrie et de l'hygrométrie du substrat, elle-même conditionnée par les conditions météorologiques (vent, pluie, humidité, etc.). Pour un petit ouvrage canalisant les déplacements de la faune sur une faible largeur, une fréquentation importante engendre des chevauchements d'empreintes qui peuvent conduire à une sous-estimation des passages et de nombreuses empreintes non lisibles (ce cas de figure impose un contrôle plus régulier du piège à traces).

Des informations supplémentaires sont également mobilisables avec le piège photographique, comme la date et l'heure du passage (la température sur certains modèles), l'âge voire le sexe des individus, la taille des groupes, etc.



Cependant, le piège photographique sous-estime également le nombre de passages réels (individus se déplaçant rapidement, ou hors champ de détection) et il perd en efficacité lorsque la surface de suivi à couvrir augmente. Pour remédier à cela, l'emploi de plusieurs pièges photographiques, de couplage avec un piège à traces, ou d'utilisation d'un piège à vibrations peut être envisagé.

Tableau n°27 : **Comparaison des avantages et inconvénients des suivis réalisés par pièges à traces et par pièges photographiques.**

Problématique	Suivi par piège à traces	Suivi par piège photographique
Identification des espèces	Dépend de la lisibilité de la trace (aléatoire)	Dépend de la définition du piège photographique (fixe)
Estimation des passages	Sous-estimé (biais variable)	Sous-estimé (biais +/- fixe)
Travail de terrain nécessaire	Passage régulier au moins 1 fois/semaine	Passage régulier environ 1 fois/mois (voir moins selon autonomie)
Surface couverte	Taille du piège à traces adaptable	Limité par le champ de détection de l'appareil utilisé
Précision des données	Estimation des données pour une période (relevé)	Données datées et heureées.
Types de données	Plutôt qualitatives	Quantitatives

7.2.2 Informations techniques sur les pièges photographiques à capteur infrarouge

CAS DES MAMMIFÈRES SEMI-AQUATIQUES PEU DÉTECTABLES EN INFRAROUGE

Plusieurs études ont déjà évoqué les difficultés de détection des systèmes infrarouges pour les mammifères semi-aquatiques présentant une fourrure étanche dont la surface est détrempée (Kuhn & Meyer, 2009; Lerone *et al.*, 2011; Meek *et al.*, 2012).

En Charente-Maritime, un aménagement (passerelle flottante) non autoroutier, très fréquenté par la Loutre d'Europe a été suivi avec un piège photographique à capteur infrarouge. Sur la 2^e année de suivi, 74 données de traversées avérées (individu photographié) et 33 données de traversées suspectées (indices tels qu'épreintes, traces de plongée, etc.) de la Loutre ont ainsi été collectées (obs. pers. S. Fagart).

L'analyse de ces données combinée au relevé de la température donné par le piège photographique est présentée Figure n°18.

Remarque : les données suspectées sont observées lorsque 2 déclenchements successifs du piège photographique (souvent provoqués par le Rat surmulot) mettent en évidence des traces de passages de Loutre (dépôts d'épreinte, traces de plongée) sans que le matériel n'ait déclenché.

Il convient d'avoir certaines réserves sur les données de Loutres non détectées, car celles-ci ne relèvent d'aucun protocole mis en place, mais de l'exploitation des données disponibles, en l'occurrence les déclenchements journaliers (et potentiellement irréguliers) du piège photographique par les passages de Rat surmulot.

Il apparaît néanmoins que sur une année complète, le nombre de données de Loutres détectées diminue avec la hausse de la température, et qu'à l'inverse il n'y a pas de données de Loutres non détectées en dessous de 10 °C. Ceci corroborerait l'hypothèse d'une perte de détection lorsque la température ambiante augmente, c'est-à-dire lorsque le différentiel entre la température externe de la Loutre et celle de l'air ambiant diminue. La Loutre d'Europe serait ainsi davantage détectable en hiver qu'en été avec des pièges photographiques infrarouges.

Afin de répondre précisément à cette question, un piège photographique à vibration est actuellement en test et développement sur le réseau ASF, dans une buse circulaire le long d'un ouvrage hydraulique dont le cours d'eau est fréquenté par la Loutre d'Europe.

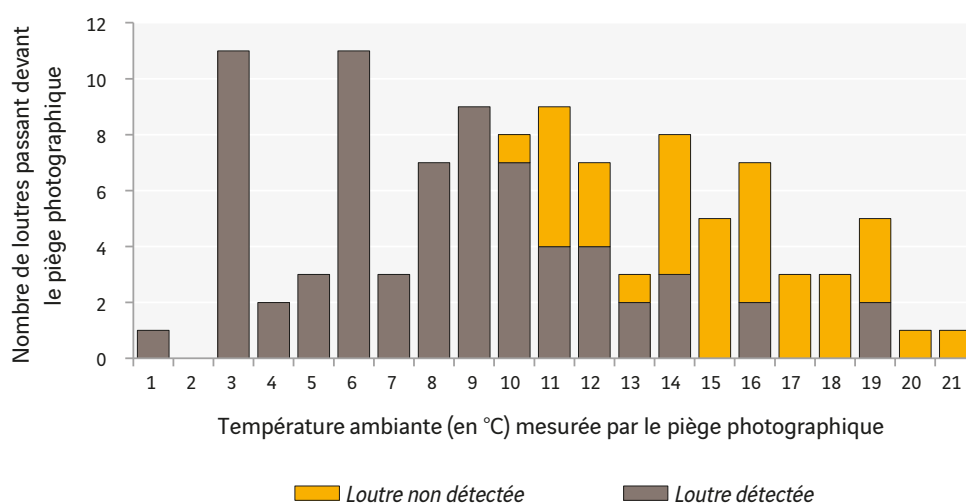


Figure n°18 : **Nombre de loutres détectées et non détectées en fonction de la température de l'air ambiant**
(source : données issues d'une étude LPO France hors suivis autoroutiers, Fagart & Jourde, 2014).

ORIENTATION DU PIÈGE PHOTOGRAPHIQUE : CONNAÎTRE LE SYSTÈME DE DÉTECTION POUR OPTIMISER LE SUIVI

L'orientation du piège-photographique est capitale pour optimiser l'efficacité de détection, et doit être choisie en fonction des caractéristiques propres à chaque modèle.

En règle générale, il convient de garder un recul suffisant (environ 3 m) entre le piège photographique et la zone potentielle de détection (Figure n°19). Lors du passage rapide d'un animal devant un piège photographique, plus l'individu sera proche du piège-photographique (là où le faisceau infrarouge est le moins large), moins celui-ci aura de chances d'apparaître sur la photographie selon le temps de déclenchement de l'appareil.

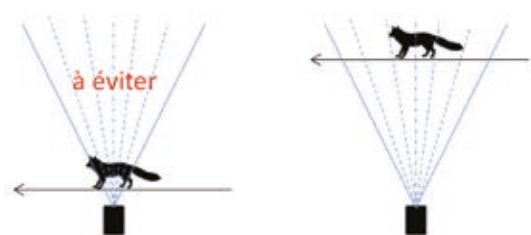


Figure n°19 : **Vue aérienne de la position préférentielle d'un piège photographique placé perpendiculairement à l'axe de transit de la faune.**

Dans les ouvrages étroits (moins de 4 m), il est donc préférable d'orienter l'axe du piège photographique parallèlement à l'axe de traversée de l'ouvrage. Selon les modèles de piège photographique, les zones de détections sont différentes (Meek *et al.*, 2012). Par exemple, le modèle Reconyx HC600 comporte 6 zones verticales de détection (Figure n°21). Pour être détecté, un individu doit passer d'une zone à une autre.

La disposition de ces bandes verticales suppose que le piège photographique est dans la plupart des cas plus sensible à un déplacement « horizontal » devant le piège photographique qu'à un mouvement d'éloignement/rapprochement face au piège photographique. Pour une détection optimale, l'axe de l'objectif doit être théoriquement légèrement dévié (environ 20°) de l'axe de transit formé par l'ouvrage (Figure n°20).



Figure n°20 : **Vue aérienne du placement optimal théorique pour le Reconyx dans des ouvrages de faible largeur.**

Remarque : le positionnement de chaque piège photographique doit être adapté selon les caractéristiques techniques du modèle utilisé.

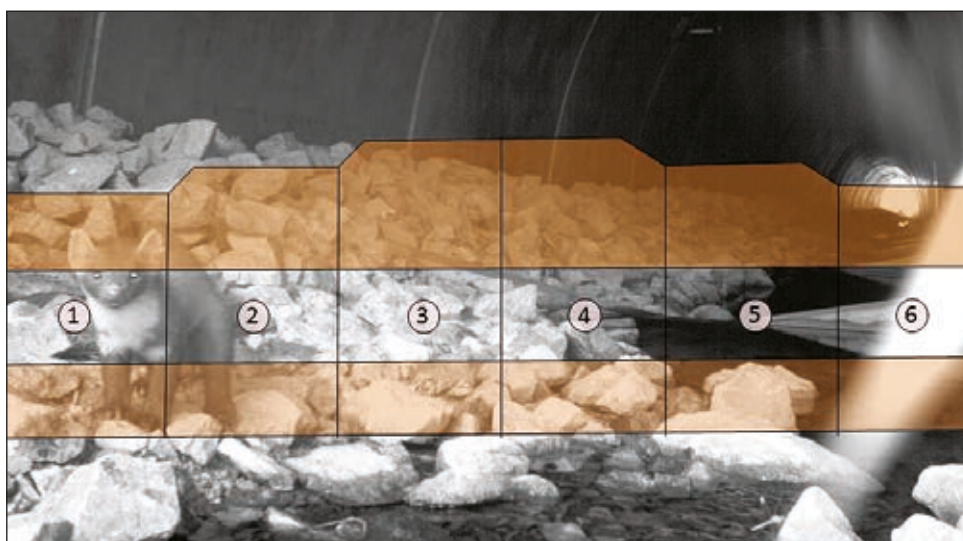


Figure n°21 : **Système Reconyx de détection par bande. La Martre des pins est détectée, car elle passe de la zone 2 à la zone 1** (photo de fond © FRAPNA Loire, FDC Loire, VINCI Autoroutes).

7.2.3 Exemple de protocole de suivi d'ouvrage d'une largeur de moins de 2 m

Comme évoqué précédemment, les suivis de petits ouvrages (type buses circulaires) d'une largeur inférieure à 2 m sont plus efficaces avec des pièges photographiques.

Un seul piège photographique ne détecte pas 100 % des passages. Des biais persistent pour les espèces se déplaçant rapidement (*Belette*, *martes*), les petites espèces (micromammifères) et les espèces peu ou pas détectables en infrarouge (mustélidés semi-aquatiques, amphibiens, reptiles). Bien positionné, le piège photographique est très efficace pour la moyenne faune (*Renard*, *Blaireau*, etc.), et fournit une idée assez précise de la fréquentation par les espèces plus petites (*Hérisson*, *martes*).

Les nombreux suivis réalisés dans des petits ouvrages permettent d'établir une liste de conseils en vue d'optimiser ce type de suivi :

- l'installation du piège photographique à l'intérieur de l'ouvrage (plutôt qu'à l'extérieur) permet de s'affranchir des éléments extérieurs (gradient de température important, pluie, vent, végétation, vandalisme, etc.), et de mieux visualiser les franchissements;
- en intérieur, le matériel est placé de façon préférentielle à environ 5 m d'une extrémité de l'ouvrage. Des tests comparatifs menés en Charente-Maritime mettent en évidence une efficacité réduite d'un appareil placé au milieu d'un écoduc (jusqu'à 40 % de détection en moins), peut-être en lien avec une vitesse de déplacement de la faune plus importante au milieu de l'ouvrage qu'aux extrémités (*S. Fagart, obs. pers.*);
- dans des ouvrages de moins de 1,5 m de hauteur, l'appareil peut être placé au plafond avec une inclinaison adaptée (entre 10 et 20 degrés), sinon fixé à une paroi latérale à environ 50 cm de hauteur (en fonction des espèces cibles);
- l'objectif de l'appareil est orienté vers l'intérieur de l'ouvrage (côté le plus long) afin d'avoir une température de référence assez constante en arrière-plan et de mieux visualiser les traversées;

- **l'inclinaison et l'orientation du piège photographique sont déterminantes** pour l'efficacité du suivi. Ces paramètres doivent être adaptés en fonction des différents modèles de piège photographique, et doivent être testés et ajustés à chaque configuration de terrain (en mode « Test »);
- **une pierre ou divers débris naturels peuvent être placés devant le piège photographique** (là où la détection est optimale), ce relief marqué et reniflé par la faune permet de la ralentir et d'augmenter les chances de détection/identification.

APPORT DU PIÈGE À VIBRATION

Le piège à vibration, testé en parallèle d'un piège photographique infrarouge de dernière génération (*Reconyx HC 600*) s'avère être plus efficace que le système infrarouge, tant en matière de diversité spécifique (16 espèces détectées contre 8) qu'en nombre de détections (+ 35 %).

Les espèces détectées uniquement par le piège à vibration sont l'herpétofaune (*Couleuvre verte et jaune*, *Crapaud épineux*, et *Anoure sp.*), le *Putois d'Europe*, la *Loutre d'Europe*, les *micromammifères sp.*, et de façon plus anecdotique vis-à-vis de l'ouvrage, 2 espèces d'oiseaux venues se poser sur le tapis (*le Troglodyte mignon* et *le Rougegorge familier*).

Les résultats d'une période-test de 72 jours mettent bien en évidence les biais de détection soupçonnés pour les petits carnivores puisque le gain de détection pour ces espèces atteint par exemple + 35 % pour les *martes* et + 45 % pour la *Genette*.

Il faut noter que le piège photographique connecté au système de détection de la vibration, peut également déclencher en infrarouge - son dispositif initial restant fonctionnel - mais que ce dernier a été shunté pendant les tests.

7.2.4 Exemple de protocole de suivis d'ouvrage d'une largeur supérieure à 2 m ou en milieu ouvert (écopont)

Pour les ouvrages d'une largeur supérieure à 2 m, le plus souvent de type PIGF, ouvrage d'art aménagé ou écopont, les suivis par piège photographique sont plus difficiles à mettre en place. Deux principaux problèmes sont à prendre en considération afin d'optimiser ces suivis :

- **la couverture de la largeur totale de l'ouvrage :** ce problème peut être résolu par le positionnement judicieux de plusieurs pièges photographiques ciblés respectivement sur la grande faune et la petite faune, ou par la combinaison de pièges photographiques et de pièges à traces ;
- **la prise en compte des éléments extérieurs :** en extérieur et en milieu assez ouvert notamment, de nombreux éléments sont à prendre en considération lors de l'installation des pièges photographiques (M. Gervais, *comm. pers.* ; S. Fagart, *obs. pers.*) :
 - éviter les zones de végétation dense et haute (déclenchements avec le vent, vision limitée),
 - éviter d'aligner l'objectif dans l'axe du lever/coucher de soleil,
 - éviter d'orienter l'objectif sur des surfaces en eau si celles-ci sont susceptibles de refléter le soleil.

INFLUENCE DE LA POSITION DES PIÈGES PHOTOGRAPHIQUES POUR LE SUIVI DE LA PETITE FAUNE

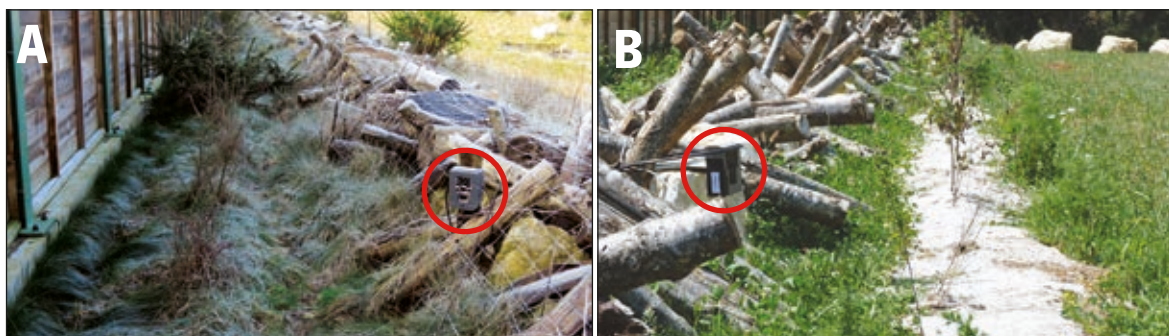
La petite faune préfère généralement se déplacer le long de structures paysagères plutôt qu'en milieu ouvert. Sur les écoponts, de nombreuses données (S. Fagart, *obs. pers.*) mettent en évidence que la petite faune longe généralement les structures existantes telles que les andains, les palissades ou les structures béton. Les pièges photographiques qui ciblent la petite faune sur les écoponts doivent donc être positionnés le long de ces structures (*Photos n°94A et Photos n°94B*) afin de maximiser les chances de détecter leurs déplacements.

Pour exemple, sur un écopont de l'A10 en Charente-Maritime, deux suivis par piège photographique sont menés parallèlement :

- 1 suivi axé sur la grande faune (principalement Cerf élaphe, Sanglier et Chevreuil européen) est mené grâce à 2 pièges photographiques fixés en vis-à-vis sur les 2 palissades de l'écopont à environ 1,30 m de hauteur, sans inclinaison (*Photo n°93*). Cette configuration sur un écopont de 18,5 m de largeur permet de détecter la grande faune de façon quasi exhaustive ;
- 1 autre suivi a été mis en place afin de cibler la petite faune. Les pièges photographiques ont été placés le long des structures (andain et palissades) à une hauteur de 30 à 70 cm du sol (*Photos n°94AB*).



Photo n°93 : Positionnements de 2 pièges photographiques en vis-à-vis pour suivre la grande faune. (@FDC 17, LPO France).



Photos n°94 : **Positionnements typiques de pièges photographiques destinés à suivre la petite faune le long d'andains sur un écopont.** (© LPO France).

Concernant le suivi petite faune, de nombreux problèmes de détection et de déclenchements surviennent à partir du printemps jusqu'à la fin de l'été lorsque la hauteur de la végétation devient importante, rendant très compliqué le fonctionnement des pièges photographiques.

En plus du Cerf, du Chevreuil et du Sanglier, le dispositif de suivi grande faune a détecté également le Lièvre, le Renard et le Mulot/Souris. Parallèlement, le suivi par piège photographique ciblé sur la petite faune a détecté toutes ces espèces, auxquelles s'ajoutent 6 espèces : le Blaireau, la Fouine/Martre des pins (Photos n°95A), le Hérisson (Photos n°95B), le Putois (Photos n°95C), le Ragondin et le Rat.

Malgré des périodes d'inefficacité (végétation, météo), les pièges photographiques positionnés pour la petite faune se révèlent bien plus efficaces pour la détection de la petite faune que le dispositif grande faune.

Par contre, le dispositif de suivi grande faune permet d'estimer le nombre d'individus transitant par l'écopont pour les plus grandes espèces (Cerf, Sanglier, Chevreuil), ce qui est impossible avec le dispositif petite faune qui autorise davantage un inventaire des espèces qu'un comptage des passages.



Photos n°95 : **Fouine (A), Hérisson d'Europe (B) et Putois d'Europe (C) traversant un écopont sur l'A10 : 3 espèces non détectées lors des suivis grande faune.** (© LPO France, VINCI Autoroutes).

7.3 Suivis spécifiques (petite faune)

7.3.1 Micromammifères

CAS DES OUVRAGES SOUTERRAINS

Les micromammifères ont des domaines vitaux peu étendus (Peter *et al.*, 2013). Ils sont donc peu amenés et plutôt réticents (Yanes *et al.*, 1995) à franchir les ouvrages autoroutiers souterrains qui mesurent généralement plus de 30 m de long. L'absence de végétation ou de « zone refuge » les rend très vulnérables et donc peu enclins à se déplacer à découvert sur de telles distances (Photo n°96).

L'interprétation des données de micromammifères obtenues par piège photographique est délicate. Pour les plus grosses espèces comme le Rat surmulot, les photos laissent peu de doutes quant à la traversée d'ouvrages souterrains. Par contre, pour les petites espèces (Mulots, Musaraignes, Campagnols, Souris, etc.), leur faible détection et leur grande vitesse de déplacement (possibilité de demi-tour très rapide) aboutissent souvent à des données difficilement interprétables (traversée de l'ouvrage incertaine).

Si un suivi par capture (type piège INRA) semble peu adapté à ce type d'ouvrage où les traversées de micromammifères sont probablement assez occasionnelles, l'utilisation d'un piège photographique à capteur de vibration semble tout à fait adaptée pour mieux évaluer la fréquentation de ces ouvrages par les micromammifères. En 2015, dans une buse de 1,2 m de diamètre et de près de 60 m de longueur, ce dispositif a détecté 2 passages de micromammifères (Photo n°97) en 2 mois de suivi effectif, alors que le piège photographique à détection infrarouge n'en a détecté aucun en trois ans et demi de suivi ininterrompu.



Photo n°96 : **Campagnol prédaté par un Renard dans un écoduc de 41 m de long.**
(© LPO France, VINCI Autoroutes).



Photo n°97 : **Photo déclenchée par le passage d'un micromammifère sur un dispositif sensible aux vibrations, dans un écoduc.**
(© LPO France, VINCI Autoroutes).

CAS DES GRANDS OUVRAGES (PIGF* ET ÉCOPONT)

Dans les ouvrages ouverts (écoponts) et semi-ouverts (type PIGF) où la végétation ou des zones refuges (andains) sont présentes, la problématique est bien différente, car les micro-habitats permettent généralement l'établissement de petites populations à l'intérieur ou aux abords immédiats des ouvrages.

Dans ce cas, des sessions de piégeage avec un protocole précis de capture sur l'ouvrage et à ses abords, permet généralement d'avoir une idée des espèces utilisant régulièrement l'ouvrage (cf. chapitre 6.1, page 90 ; Movia & Blache, 2014).

7.3.2 Suivis herpétologiques

Les animaux « à sang froid » ne sont pas ou très peu détectables par les pièges photographiques infrarouges.

Les suivis de ces espèces sur les grands ouvrages (type écoponts) se limitent souvent à des observations ponctuelles réalisées pendant des sessions de recherches spécifiques (cf. paragraphe 6.3.2, page 96).

UTILISATION DU MODE TIME-LAPSE

Pour le suivi des petits ouvrages souterrains, une solution mise en œuvre sur l'autoroute A7 par la LPO Drôme est le piège photographique prenant une photographie toutes les minutes (ce mode time-lapse n'est pas présent sur tous les modèles de piège photographique). Ce type de suivi est possible et efficace notamment pour les amphibiens, ceux-ci se déplaçant suffisamment lentement pour rester dans le champ de vision du piège photographique durant au moins 1 minute (intervalle de temps minimum du time-lapse).

Ce type de relevé sollicite davantage le piège photographique, ce qui a pour conséquence de diminuer son autonomie. Un relevé est à prévoir environ toutes les 2 à 3 semaines selon le type de batteries utilisées (Movia, déc. 2011). De plus, la quantité de photographies à visionner est importante et demande du temps : pour un déclenchement à la minute, une semaine de suivi produit environ 10 080 photos.

Pour les suivis des reptiles dans les petits ouvrages, l'utilisation du time-lapse semble peu adaptée, étant donné la trop grande vitesse de déplacement des reptiles.

Par contre, la programmation d'un time-lapse aux horaires les plus chauds de la journée pourrait être utile pour des suivis spécifiques aux reptiles, par exemple sur les écoponts, en orientant un piège photographique sur une zone connue ou potentielle de thermorégulation (plaque, andain).

RÉSULTATS RÉCENTS DU PIÈGE PHOTOGRAPHIQUE À CAPTEUR DE VIBRATION

Le piège à vibration (équipé d'un capteur de pression) a été initialement développé pour répondre à la problématique de la mauvaise détection de la Loutre par les pièges photographiques infrarouges (Kuhn & Meyer, 2009 ; Lerone et al., 2011). Il est en cours de développement depuis septembre 2014 sur le réseau ASF en Charente-Maritime (Photo n°98) (Fagart & Heurtebise, 2016).

Ce dispositif s'avère être efficace pour les Anoures et très probablement pour les Urodèles et les Reptiles.



Photo n°98 : Système de piège photographique à capteur de vibration (tapis) mis en place dans un écoduc de l'A10. (© LPO France, VINCI Autoroutes).

Du 11 septembre au 14 octobre 2014, soit une période de 33 jours, 6 déclenchements d'amphibiens (6 Anoures) ont été détectés par le piège à vibration (*Photos n°99*). Avant cela, aucune donnée d'amphibiens n'avait été collectée sur ce site en 2 ans et demi de suivi ininterrompu par piège photographique infrarouge.

À la suite de cette période automnale propice au transit des amphibiens, de nombreux tests, modifications et améliorations du dispositif ont altéré la continuité du suivi. Mais ce système semble d'ores et déjà être particulièrement efficace pour les anoures dont les déplacements fréquents par sauts les rendent très détectables au capteur de vibration.

À l'été 2015, une version plus évoluée de ce dispositif a détecté une couleuvre verte et jaune (*Photo n°100*), là où le suivi par piège photographique infrarouge n'en a détecté aucune en 3 ans 1/2 de suivi.

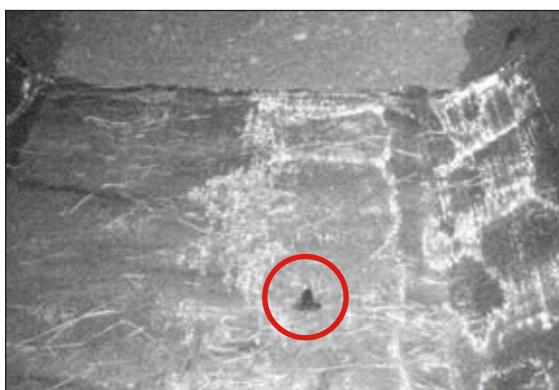
Ce dispositif innovant a obtenu un Prix innovation VINCI en 2015 (Activité Centralisées, catégorie Développement Durable).

7.3.3 Chiroptères

Le suivi des chiroptères par enregistrement ultrasonore est réalisable dans les ouvrages fermés (ouvrages hydrauliques, écoducs, etc.) qui permettent l'enregistrement uniquement des individus traversant l'ouvrage et isolent suffisamment de ceux se déplaçant le long de l'autoroute sans traverser l'ouvrage.

Les suivis étudiés mettent en évidence une fréquentation souvent insoupçonnée de ce type d'ouvrage, principalement par les Rhinolophes. La fonctionnalité de certains de ces ouvrages peut donc être primordiale pour certaines colonies de Rhinolophes, dont les espèces sont connues pour être parmi les Chauves-souris les plus impactées par les collisions routières.

Dans les milieux ouverts (écoponts) ou semi-ouverts (PIGF de faible longueur), ce type de suivi ne permet généralement pas d'interpréter la trajectoire des chiroptères et de conclure à une traversée de l'ouvrage (*cf. paragraphe 6.4.1, page 101*), sauf pour les espèces



Photos n°99 : **Anoure indéterminée (dans le cercle rouge) et Salamandre tachetée (à droite), détectées par le piège à vibration.** (© LPO France, LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

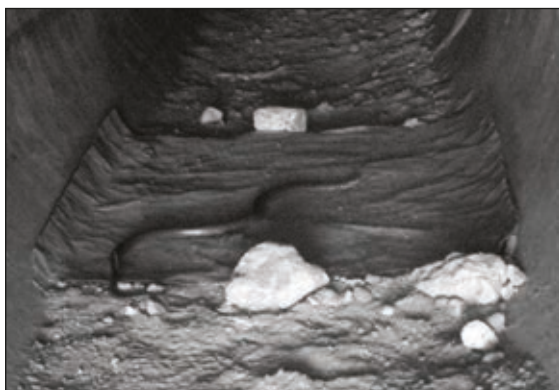


Photo n°100 : **Couleuvre verte et jaune détectée par le piège photographique à capteur de vibration.** (© LPO France, VINCI Autoroutes).



Photo n°101 : **Loutre détectée par le piège à vibration.** (© LPO France, VINCI Autoroutes).

émettant des signaux d'écholocation de très faible intensité (Rhinolophes, Oreillard, voire certains Murins).

De ce fait, les suivis de chiroptères sur des ouvrages semi-ouverts à ouverts restent à ce jour très expérimentaux.

La capture de chiroptères avec filets japonais (en plus d'être intrusive) ne semble pas être une technique efficace dans des milieux souvent trop ouverts où les chiroptères détectent et évitent facilement les filets.

PERSPECTIVES

L'utilisation de caméras thermiques (*cf. paragraphe 6.4.3, page 105*) ou de visions nocturnes permettrait d'identifier plus précisément le comportement des chiroptères vis-à-vis des écoponts, leur fréquence d'utilisation, voire de comparer les trajectoires avec celles observées sur un tronçon sans écopont ou avec un passage supérieur routier.

L'utilisation de plusieurs microphones (antenne acoustique, trajectographie) permettraient dans certains cas de donner un sens de déplacement aux signaux enregistrés, voire de visualiser les déplacements en 3D.

7.3.4 Suivis vidéo : avantages et inconvénients

AVANTAGES

Des suivis vidéo ont été réalisés sur de nombreux ouvrages, principalement dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier, et le plus souvent en complément de suivis photographiques. Ces suivis complémentaires ciblent généralement l'entrée des ouvrages afin d'observer le comportement de la faune face à l'ouvrage (hésitation, évitement, refus, etc.).

Par exemple, en Charente-Maritime, le suivi vidéo sur l'entrée d'un aménagement en écoduc a mis en évidence que l'absence de bavolet sur les clôtures petite faune permet aux individus grimpeurs (Fouine, Martre des pins, Genette commune) de franchir aisément les clôtures. Certains individus

(Genette commune) semblent même inscrire ce franchissement de clôture dans des déplacements routiniers (S.Fagart, *obs. pers.*). Il n'est par contre pas possible de savoir si ces déplacements sont voués à franchir l'autoroute, ou plutôt à exploiter une zone d'alimentation incluse dans l'emprise autoroutière clôturée (zone boisée dans ce cas précis).

Également en Charente-Maritime, un piège-vidéo orienté sur l'entrée d'un ouvrage hydraulique autoroutier a permis de mettre en évidence l'utilisation de cet ouvrage en eau par la Loutre et un individu présentant le phénotype du rare Vison d'Europe.

Dans certains cas, la vidéo peut s'avérer être un outil de communication plus ludique et plus captivant que la photographie.

INCONVÉNIENTS

Les inconvénients de l'utilisation du mode vidéo restent cependant nombreux. D'un point de vue technique, la prise de vidéos use plus rapidement les batteries que la prise de photos (Meek *et al.*, 2012), et ce d'autant plus pour des vidéos prises de nuit (*source : Guide d'utilisation Cuddeback*). L'espace mémoire nécessaire au stockage des vidéos est beaucoup plus important que pour les photos. L'utilisation du mode vidéo a donc pour effet direct de réduire considérablement l'autonomie du matériel (batterie, mémoire).

D'un point de vue pratique, la visualisation et la saisie de données est beaucoup plus rapide à partir de photographies qu'à partir de vidéos. Ce point est très important, car la saisie représente une part importante du travail de suivi.

Dans le cas de suivis faunistiques d'ouvrages autoroutiers dont le but est d'évaluer la fréquentation de l'ouvrage par la faune sur des pas de temps assez importants (plusieurs mois), l'utilisation de prises de vues successives (3 à 5 photographies) est la plus pertinente. La vidéo est à privilégier pour des besoins précis de données comportementales ou encore sur des suivis courts ou bien spécifiques.

7.4 Les techniques de suivi à développer à l'avenir

Le piège photographique, largement utilisé aujourd'hui, permet dans des conditions favorables d'utilisation, d'évaluer efficacement la fréquentation d'ouvrages pour l'ensemble des espèces détectables avec ce matériel. Les analyses statistiques de données collectées sur plusieurs années peuvent mettre en évidence des phénomènes d'accoutumance, de saisonnalité ou encore d'évolution du taux de refus pour ces espèces (Fagart *et al.*, 2016).

Par contre, sans individualisation des passages, il est difficile de montrer l'efficacité réelle des ouvrages, qui dépend du nombre d'individus différents de chaque espèce empruntant un ouvrage.

Plusieurs techniques de suivis visent l'individualisation des animaux :

- les **marqueurs moléculaires** lisent le génotype des individus à partir de matériel génétique récolté sur le terrain (pièges à ADN). Cette technique permet d'obtenir de nombreuses informations : nombre d'individus, sexe/âge-ratios, saisonnalité d'utilisation, parentés génétiques, etc. ;
 - *inconvénient : le coût actuel élevé des analyses génétiques, en baisse cependant d'année en année.*
- le **marqueur PIT tag** (Passive Integrated Transponder) est un émetteur-répondeur passif. Il détecte et identifie automatiquement chaque individu équipé et passant à proximité d'un détecteur ;
 - *inconvénient : l'individu doit être capturé pour être équipé du transpondeur.*
- les techniques de **capture-marquage-recapture** estiment la taille d'une population et identifient certains déplacements (traversée d'ouvrage par ex.). Elles s'appliqueraient ici davantage à la petite faune (micromammifères, amphibiens, etc.) ;
 - *inconvénient : suivi intrusif et dérangent pour la faune (déplacements perturbés).*
- les **logiciels d'identification automatique** de photos permettent de traiter rapidement et automatiquement un nombre important de photos (individualisation d'amphibiens, identification des espèces de mammifères).

D'autres types de suivis pourraient quant à eux améliorer la détection de certains groupes d'espèces difficiles à suivre avec les techniques de suivis classiques :

- le **piège photographique à capteur de vibration** (actuellement en test et développement dans certains ouvrages Vinci Autoroutes) permet déjà d'augmenter d'environ 40 % le taux de détection des petits carnivores (*martes*, Genette) par rapport à un piège photographique à détection infrarouge (S. Fagart, *obs. pers.*). Il autorise surtout la détection des animaux à « sang froid » (Anoures et Reptiles), et augmente considérablement le taux de détection chez les micromammifères ou les mustélidés semi-aquatiques possédant une fourrure isolante (Loutre d'Europe) ;
 - *inconvénient : l'animal doit passer sur la zone sensible aux vibrations (tapis ou grille), dispositif adapté donc seulement aux ouvrages de faible largeur (inférieure à 2 m).*
- la **caméra thermique** est une solution, notamment pour les suivis du comportement de vol des chiroptères à proximité des infrastructures autoroutières ;
 - *inconvénients : son coût important, son autonomie réduite quand la caméra fonctionne sur batterie (quelques heures).*
- la **trajectographie** (modélisation 3D des trajectoires) est en développement dans certains laboratoires et bureaux d'études. Une antenne équipée de plusieurs microphones permet la localisation de sources acoustiques. L'enregistrement des signaux d'écholocation des chiroptères peut donc permettre de déterminer leurs trajectoires de vols. L'avenir de cette technologie très prometteuse est à suivre de près ;
 - *inconvénient : la technologie reste en partie à développer.*

7.5 Éléments d'optimisation de la fonctionnalité des aménagements

Compte tenu du nombre important de paramètres non mesurables (biais de suivi, accessibilité, possibilité de franchissement voisine de l'ouvrage, etc.), et du nombre réduit de certains types d'ouvrages, l'analyse statistique ne met pas toujours en évidence de façon significative les paramètres techniques influant sur la fonctionnalité des ouvrages. Par contre, certains chiffres, même s'ils ne sont pas significatifs, associés au retour d'expérience de l'ensemble des contributeurs, permettent d'extraire certains paramètres agissant sur la fréquentation des ouvrages.

7.5.1 Dimensionnement des ouvrages

INFLUENCE NON SIGNIFICATIVE DE LA LONGUEUR SUR LA FRÉQUENTATION D'OUVRAGES « STANDARDS »

La longueur des ouvrages est souvent évoquée comme un facteur limitant leur fréquentation par la faune. Un passage à faune autoroutier mesure en général entre 35 et 40 m de long. Cependant, dans des configurations particulières (relief, dénivelé, etc.), la longueur de ces ouvrages peut atteindre 80 m de long et parfois plus de 100 m dans le cas d'ouvrages non dédiés.

Les analyses réalisées pour l'étude de Fagart et al. (2016) concernent 2 années de suivis de 9 écoducs d'une longueur variant de 41 m à 71 m. Elles ont montré que la longueur n'influait pas significativement la fréquentation des ouvrages, et ce quelles que soient les espèces (pour les espèces les plus représentées : *martes*, *Blaireau*, *Renard*, *Genette*). Cette étude s'appuie de plus sur des suivis relativement homogènes : même protocole

de suivi, même type d'ouvrage de buse sèche (biais de détection minimisé).

Dans la présente étude, pour 2 échantillons d'ouvrages correspondant à des suivis considérés comme relativement fiables et homogènes, les analyses statistiques ne mettent pas non plus en évidence des différences significatives de fréquentation des ouvrages selon leur longueur. Ces deux échantillons sont des écoducs variant de 31 m à 75 m de long, et les ouvrages hydrauliques aménagés variant de 48 m à 100 m de long.

La difficulté de ces analyses repose sur la pertinence des échantillons disponibles. Idéalement, il faudrait un échantillon important d'ouvrages de même type, avec des suivis identiques, et des longueurs bien différentes. Or, les longueurs d'ouvrages sont souvent assez « standards », et les ouvrages de grandes longueurs sont peu nombreux. Le paragraphe suivant traite en particulier de la fréquentation des ouvrages de très grandes longueurs.

OUVRAGES DE TRÈS GRANDES LONGUEURS : DES LIMITES PERCEPTIBLES

Sur l'A89 exclusivement, le relief a parfois imposé la réalisation d'ouvrages de très grandes longueurs. 9 ouvrages (5 ouvrages hydrauliques aménagés et 4 ouvrages hydrauliques non dédiés à la faune), d'un diamètre compris entre 1,35 m et 9 m, font ainsi plus de 80 m de long. Même si la longueur de ces ouvrages n'est peut-être pas la seule cause, la fréquentation moyenne sur ces 9 ouvrages, de l'ordre de 49,8 passages/an/ouvrage, est assez faible et peu diversifiée avec 6 espèces (Tableau n°28).

Tableau n°28 : Liste des espèces fréquentant les ouvrages de plus de 80 m de long sur l'A89. Nombre de passages par espèce, nombre d'ouvrages utilisés par chaque espèce, moyenne de passages par an pour les ouvrages fréquentés par l'espèce et pourcentage des passages totaux détectés.

Espèces	Nombre de passages	Nombre d'ouvrages utilisés	Moy. fréq. (pass.an ⁻¹)	Part des passages totaux détectés
Fouine/Martre	241	6/9	48,3	72 %
Renard roux	53	3/9	67,4	16 %
Ragondin	30	5/9	34,7	9 %
Blaireau Européen	4	2/9	7,0	1 %
Hermine	3	1/9	11,4	1 %
Écureuil roux	3	1/9	11,4	1 %

Les espèces principalement présentes dans 6 de ces 9 ouvrages sont les *martes* (Fouine et Martre, non différenciées ici), espèces largement répandues dans la région concernée. Mises à part les *martes* qui cumulent près des 3/4 de l'ensemble des passages toute faune confondue, et la présence étonnante de l'Écureuil roux, les autres espèces détectées sont des espèces fouisseuses habituées aux terriers (Renard, Ragondin, Blaireau, et Hermine) et donc a priori plus enclines à emprunter des ouvrages dont l'effet tunnel est important. La Genette, les Lagomorphes*, le Hérisson d'Europe ainsi que la plus grande faune (Chevreuil, Sanglier) n'ont pas été détectés dans ces ouvrages. Les 2 plus longs ouvrages hydrauliques étudiés, de 105 m et 140 m de long et de 1,35 m de diamètre, sont utilisés exclusivement par les *martes sp.*

Pour rendre ces ouvrages de très grande longueur plus attractifs et plus fonctionnels, la présence de zones refuges (andains, souches, etc.) ou de puits de lumière pourrait être envisagée.

La longueur des ouvrages n'est probablement pas la seule cause pour expliquer cette fréquentation assez faible. Un des 9 ouvrages (de dimensions 9 x 9 x 100 m) est par exemple situé à environ 270 m d'un tunnel autoroutier de 4 km de long, offrant donc une possibilité à la faune de franchir l'autoroute, en évitant la traversée de l'ouvrage en question.

FONCTIONNALITÉ DES OUVRAGES HYDRAULIQUES AMÉNAGÉS : INFLUENCE DE LA LARGEUR DU PIED SEC

Le paragraphe 5.3.3, page 83, permet d'étayer l'hypothèse probable de la relative dépendance de la fonctionnalité vis-à-vis de l'accessibilité des ouvrages. Cette accessibilité, impossible à quantifier sur le terrain, peut se traduire par plusieurs paramètres, la largeur du pied sec étant un des plus évidents. La classification du SETRA répertorie les différents ouvrages hydrauliques selon notamment le type et la largeur du pied sec (cf. Tableau n°5, page 52).

Les résultats de fréquentation des ouvrages par les espèces les plus détectables (hors micromammifères* et herpétofaune*), classés selon la classification du SETRA, permettent d'obtenir des résultats intéressants (Figure n°22).

Le seul ouvrage IIIa (pied sec submersible) est peu pertinent à interpréter. Par contre, la différence de fréquentation entre les ouvrages IIIb (ouvrage hydraulique avec pied sec étroit) et IIIc (ouvrage hydraulique de taille moyenne avec pied sec supérieur à 1,5 m) est significative.

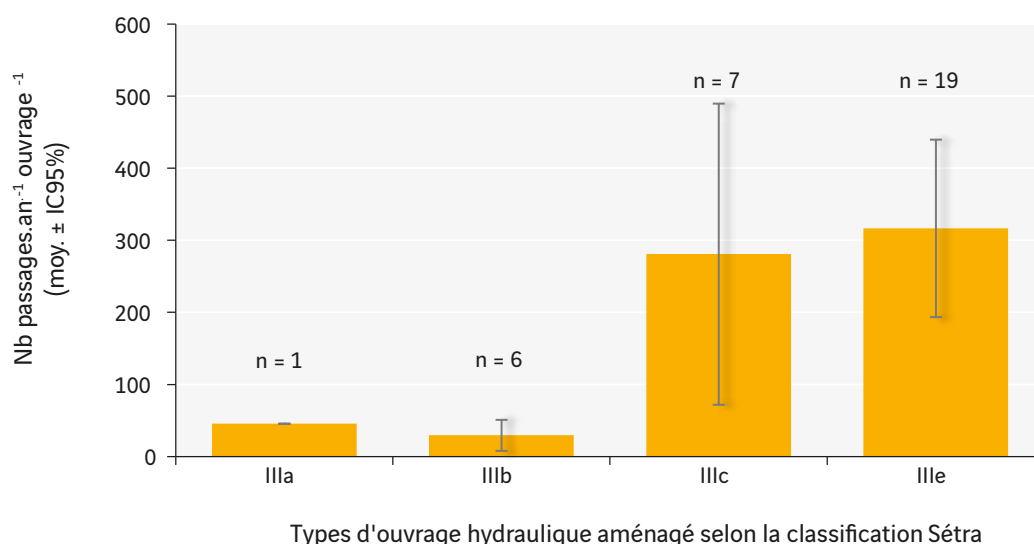


Figure n°22 : Comparaison de la fréquentation moyenne ($\pm 1C95\%$) par la faune (hors micromammifères et herpétofaune) des différents types d'ouvrages hydrauliques aménagés selon la classification du SETRA (SETRA, 2005), et nombre d'ouvrages pris en compte.

Pour rappel : **Type III** (passage hydraulique mixte de petite dimension) :

a : OH de petite taille avec pied sec submersible. / **b** : OH avec pied sec étroit. / **c** : OH de taille moyenne avec pied sec supérieur à 1,5 m. / **d** : OH de grande taille fonctionnel pour petite et grande faune. / **e** : Conduit sec placé à proximité de l'OH.

Ces classes d'ouvrages sont en fait intimement liées aux types d'ouvrages puisque 100 % des ouvrages IIIc sont des banquettes et 65 % des ouvrages IIIb sont des encorbellements. Ceci est donc à mettre en lien avec le propos du *paragraphe 5.3.3, page 83*, sur la fonctionnalité réduite des encorbellements par rapport aux banquettes.

Les ouvrages IIIe (écoduc le long d'un cours d'eau) sont quant à eux un peu à part, et touchent généralement un panel d'espèces un peu plus important pour des raisons évoquées précédemment (*cf. paragraphe 5.3.3, page 83*).

7.5.2 Emplacement et accessibilité des aménagements vis-à-vis des corridors écologiques

Un des 1^{er} critères de fonctionnalité d'un aménagement est son emplacement par rapport aux corridors de déplacements de la faune.

Les analyses du *paragraphe 5.2.4, page 74* tendent à montrer assez logiquement que les ouvrages situés dans un corridor naturel de déplacement (cours d'eau) sont davantage utilisés par la faune et par un nombre plus important d'espèces. Les ouvrages situés dans des boisements ou des zones de cultures sont plus difficilement trouvés par la faune, moins canalisée dans ces milieux.

Si le positionnement des ouvrages autoroutiers est généralement bien optimisé, en tenant compte également des nombreuses contraintes techniques (hauteur de remblai par exemple), des progrès pourraient être réalisés dans la connexion des corridors naturels existants et l'entrée des ouvrages. Pour cela, la réalisation de coulées artificielles (dépression dans le sol) dans les

zones où le relief peut être un obstacle, permettrait d'accroître la fonctionnalité de certains ouvrages.

La plantation de haies (reconnexion à des structures existantes) pourrait également être une solution. Attention toutefois, car bien que cette solution puisse améliorer la fonctionnalité d'un ouvrage pour la faune terrestre, elle pourrait également causer des problèmes de collisions pour la faune volante (chiroptères, oiseaux) qui traverserait l'autoroute le long de cet axe de transit.

7.5.3 Perméabilité de certains systèmes de guidage de la faune

Les systèmes de guidage (clôtures, palissades) sont des éléments essentiels pour la fonctionnalité des ouvrages de franchissements autoroutiers. Comme évoqué au *paragraphe 7.3.4, page 124*, des suivis vidéo réalisés à l'entrée de certains ouvrages mettent en évidence que certaines espèces grimpeuses (*martes*, Genette) peuvent aisément franchir les clôtures de petites mailles en les escaladant (*Photos n°102*).

Ces séquences vidéo mettent le doigt sur les limites de l'efficacité des clôtures. Il est difficile d'imaginer des clôtures infranchissables pour des espèces aussi agiles que la Genette commune ou la Martre des pins qui trouveront souvent un moyen de franchir ces obstacles.

La pose de bavolet sur le haut des clôtures petite maille pourrait être une solution, mais dont l'efficacité reste à démontrer pour ces espèces. De plus, la pose de bavolet est assez délicate et leur pérennité dans le temps est remise en cause par le développement de la végétation et les problèmes d'entretien à proximité des clôtures (obs. pers. P. Chavaren).



Photos n°102 : 3 photos tirées d'une séquence vidéo mettant en évidence le franchissement d'une clôture petites mailles par une Genette commune à l'entrée d'un écoduc sur l'A10. (© LPO France, VINCI Autoroutes).



7.5.4 Pistes d'améliorations

PASSAGES DÉDIÉS AUX AMPHIBIENS SOUS L'A7 DANS LA DRÔME

Le suivi spécifique mené sur 2 ouvrages dédiés aux amphibiens dans la Drôme a mis en évidence l'efficacité des aménagements sur certains points :

OUVRAGES AUX PAROIS VERTICALES

Initialement composés de buses sèches circulaires, 2 ouvrages ont été équipés d'éléments en béton en « U » rendant verticales les parois des 2 buses. Même si cela reste à démontrer, les parois verticales semblent plus adaptées aux déplacements d'amphibiens sur de longues distances (supérieures à 30 m). Elles guident peut-être davantage les amphibiens (*Photo n°103*) et évitent qu'ils s'épuisent en montant sur les parois circulaires (*Photo n°104*, S. Fagart, *obs. pers.*). Toutefois, l'aménagement de ces 2 buses circulaires dans des secteurs avec une réelle problématique amphibiens, a eu pour conséquence de réduire notablement le coefficient d'ouverture des ouvrages, et donc de réduire potentiellement sa fonctionnalité pour d'autres espèces.



Photo n°103 : **Crapaud commun dans un ouvrage aux parois verticales de l'A7.** (© LPO Drôme, VINCI Autoroutes).

ABSENCE DE SUBSTRAT POTENTIELLEMENT FAVORABLE

Une crue exceptionnelle ayant emporté le substrat a permis d'observer l'absence d'une quelconque gêne des amphibiens à évoluer sur le béton polymère. Au contraire, l'absence d'irrégularités du sol potentiellement formées par le substrat semble convenir davantage à la progression des amphibiens et particulièrement des urodèles (Tritons et Salamandres).

La crue a probablement eu pour effet de réduire l'alcalinité du béton, et de déposer une microcouche de sédiments, effets similaires à la décantation d'eau boueuse parfois proposée (SETRA & MEDD, 2005) pour réduire les méfaits du contact entre le béton et les amphibiens.

Si l'hypothèse d'absence de substrat favorable à la progression des amphibiens est confirmée, reste à savoir si l'emploi du béton polymère (béton résineux très lisse) suffit ou si la présence d'un dépôt limoneux s'avère en fait nécessaire pour favoriser le déplacement de ces espèces. Dans ce cas, la mise en œuvre d'un tel support reste délicate. Elles s'est faite ici de façon aléatoire.

ANDAINS DANS LES GRANDS OUVRAGES

Des andains ont été mis en place sur l'ensemble des écoponts construits sur le réseau VINCI Autoroutes. Les suivis faunistiques des écoponts ont mis en évidence l'importance des andains pour la microfaune telle que les micromammifères ou les reptiles.

Les andains (ici, pierres et rondins de bois) servent de micro-habitat (par exemple pour le lézard des murailles)



Photo n°104 : **Grenouille rousse sur la paroi circulaire d'un écoduc de l'A10.** (© LPO France).

et de zone refuge (par exemple pour les micro-mammifères). Pour que leur fonctionnalité soit optimale, ils doivent être connectés de part et d'autre de l'autoroute à des axes de transit identifiés (haie, lisière, structure paysagère, etc.).

L'utilisation d'un ouvrage n'est pas à associer systématiquement à sa largeur. D'autres facteurs comme son aménagement et son positionnement rentrent évidemment en jeu. Pour la microfaune par exemple, la présence potentielle du nombre de prédateurs augmente avec les dimensions de l'ouvrage, d'où l'importance de constituer des andains (ou autre) pouvant servir de refuge pour ces espèces. Cela est d'autant plus vrai dans les passages inférieurs de grandes dimensions (PIGF par exemple) où la végétation pouvant servir d'abri est souvent absente.

Dans cette étude, l'ensemble des écoponts et la majorité des PIGF (A89) sont équipés d'andains de différents types (blocs rocheux, rondins de bois, boisseaux en terre cuite, etc.). L'aménagement spécifique des grands ouvrages ne doit pas se limiter aux écoponts et aux PIGF, mais si possible être intégré dès que les dimensions de l'ouvrage le permettent.

Leur emplacement, sur ou dans l'ouvrage, doit par contre être choisi de telle sorte qu'il ne gêne pas le passage de la grande faune en entamant trop la largeur disponible pour cette dernière. Un positionnement de l'andain sur un côté de l'ouvrage sera de ce fait préférable.

Pour la construction des andains, l'utilisation de différents types de matériau, pérennes (pierres, rochers...) ou biodégradables (rondins de bois, branchage...), issus du site quand cela est possible, est à privilégier. Les matériaux biodégradables ne seront pas remplacés après décomposition, considérant que la végétation spontanée prendra le relais et que les habitudes de déplacement se seront installées.

Sur l'A89 par exemple, le suivi par piège photographique sur une année complète d'un ouvrage hydraulique aménagé (*Photo n°105*) aux dimensions exceptionnelles (100 m de longueur, 9 m de hauteur/largeur) a permis de n'observer aucune traversée (refus de deux chevreuils et d'un renard), malgré une accessibilité apparemment bonne (dénivelé peu important et végétation non envahissante ; *comm. pers.* M. Higoa). Si les biais de suivis peuvent être relativement importants pour un ouvrage d'une telle largeur, il est également possible que l'absence d'aménagement à l'intérieur de l'ouvrage sur une si grande distance rebute un nombre important d'espèces, qui peuvent préférer d'autres passages peu éloignés. Dans ce cas précis, un tunnel autoroutier de 4 km, situé à environ 270 m de l'ouvrage, permet le franchissement de l'autoroute sans aucun obstacle pour la faune.



Photo n°105 : **Ouvrage hydraulique de très grandes dimensions avec banquette en terre sur l'A89.**
(© FRAPNA Loire, VINCI Autoroutes).



Loutres d'Europe dans un écoduc de 120 cm de diamètre. (© LPO France, VINCI Autoroutes).

“

Un retour d'expérience
partagé pour favoriser
la standardisation
du suivi faunistique au
regard des obligations
de restauration des
continuités écologiques.

”

Les sociétés concessionnaires de VINCI Autoroutes ont accumulé un savoir-faire unique en matière de génies civils et écologiques, de gestion de missions – de la phase chantier à la phase exploitation – et d'expériences pratiques dans la mise en place d'aménagements en faveur de la biodiversité. Dans le cadre du Paquet Vert Autoroutier notamment, VINCI Autoroutes s'est engagé pour impliquer et informer au mieux les acteurs des territoires traversés par ses infrastructures, fédérant ses équipes et sa maîtrise d'œuvre autour du projet. À l'échelle de son réseau autoroutier, VINCI Autoroutes capitalise une expérience forte sur les protocoles de suivis de l'efficacité des ouvrages de transparence écologique. L'opérateur capitalise également les données recueillies lors de ces suivis et analyse les résultats du fonctionnement de ces différents types d'ouvrages.



Ce document a ainsi pour ambition de fournir aux aménageurs, tout comme aux administrations, aux bureaux d'études et aux associations naturalistes, un retour d'expérience. Il vise davantage à apporter un savoir-faire pratique et appliqué du point de vue de l'exploitant d'infrastructures de transport de type routier – voire d'autres types dans certains cas – qu'un savoir théorique, même si celui-ci n'est pas pour autant négligé. Ce retour pratique est d'autant plus important pour faire comprendre les défis techniques et les problématiques de mises en place des suivis des aménagements en faveur de la biodiversité sur un réseau de transport, qu'il peut servir de base de compréhension commune entre pétitionnaires et services instructeurs ou entre bureaux d'étude et maîtrises d'ouvrages.

Ainsi les descriptions des différents types d'ouvrages ou d'aménagements d'ouvrages existants et dédiés au rétablissement des continuités écologiques sont pratiques et techniques. En ne décrivant pas tous les aménagements existants, cette partie ne se veut pas exhaustive mais détaille les points clefs, de la conception à la phase chantier des ouvrages les plus fréquemment rencontrés.

Les protocoles de suivis, les outils pour réaliser ces suivis, y compris leurs adaptations en fonction des ouvrages précédemment décrits et en fonction des principaux groupes taxinomiques de vertébrés terrestres et aquatiques sont finement détaillés. Les pièges photographiques sont mis en exergue du fait des évolutions récentes de ces matériels et du champ des possibilités offert par ce type d'outil. Les autres techniques, anciennes comme les pièges à traces ou plus récentes comme la caméra thermique ou les pièges photographiques à capteur de vibration, ont également été explicitées. Là encore sont décrits les aspects pratiques des différents protocoles et des outils de suivis, leurs usages, leurs biais et limites. Les suivis particuliers d'efficacité d'un ouvrage à l'échelle populationnelle (génétique du paysage notamment) sont par contre seulement évoqués parce qu'ils restent encore un outil de laboratoire de recherche.

Enfin, l'analyse statistique des données récoltées lors des suivis réalisés entre 2011 et 2015 permet de fournir des résultats consolidant le plus souvent les observations extraites de la littérature scientifique. Mais cette analyse présente parfois des résultats étonnants sur le comportement de certaines espèces animales ou sur le fonctionnement de certains types d'ouvrages de transparence, ouvrant potentiellement de nouvelles pistes de recherche. Ces données ont été analysées avec rigueur, en décrivant les limites de l'exploitation statistique et en tirant les leçons pour une forme de normalisation des relevés, renforçant d'autant la valeur scientifique des résultats obtenus.

Les 4 années de suivis ont permis d'avancer sur de nombreux points concernant la problématique des aménagements visant à rétablir les continuités écologiques impactées par les infrastructures linéaires de transport. Il s'agit notamment de la conception et du dimensionnement des ouvrages. Ils fonctionnent en effet de façon variable en fonction du type d'aménagement et d'espèces concernées, de la nature et du comportement des espèces empruntant ces aménagements, du matériel de suivi en fonction des espèces visées, de l'utilisation de ce matériel et ses limites, des biais à prendre en compte. Ce retour d'expérience devrait ainsi aider à établir des principes de conception, ainsi que des protocoles de suivis pour conduire à une standardisation de plus en plus nécessaire au regard des obligations de suivi.



08. ANNEXES

Un ensemble de données statistiques précises et des protocoles éprouvés pour le suivi des différentes espèces.

Annexe 1

Nombre et diversité spécifique des passages
dans les écoducs

Nombre et diversité spécifique des passages et refus de faune sauvage détectée dans les écoducs (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, écart-type, valeurs min-max et nombre total de passages et refus détectés).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
ÉCODUCS (n=35 ouvrages)												
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		100 %	299,4	342,3	2,7	1242,4	14 770	25,4	31,4	0,0	136,4	728
Mammifères												
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	83 %	189,0	281,0	0,0	1135,0	7 437	6,1	14,0	0,0	69,3	189
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	94 %	50,5	65,2	0,0	247,2	2 810	7,9	8,5	0,0	31,7	276
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	91 %	36,6	32,3	0,0	133,7	1 776	4,0	7,4	0,0	34,4	92
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	46 %	58,5	202,0	0,0	815,0	911	1,3	2,5	0,0	9,1	17
Genette commune	<i>Genetta genetta</i>	26 %	36,8	37,7	2,5	104,5	660	0,2	0,4	0,0	1,1	3
Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	31 %	31,8	34,3	0,5	97,5	508	18,3	38,9	0,0	129,0	96
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	29 %	10,8	17,1	0,8	56,2	213	0,4	0,8	0,0	2,6	4
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	43 %	12,3	36,9	0,0	144,4	115	2,2	3,4	0,0	13,2	17
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	17 %	5,5	10,9	0,0	27,7	72	0,3	0,9	0,0	2,1	1
Lapin/lièvre	<i>Leporidae sp</i>	11 %	18,4	16,9	5,7	41,8	45	4,0	5,1	0,0	11,4	9
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	17 %	3,8	3,6	0,5	10,6	42	0,2	0,5	0,0	1,3	1
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	26 %	1,6	2,3	0,0	7,4	25	1,2	2,1	0,0	6,4	6
Loutre d'Europe	<i>Lutra lutra</i>	14 %	2,0	1,3	0,5	3,3	21	-	-	-	-	-

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
Belette	<i>Mustela nivalis</i>	11 %	1,6	1,2	0,4	3,1	12	-	-	-	-	-
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	23 %	0,8	0,5	0,0	1,6	9	1,4	2,3	0,0	6,3	8
Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>	6 %	5,5	3,6	3,0	8,0	9	-	-	-	-	-
Mammifères ind.	<i>Mammalia sp</i>	9 %	1,8	2,0	0,6	4,1	7	-	-	-	-	-
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	6 %	5,6	7,0	0,6	10,6	5	5,3	7,5	0,0	10,6	4
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	6 %	1,7	0,2	1,5	1,9	5	-	-	-	-	-
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	6 %	1,1	1,6	0,0	2,3	2	1,3	1,9	0,0	2,6	1
Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>	3 %	2,6	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Taupo d'Europe	<i>Talpa europaea</i>	3 %	0,4	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	6 %	-	-	-	-	-	1,2	1,0	0,6	1,9	2
Oiseaux marcheurs nidifuges												
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	9 %	14,4	8,9	8,9	24,8	78	-	-	-	-	-
Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>	6 %	1,3	1,3	0,4	2,3	6	-	-	-	-	-
Faisan de colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	6 %	-	-	-	-	-	1,9	1,2	1,0	2,7	2
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		46 %	8,5	15,2	0,0	53,2	230	17,2	20,9	0,0	55,9	267
Micromammifères												
Mulots/souris	<i>Muridae sp</i>	23 %	7,8	10,3	0,0	24,1	121	5,2	12,4	0,0	35,9	68
Micromammifères ind.	<i>Micromammal sp</i>	34 %	3,4	8,8	0,0	30,9	30	15,6	21,2	0,0	55,9	154
Campagnols ind.	<i>Arvicola sp</i>	14 %	2,4	4,8	0,0	11,0	29	0,5	0,6	0,0	1,5	3
Soricidés ind.	<i>Soricidae sp</i>	9 %	3,5	5,5	0,0	9,8	25	0,2	0,4	0,0	0,6	1
Muscardin/lérot	<i>Gliridae sp</i>	3 %	0,4	-	-	-	1	-	-	-	-	-

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
Amphibiens/Reptiles												
Salamandre tachetée	<i>Salamandra salamandra</i>	3 %	5,3	-	-	-	13	3,7	-	-	-	9
Tritons ind.	<i>Triturus sp</i>	3 %	1,6	-	-	-	4	0,8	-	-	-	2
Anoures ind.	<i>Anura sp</i>	3 %	0,8	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Crapaud commun/épiqueux	<i>Bufo bufo/spinosus</i>	3 %	0,8	-	-	-	2	0,4	-	-	-	1
Couleuvre verte et jaune	<i>Hierophis viridiflavus</i>	3 %	1,2	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Grenouille agile	<i>Rana dalmatina</i>	3 %	0,4	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Crapaud épiqueux	<i>Bufo spinosus</i>	3 %	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	1
Lézard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>	3 %	-	-	-	-	-	34,6	-	-	-	26
Lézards ind.	<i>Lacertidae sp</i>	3 %	-	-	-	-	-	2,7	-	-	-	2
AUTRES		74 %	15,3	34,2	0,0	173,2	596	3,2	6,9	0,0	25,6	32
Mammifères domestiques												
Chat domestique	<i>Felis catus</i>	49 %	21,1	41,2	0,0	173,2	536	4,1	8,0	0,0	25,6	25
Chien domestique	<i>Canis familiaris</i>	14 %	2,2	2,4	0,0	6,3	10	1,6	3,7	0,0	8,2	3
Chat sauvage/domestique	<i>Felis silvestris/domesticus</i>	3 %	2,0	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Chiroptères												
Chiroptères ind.	<i>Chiroptera sp</i>	31 %	2,5	2,1	0,0	6,2	48	0,3	0,8	0,0	2,7	4
Indéterminé												
Indéterminé		57 %	5,2	6,1	0,0	20,7	176	1,6	2,7	0,0	11,1	35



Annexe 2

Nombre et diversité spécifique des passages dans les ouvrages hydrauliques aménagés

Nombre et diversité spécifique des passages et refus de faune sauvage détectée dans les ouvrages hydrauliques aménagés (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, écart-type, valeurs min-max et nombre total de passages et refus détectés).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
OUVRAGES HYDRAULIQUES AMÉNAGÉS (n=14)												
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		100 %	156,4	201,1	7,9	718,1	1 101	27,4	51,5	0,0	194,4	165
Mammifères												
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	86 %	107,3	150,5	0,7	503,9	554	26,4	54,3	0,0	194,4	125
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	64 %	50,2	61,9	1,0	156,4	202	1,2	1,8	0,0	4,2	7
Genette commune	<i>Genetta genetta</i>	21 %	19,8	18,2	1,4	37,7	113	0,2	0,3	0,0	0,5	1
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	64 %	21,1	21,5	3,0	60,8	112	0,5	0,9	0,0	2,2	2
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	43 %	8,0	12,0	0,0	31,9	24	2,2	2,5	0,0	6,0	10
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	21 %	6,4	1,8	4,3	7,8	22	0,7	1,3	0,0	2,2	1
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	7 %	35,7	-	-	-	18	-	-	-	-	-
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	14 %	3,7	3,2	1,4	6,0	5	-	-	-	-	-
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	21 %	2,9	2,0	1,5	5,2	5	0,6	1,0	0,0	1,7	1
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	14 %	4,3	0,4	4,0	4,6	4	2,0	2,8	0,0	4,0	2
Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>	14 %	2,4	2,7	0,5	4,3	3	-	-	-	-	-
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	14 %	2,6	3,7	0,0	5,2	3	1,0	1,4	0,0	2,0	1
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	14 %	2,2	0,3	2,0	2,4	2	-	-	-	-	-
Loutre d'Europe	<i>Lutra lutra</i>	7 %	0,9	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Belette	<i>Mustela nivalis</i>	7 %	2,0	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Raton laveur	<i>Procyon lotor</i>	7 %	0,5	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Oiseaux marcheurs nidifuges												
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	36 %	11,1	16,0	0,0	39,1	30	5,5	7,6	0,0	13,9	15

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		57 %	0,7	1,0	0,0	2,3	5	3,7	6,6	0,0	19,4	22
Micromammifères												
Micromammifères ind.	Micromammal sp	43 %	0,4	0,8	0,0	2,0	2	1,7	1,6	0,0	4,0	8
Mulots/souris	Muridae sp	14 %	0,5	0,7	0,0	0,9	2	0,7	1,0	0,0	1,4	1
Amphibiens/Reptiles												
Crapaud commun/épaveux	Bufo bufo/spinosus	7 %	2,3	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Lézard des murailles	Podarcis muralis	14 %	-	-	-	-	-	5,7	5,7	1,7	9,7	8
Lézards ind.	Lacertidae sp	14 %	-	-	-	-	-	3,5	2,8	1,5	5,6	5
AUTRES		71 %	108,9	112,4	0,7	343,3	520	9,7	9,8	0,0	27,5	50
Mammifères domestiques												
Chat domestique	Felis catus	57 %	132,9	105,5	1,4	330,2	507	12,1	9,4	0,0	27,5	50
Chien domestique	Canis familiaris	29 %	6,3	5,9	0,7	13,0	12	-	-	-	-	-
Chiroptères												
Chiroptères ind.	Chiroptera sp	7 %	0,7	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Indéterminé												
Indéterminé	-	71 %	3,8	6,5	0,0	21,8	21	1,9	3,0	0,0	7,9	10

Annexe 3

Nombre et diversité spécifique des passages sur les écoponts

Nombre et diversité spécifique des passages et refus de faune sauvage détectée par piège photographique sur les écoponts (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, écart-type, valeurs min-max et nombre total de passages et refus détectés).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
ÉCOPONTS (n=4 ouvrages)												
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		n=4	393,0	231,3	82,5	609,8	4 210	1,8	3,4	0,0	7,0	21
Mammifères												
Cerf élaphe	<i>Cervus elaphus</i>	n=1	1086,1	-	-	-	2 202	-	-	-	-	-
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	n=4	122,1	107,4	2,4	249,3	791	-	-	-	-	-
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	n=3	75,1	47,3	39,0	128,6	534	1,2	1,7	0,0	2,4	7
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	n=4	44,2	66,5	4,0	143,6	267	0,9	1,2	0,0	1,7	5
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	n=4	46,6	44,5	3,9	102,7	238	1,2	1,7	0,0	2,4	7
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	n=4	7,6	9,7	0,0	20,9	46	0,1	0,1	0,0	0,2	1
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	n=2	2,6	3,2	0,3	4,9	26	0,2	0,2	0,0	0,3	1
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	n=1	1,6	-	-	-	8	-	-	-	-	-
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	n=1	1,2	-	-	-	6	-	-	-	-	-
Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	n=2	2,0	1,4	1,0	3,0	4	-	-	-	-	-
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	n=1	0,8	-	-	-	4	-	-	-	-	-
Loup gris	<i>Canis lupus</i>	n=1	1,0	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	n=1	0,2	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	n=1	0,2	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Oiseaux marcheurs nidifuges												
Faisan de colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	n=1	0,3	-	-	-	1	-	-	-	-	-

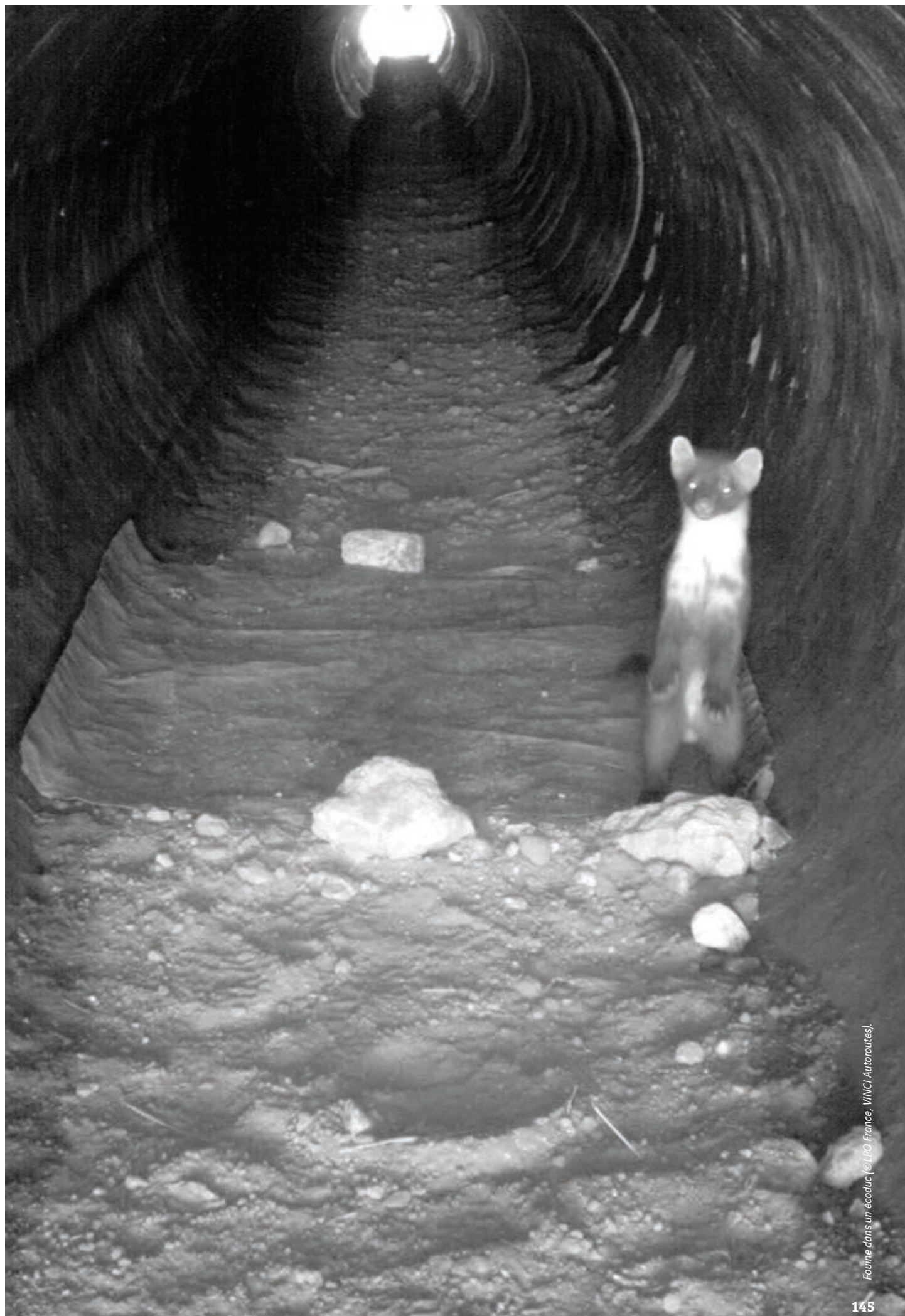
Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES			n=1	6,9		6,9	6,9	35	-				-
Micromammifères													
Mulot sylvestre	Apodemus sylvaticus	n=1	3,7	-	-	-	19	-	-	-	-	-	
Mulots/souris	Muridae sp	n=1	2,2	-	-	-	11	-	-	-	-	-	
Micromammifères ind.	Micromammal sp	n=1	0,8	-	-	-	4	-	-	-	-	-	
Amphibiens/Reptiles													
Lézard ind.	Lacertidae sp	n=1	0,2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
AUTRES			n=2	20,9	10,8	13,2	28,5	149	1,2	1,7	0,0	2,4	7
Mammifères domestiques													
Chat domestique	Felis catus	n=2	15,8	16,5	4,1	27,5	100	1,0	1,5	0,0	2,1	6	
Chien domestique	Canis familiaris	n=2	5,0	5,5	1,0	8,9	48	0,2	0,2	0,0	0,3	1	
Chiroptères													
Chiroptères ind.	Chiroptera sp	n=1	0,2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
Indéterminé													
Indéterminé		n=2	4,0	1,2	3,2	4,9	30	3,4	4,5	0,2	6,6	20	

Annexe 4

Nombre et diversité spécifique des passages dans les passages inférieurs grande faune spécifiques

Nombre et diversité spécifique des passages et refus de faune sauvage détectée dans les passages inférieurs grande faune spécifiques (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, écart-type, valeurs min-max et nombre total de passages et refus détectés).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
PASSAGE INFÉRIEURS GRANDE FAUNE SPÉCIFIQUES (n=4)												
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		n=4	210,1	204,6	35,9	490,2	1 095	35,3	31,1	7,7	75,3	190
Mammifères												
Chevreuil européen	Capreolus capreolus	n=4	69,6	57,2	10,0	140,5	427	10,8	12,8	0,0	28,6	53
Lièvre	Lepus europaeus	n=3	124,7	157,8	14,9	305,6	412	15,4	16,5	2,2	34,0	54
Renard roux	Vulpes vulpes	n=4	22,8	29,5	4,4	66,8	107	6,5	4,4	2,2	10,6	38
Blaireau européen	Meles meles	n=4	11,0	9,1	2,2	23,2	74	3,8	6,4	0,0	13,3	26
Fouine/martre	Martes foina/martes	n=3	6,2	8,0	1,1	15,5	32	2,2	2,2	0,0	4,4	12
Sanglier	Sus scrofa	n=3	3,9	4,2	0,0	8,3	21	0,6	1,0	0,0	1,7	3
Hérisson d'Europe	Erinaceus europaeus	n=1	11,7	-	-	-	11	-	-	-	-	-
Ragondin	Myocastor coypus	n=3	1,1	1,1	0,0	2,1	4	0,4	0,6	0,0	1,1	2
Rat surmulot	Rattus norvegicus	n=1	1,1	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Oiseaux marcheurs nidifuges												
Faisan de colchide	Phasianus colchicus	n=2	3,2	4,5	0,0	6,4	6	0,6	0,8	0,0	1,1	2
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		n=1	34,3	-	34,3	34,3	62	46,5	-	46,5	46,5	84
Micromammifères												
Micromammifères ind.	Micromammal sp	n=1	34,3	-	-	-	62	46,5	-	-	-	84
AUTRES		n=3	91,3	141,5	6,1	254,7	275	8,2	12,2	1,1	22,3	25
Mammifères domestiques												
Chat domestique	Felis catus	n=1	241,9	-	-	-	228	18,0	-	-	-	17
Chat sauvage/ domestique	Felis silvestris/ domesticus	n=2	9,7	5,1	6,1	13,3	35	1,1	0,0	1,1	1,1	4
Chien domestique	Canis familiaris	n=1	12,7	-	-	-	12	4,2	-	-	-	4
Indéterminé												
Indéterminé		n=3	0,7	0,6	0,0	1,1	3	2,9	3,4	0,0	6,6	14



Annexe 5

Nombre et diversité spécifique des passages dans les ouvrages d'art aménagés

Nombre et diversité spécifique des passages et refus de faune sauvage détectée dans les ouvrages d'art aménagés (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, écart-type, valeurs min-max et nombre total de passages et refus détectés).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
OUVRAGES D'ART AMÉNAGÉS (n=3)												
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		n=3	125,9	117,3	20,2	252,1	646	2,8	2,1	0,5	4,5	15
Mammifères												
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	n=3	63,9	109,4	0,6	190,2	288	0,2	0,4	0,0	0,7	1
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	n=3	22,2	20,6	7,4	45,7	148	0,6	1,0	0,0	1,7	3
Lapin de garenne	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	n=2	36,1	31,1	14,1	58,1	124	2,4	0,6	2,0	2,8	8
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	n=1	28,9	-	-	-	43	-	-	-	-	-
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	n=1	3,8	-	-	-	16	0,5	-	-	-	2
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	n=2	1,1	1,3	0,2	2,0	4	-	-	-	-	-
Genette commune	<i>Genetta genetta</i>	n=3	0,7	0,6	0,2	1,3	4	-	-	-	-	-
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	n=2	0,6	0,1	0,5	0,7	3	-	-	-	-	-
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	n=1	2,0	-	-	-	3	-	-	-	-	-
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	n=1	0,5	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Putois d'Europe	<i>Mustela putorius</i>	n=1	1,3	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	n=2	0,4	0,2	0,2	0,6	2	-	-	-	-	-
Rat noir	<i>Rattus rattus</i>	n=1	0,7	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	n=1	0,2	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Oiseaux marcheurs nidifuges												
Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>	n=1	3,4	-	-	-	5	0,7	-	-	-	1

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		n=3	16,4	6,2	12,8	23,6	140	0,2	0,3	0,0	0,6	1
Micromammifères												
Micromammifères ind.	Micromammal sp	n=3	12,7	10,2	3,4	23,6	123	0,2	0,3	0,0	0,6	1
Mulots/souris	Muridae sp	n=1	8,1	-	-	-	12	-	-	-	-	-
Amphibiens/Reptiles												
Tarente de Maurétanie	Tarentola mauritanica	n=1	1,1	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Anoures ind.	Anura sp	n=1	0,7	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Amphibiens ind.	Amphibia sp	n=1	0,7	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Lézard ocellé	Timon lepidus	n=1	0,6	-	-	-	1	-	-	-	-	-
AUTRES		n=3	36,4	23,5	19,7	63,2	337	0,2	0,4	0,0	0,7	3
Mammifères domestiques												
Chat domestique	Felis catus	n=3	32,9	24,9	14,7	61,3	315	0,2	0,4	0,0	0,7	3
Chien domestique	Canis familiaris	n=3	3,5	1,6	1,9	5,1	22	-	-	-	-	-

Annexe 6

Nombre et diversité spécifique des passages dans les passages non dédiés

Nombre et diversité spécifique des passages et refus de faune sauvage détectée dans les passages non dédiés (occurrence dans les ouvrages, fréquentation annuelle moyenne, écart-type, valeurs min-max et nombre total de passages et refus détectés).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
PASSAGES NON DÉDIÉS (n=15)												
PETITE, MOYENNE ET GRANDE FAUNES		93 %	176,9	455,7	0,0	1733,3	1 528	14,6	21,8	0,0	70,9	132
Mammifères												
Ragondin	<i>Myocastor coypus</i>	20 %	477,9	798,3	0,0	1399,5	812	10,8	8,5	2,0	19,0	14
Blaireau européen	<i>Meles meles</i>	27 %	68,9	121,8	2,0	251,2	268	7,5	12,9	0,0	26,7	29
Fouine/martre	<i>Martes foina/martes</i>	67 %	41,3	51,7	2,0	147,0	216	5,7	7,0	0,0	19,0	33
Lièvre	<i>Lepus europaeus</i>	13 %	36,3	48,5	2,0	70,6	55	9,7	10,8	2,0	17,3	15
Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>	67 %	6,7	10,3	0,0	33,3	46	3,1	3,9	0,0	12,0	20
Chevreuil européen	<i>Capreolus capreolus</i>	13 %	12,3	14,6	2,0	22,6	19	2,7	3,8	0,0	5,3	4
Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>	7 %	9,9	-	-	-	10	-	-	-	-	-
Hérisson d'Europe	<i>Erinaceus europaeus</i>	7 %	10,4	-	-	-	6	5,2	-	-	-	3
Rat surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	13 %	6,2	6,3	1,7	10,6	4	0,9	1,2	0,0	1,7	1
Mustélidés ind.	<i>Mustelidae sp</i>	7 %	5,2	-	-	-	3	1,7	-	-	-	1
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	7 %	3,0	-	-	-	3	-	-	-	-	-
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	7 %	1,7	-	-	-	1	3,5	-	-	-	2
Rats ind.	<i>Rattus sp</i>	7 %	-	-	-	-	-	5,2	-	-	-	3
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	7 %	-	-	-	-	-	3,5	-	-	-	2
Oiseaux marcheurs nidifuges												
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	7 %	147,0	-	-	-	85	-	-	-	-	-
Râle d'eau	<i>Rallus aquaticus</i>	7 %	-	-	-	-	-	8,6	-	-	-	5

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Occ. %	Nb. passages détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹					Nb. refus détectés.an ⁻¹ .ouvrage ⁻¹				
			Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total	Moy.	±ET	Min.	Max.	Nb. total
MICROMAMMIFÈRES, AMPHIBIENS & REPTILES		20 %	-				-	11,0	7,2	3,5	18,0	8
Micromammifères												
Micromammifères ind.	Micromammal sp	7 %	-	-	-	-	-	9,0	-	-	-	3
Mulots/souris	Muridae sp	13 %	-	-	-	-	-	10,2	1,7	9,0	11,4	4
Amphibiens/ Reptiles		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anoures ind.	Anura sp	7 %	-	-	-	-	-	3,5	-	-	-	1
AUTRES		40 %	34,8	71,6	1,7	180,9	77	6,1	6,8	0,0	15,2	18
Mammifères domestiques												
Chat domestique	Felis catus	27 %	47,3	89,1	1,7	180,9	60	8,6	7,1	1,7	15,2	16
Chat sauvage/ domestique	Felis silvestris/ domesticus	13 %	7,9	2,8	6,0	9,9	16	1,0	1,4	0,0	2,0	2
Chien domestique	Canis familiaris	7 %	3,5	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Indéterminé												
Indéterminé		20 %	2,5	2,2	0,0	4,0	5	1,2	1,1	0,0	2,0	3

Annexe 7

Résultats des études de suivi par les chiroptères

Tableau synthétique des résultats (nombre de contacts par espèces non détaillé) des études de suivi de la fréquentation des ouvrages souterrains par les chiroptères. (Source : Pichard *et al*, 2012 ; Rombaut & Brisorgueil, 2011).

Id Buse	diamètre buse (en m)	nb de contacts	nb de contacts moy. par nuit
Site 1 buse 2	1,15	27	4,5
Site 1 buse 3	0,95	11	1,8
Site 1 buse 4	0,96	3	0,5
Site 1 buse 6	1,17	189	31,5
Site 1 buse 7	1,70	72	12,0
Site 1 buse 8	1,50	16	2,7
Site 1 buse 10	1,10	1	0,2
Site 1 buse 11	1,00	0	0,0
Site 1 buse 12	1,12	5	0,8
Site 1 buse 13	2,00	64	10,7
Site 1 buse 15	0,93	7	1,2
Site 1 buse 17	1,15	4	0,7
Site 1 buse 21	1,13	5	0,8
Site 1 buse 24	2,00	160	26,7
Site 1 buse 26	4,00	45	7,5
Site 2 buse 1	4,00	166	27,7
Site 2 buse 2	0,84	0	0,0
Site 2 buse 4	0,85	0	0,0
Site 2 buse 5	1,30	17	2,8
Site 2 buse 6	3,15	531	88,5
Site 2 buse 7	0,90	0	0,0
Site 2 buse 8	0,85	0	0,0
Site 2 buse 9	2,15	593	98,8
Site 2 buse 10	2,10	131	21,8
Total : 24 buses		2047	14,2

Annexe 8

Synthèse des protocoles de suivi en fonction des groupes d'espèces

FICHE TECHNIQUE 1

SUIVI GÉNÉRALISTE DES MAMMIFÈRES PAR PIÈGES-PHOTO

Ces dernières années, le piège photographique s'est imposé comme l'outil de suivi des mammifères terrestres le plus utilisé. Ce type de dispositif ne permet toutefois pas d'obtenir des résultats exhaustifs et comporte un certain nombre de biais. Si l'installation et l'utilisation du matériel paraît simple, une certaine expérience est nécessaire afin d'optimiser le suivi et de réduire les biais de détection des appareils à détection infrarouge.



BIAIS DE DETECTION DES PIÈGES PHOTOGRAPHIQUES

- Non détection des animaux à corps froid (potentiellement le pelage des mustélidés* semi-aquatiques).
- Mauvaise détection des faibles gradients de température (mustélidés semi-aquatiques, température d'arrière-plan très chaude).
- Mauvaise détection des animaux de petite taille et/ou se déplaçant rapidement (micromammifères, Belette, etc.).

INSTALLATION D'UN PIÈGE-PHOTO DANS UN PASSAGE INFÉRIEUR

L'installation du **piège photographique à l'intérieur de l'ouvrage** (plutôt qu'à l'extérieur) permet de s'affranchir des éléments extérieurs (pluie, vent, écarts de température, végétation, etc.) et de mieux visualiser les franchissements.

À l'intérieur, le matériel est placé **à environ 5 m d'une extrémité de l'ouvrage**. Un appareil placé au milieu de l'ouvrage est parfois moins efficace (jusqu'à 40 % de détection en moins), cela s'explique par une vitesse de déplacement de la faune possiblement plus importante au milieu de l'ouvrage qu'aux extrémités.



L'angle de vue de l'appareil est orienté vers l'intérieur de l'ouvrage (côté le plus long) afin de mieux visualiser les traversées, et d'avoir une température de référence assez constante en arrière-plan.

Une pierre ou divers débris naturels peuvent être placés devant le piège photographique (là où la détection est optimale). Ce relief, marqué et reniflé par la faune permet de la ralentir et d'augmenter les chances de détection/identification.

INSTALLATION D'UN PIÈGE-PHOTO SUR UN PASSAGE SUPÉRIEUR

L'intégralité de la zone à surveiller devant être couverte par le(s) faisceau(x) de détection, le nombre de pièges-photo doit être augmenté en conséquence et de façon homogène dans l'espace. Par exemple, pour un écopont d'une largeur de 15 m, 2 pièges-photo situés de part et d'autre couvriront la largeur de façon assez homogène. La présence de talus/reliefs peut également impliquer la pose de pièges-photo supplémentaires.

À ciel ouvert, l'évolution de la végétation rendra très difficile et aléatoire la détection de la petite faune (de taille inférieure au Blaireau). Les abords immédiats d'éléments structurant le paysage (andains, palissades, clôtures, haies arbustives, etc.) servent souvent de corridor à la petite faune, et sont à cibler pour le suivi de ces espèces.

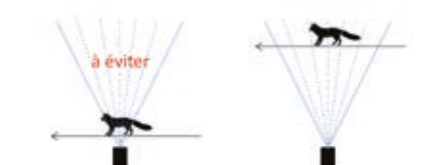
Éviter les angles de vues dirigés dans l'axe du soleil (lever/coucher) ou vers des surfaces en eau pouvant le refléter (les déclenchements continus peuvent alors épuiser la batterie en quelques heures).



POSITIONNEMENT DU PIÈGE PHOTOGRAPHIQUE

L'orientation et l'inclinaison doivent être adaptées aux caractéristiques du détecteur infrarouge de mouvements (cf. notice du matériel), de la configuration du terrain (reliefs, points d'accroches), et des espèces ciblées.

Piège-photo trop près de la voie de déplacement
=
Animal rapidement en dehors de l'angle de vue



Piège-photo dans l'axe du déplacement
=
Possible biais de détection
(pour la détection par bandes)



AUTONOMIE DU MATÉRIEL

Minimum 1 mois ; permet des suivis sur le long terme, mais engendre également un temps conséquent de saisie des données.

Attention : le choix et la qualité des piles ou batteries influent considérablement sur l'autonomie (bon compromis performances/coût pour les batteries NiMH).

DURÉE/PÉRIODE DE SUIVI

Une année entière est nécessaire pour s'affranchir de la phénologie saisonnière.

Les processus d'accoutumance de la faune à l'ouvrage et/ou au dispositif de suivi nécessitent généralement des suivis sur plusieurs années. Une période de 3 ans semble pertinente.



FICHE TECHNIQUE 2

SUIVI DES MICROMAMMIFÈRES



BIAIS DE DÉTECTION

Individus de petite taille : faible détection, détermination imprécise, et déplacements à couvert.

Individus rapides : faible détection, interprétation difficile des déplacements/données.

CAS DES OUVRAGES SOUTERRAINS

Les micromammifères ont des domaines vitaux peu étendus ; ils sont donc peu amenés et plutôt réticents à franchir les ouvrages autoroutiers souterrains qui mesurent généralement plus de 30 m de long. L'absence de végétation ou de « zone refuge » les rend très vulnérables et donc peu enclins à se déplacer à découvert sur de telles distances.

Dans les ouvrages de petites dimensions, le piège à vibration et le piège-photo (positionné assez près du sol) permettent tout de même de collecter un nombre non négligeable de données, mais dont l'interprétation reste très délicate (identification incertaine, traversée ou non, biais de détections, etc.).



CAS DES GRANDS OUVRAGES (ÉCOPONT ET PIGF*)

Dans les ouvrages ouverts (écoponts) et semi-ouverts (type PIGF), où la végétation ou des zones refuges (andains) sont présentes, les micro-habitats permettent l'établissement de petites populations formant un continuum d'habitat à l'intérieur même des ouvrages.

Pour ces ouvrages, le piégeage (CMR, non légal) est le suivi le plus pertinent :

- positionnement de pièges répartis sur l'ensemble du passage à faune (ex : environ 50 pièges pour un écopont) ;
- positionnement de pièges répartis aux abords de l'ouvrage ;
- chaque piège est numéroté et géolocalisé afin d'exploiter au mieux les données ;
- les pièges sont relevés régulièrement dans la nuit pour éviter la mortalité ;
- le marquage peut être envisagé afin d'identifier les individus lors d'une éventuelle recapture.



DURÉE/PÉRIODE DE SUIVI

Piège-photo/piège à vibration : minimum une année (phénologie, évolution de la végétation).

Capture : sessions courtes de piégeage (1 nuit), mais répétées sur une année (ex. : 2 nuits au printemps + 2 en été + 2 en automne).

FICHE TECHNIQUE 3

SUIVI DE L'HERPÉTOFAUNE (AMPHIBIENS ET REPTILES)

BIAIS DE DÉTECTION

La détectabilité des animaux ectothermes* est quasiment nulle avec un détecteur infrarouge.

Le piège à vibration est une nouvelle alternative pour des suivis automatisés de ces espèces.

CAS DES OUVRAGES SOUTERRAINS

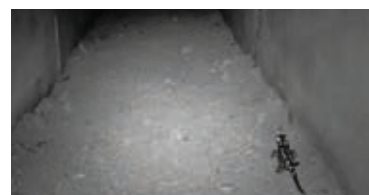
Piège à vibration :

- très bonne détectabilité des anoues*, et probablement assez bonne pour les urodèles* et les reptiles ;
- idéal pour les ouvrages d'une largeur au sol d'1 m maximum (tapis de détection limité à 1 m de large, susceptible d'évoluer à l'avenir).



Piège photo en time-lapse (déclenchement minute):

- bonne détectabilité des anoues et urodèles (déplacements lents);
- non adapté aux reptiles (déplacements trop rapides);
- réduit l'autonomie du matériel à environ 2 semaines;
- engendre un nombre important de clichés à visualiser.

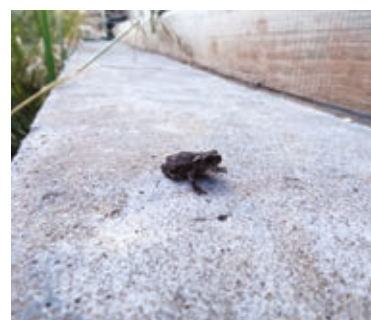


CAS DES GRANDS OUVRAGES (ÉCOPONT ET PIGF*)

La méthode de suivi de l'herpétofaune la plus efficace pour les grands ouvrages reste l'observation directe et la recherche d'indices de présence lors de prospections ciblées.

L'utilisation d'un système de collecte des amphibiens (bâche) est très intrusive, et requiert la présence permanente d'une personne pour contrôler le dispositif.

L'utilisation de pièges-photo en time-lapse sur des zones ciblées (dépression humide pour les amphibiens, plaque de thermorégulation pour les reptiles), reste à tester.



DURÉE/PÉRIODE DE SUIVI

Amphibiens : principal pic de fréquentation des ouvrages à la migration automnale (octobre-novembre). Mouvements importants également en période de reproduction (de mars à juin).

Reptiles : journées chaudes du printemps à l'automne.

FICHE TECHNIQUE 4

SUIVI DES CHIROPTÈRES

BIAIS DE DÉTECTION

Enregistreur ultrasonore : distance de détection de quelques mètres (Rhinolophes) à plusieurs dizaines de mètres (Noctules); suivi non homogène pour les grands ouvrages.

Caméra thermique ou infra-rouge/ détection: identification à vue très incertaine, à coupler avec un détecteur ultrasonore.

CAS DES OUVRAGES SOUTERRAINS

L'enregistrement ultrasonore (SongMeter, Anabat) est le suivi le plus efficace dans les ouvrages de plus de 30 m de long.

L'enregistreur doit être placé au milieu de l'ouvrage afin d'isoler les sons enregistrés de ceux provenant de l'extérieur de l'ouvrage.

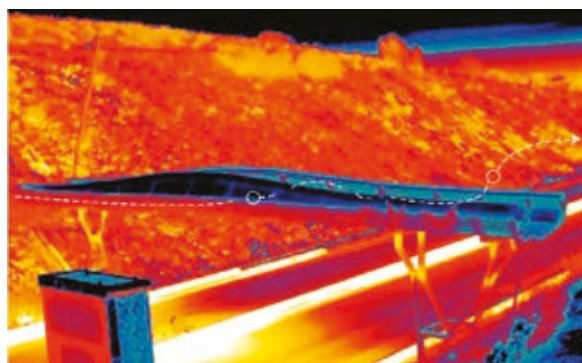
Afin d'avoir une référence sur l'activité des chiroptères présents à proximité, un autre enregistreur peut être placé à l'extérieur, au niveau de l'autoroute par exemple.



CAS DES GRANDS OUVRAGES (ÉCOPONT ET PIGF*)

L'étude de franchissement d'une infrastructure linéaire de transport par les chiroptères reste une opération délicate et fait appel à des techniques récentes.

La trajectoire de vol peut être ainsi aujourd'hui appréhendée schématiquement par la technique de la trajectographie (plusieurs micros étalonnés fonctionnant en simultanée en vue de cartographier la trajectoire en 3D). Elle peut être également filmée avec précision à l'aide d'une caméra thermique performante.



DURÉE/PÉRIODE DE SUIVI

Enregistreur ultrasonore : autonomie importante (plusieurs semaines), mais l'analyse des enregistrements étant très chronophage; il est préférable de concentrer les sessions d'enregistrement aux périodes propices de déplacements des chiroptères. Par exemple, 3 sessions d'une durée de 2 à 5 jours; chacune pouvant être répartie au printemps (post-hibernation), en été (reproduction) et à l'automne (rut).

Caméra thermique + détecteur : matériel non autonome, nécessite un observateur. Répéter les observations selon l'objectif du suivi.

GLOSSAIRE

AFB : Agence Française pour la Biodiversité.

Anoure : (littéralement « sans queue »), amphibien dépourvu de queue à l'âge adulte et possédant des membres postérieurs adaptés au saut (grenouilles, crapauds).

Banquette : structure de type marche simple ou multiple, reposant sur le fond d'un ouvrage hydraulique; calé latéralement, permettant le passage de la faune à pieds secs.

Chiroduc : structure enjambant l'autoroute à une hauteur suffisante, respectant les hauteurs libres sous ouvrages conformément à la circulaire relative au dimensionnement de la hauteur des ouvrages routiers sur le réseau national du 17 octobre 1986, pour guider les chiroptères au-dessus de l'infrastructure et leur permettre de traverser sans heurter les véhicules, notamment les poids lourds.

COMOP TVB : Comité Opérationnel Trame Verte et Bleue créé à l'occasion du Grenelle de l'Environnement.

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière.

DDT : Direction Départementale des Territoires.

DREAL : Direction Régionale de l'Aménagement, de l'Environnement et du Logement.

Écoduc : passage inférieur de petites à moyennes dimensions (jusqu'à environ 2 m de large) permettant le passage de la faune sous l'infrastructure de transport (ex. : buse sèche avec substrat terreux).

Écopont : passage supérieur, d'une largeur suffisante et aménagé pour l'ensemble de la faune sauvage (petite, moyenne et grande) en créant une diversité d'habitats (semis, plantations, mares, andains, caches...) pour permettre le passage d'un maximum d'espèces animales au-dessus de l'infrastructure de transport.

Ectotherme : les organismes ectothermes sont des organismes dont la température corporelle est la même que celle du milieu extérieur.

ELS : États Limites de Service en matière d'ouvrages d'art.

Encorbellement : structure fixée aux parois d'un ouvrage (généralement hydraulique) permettant le passage de la faune à pieds secs.

Eurocodes : les Eurocodes constituent un ensemble de 58 normes européennes, d'application volontaire, harmonisant les méthodes de calcul utilisables pour vérifier la stabilité et le dimensionnement des différents éléments constituant des bâtiments ou ouvrages de génie civil, quels que soient les types d'ouvrages ou de matériaux.

Hase : femelle du lièvre.

Génie écologique : ensemble de méthodes de conception et de techniques de réalisation qui associent l'ingénierie et l'écologie scientifique, en vue de restaurer ou de recréer des milieux fonctionnels favorables à la biodiversité (création de mares, techniques végétales en cours d'eau, création de frayères à brochets ou de gîtes à chiroptères...).

Grande faune : cerf élaphe, chevreuil, sanglier, chamois, loup, lynx...

Herpétofaune : ensemble des batraciens et reptiles.

Ichtyofaune : ensemble des poissons.

Lagomorphe : ordre de mammifères auquel appartiennent le lapin de garenne et le lièvre d'Europe.

Littérature grise : ce terme désigne les documents édités hors des circuits commerciaux par des organismes publics ou privés : rapport d'études, actes de colloques, thèses, etc.

MES : matières en suspension.

Micrommamifère : petits mammifères (carnivores, rongeurs, insectivores, etc.) regroupés dans cette catégorie en raison de leur petite taille. Dans cette étude, sont dénommés micrommamifères les espèces de taille inférieure ou égale à la belette et au rat surmulot (ex. : campagnol, mulot, musaraigne).

Moyenne faune : mustélidés (fouine, martre, putois, genette, blaireau, loutre, vison d'Europe) renard, chat sauvage, lapin de garenne, lièvre...

Mustélidés : famille de mammifères carnivores de petite ou moyenne taille, à longue queue, aux pattes courtes, au corps long et étroit (belette, hermine, martre, fouine, putois, vison, loutre, blaireau...).

Nidicole : espèce dont les individus sont incapables de se déplacer à la naissance.

Nidifuge : espèce dont les individus sont capables de se déplacer en marchant pratiquement dès la naissance.

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Petite faune : batraciens, reptiles, petits mustélidés (belette, hermine) micrommamifères (mulot, campagnol, musaraigne...) hérisson d'Europe...

PIGF : Passage Inférieur Grande Faune.

PLU : Plan Local d'Urbanisme.

PNA : Plan National d'Action (en faveur d'une espèce ou d'un groupe d'espèces).

PVA : Paquet Vert Autoroutier.

PRV : Polyester Renforcé en fibres de Verre.

ONEMA* (future AFB*) : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Q3 : débit de crue (en m³/s) pour une période de retour de 3 ans.

BIBLIOGRAPHIE

QMNA5 : débit minimum se produisant en moyenne une fois tous les 5 ans.

ROE : Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement sur les cours d'eau (établi par l'ONEMA).

Réforme LEMA : réforme de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006.

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale.

SRCE (schéma régional de cohérence écologique) : schéma d'aménagement du territoire permettant notamment l'élaboration de la Trame Verte et Bleue.

Taxon : correspond à une entité d'êtres vivants regroupés parce qu'ils possèdent des caractères en commun du fait de leurs parentés.

Technique « à front ouvert » : méthode de creusement semi-manuelle par laquelle les opérateurs creusent à l'avancement.

Urodèle : (littéralement « queue visible »), amphibien pourvu d'une queue à l'âge adulte et se déplaçant en utilisant ses 4 pattes (ex: triton).

ARTHUR, L., LEMAIRE, M., 2009. – Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénopée); Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 544 p.

ARTHUR, L., LEMAIRE, M., BARBOTTE, Q., JAOUEN, M., 2010. – Étude du franchissement des voies routières par les chiroptères en transit. Synthèse 2010. Muséum d'Histoire naturelle de Bourges.

ASCENSÃO, F. & MIRA, A. (2007). – Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research*, 22: 57-66.

BELLIS, M. (2008). – Evaluating the effectiveness of wildlife crossing structures in Southern Vermont. Master of Science Masters Theses, University of Massachusetts.

BOUTON, G. MARC, D. HEURTEBISE, C. – Use by large mammals of wildlife crossing structure on an overpass in western France. Results of the first three years of camera-trap surveys, Colloque IENE 2016.

CLEVENGER, A.P. & WALTHO, N. (1999). – Dry drainage culvert used and design considerations for small and medium sized mammal movement across a major transportation corridor. pp.17. Faculty of Environmental Design University of Calgary, Calgary, Alberta Department of Forestry, Wildlife and Fisheries University of Tennessee, Knoxville Tennessee Faculty of Environmental Studies York University, North York, Ontario.

FAGART, S., HEURTEBISE, C., QUANTINNE, G., JOURDE, P., MICOL, T. (2016). – Fréquentation de buses dédiées aux passages de la petite et moyenne faunes sous deux autoroutes de l'ouest de la France. Bilan des deux premières années de suivis par pièges photographiques. *La Terre et la Vie*, vol. 71 (1): 82-98.

FAGART, S., JOURDE, P. (décembre 2014). – Rapport de suivi – Rétablissements de continuités écologiques sur des infrastructures de transports existantes. Bilan du suivi faunistique des aménagements réalisés. LPO France, 49 p.

FAGART, S., HEURTEBISE, C. – Wildlife surveys following the construction of modified culverts – Developing and providing a vibration-trap, Colloque IENE 2016.

FOURASTÉ, S., COSSON, E., PLANCKAERT, O., BASSI, C., HÉNOUX, V. (2014). – **Guide technique n°1** – Dispositifs d'aide au franchissement des routes – Programme LIFE+ Chiro Med 2010-2014. 56 p.

GOOSEM, M., WESTON, N. & BUSHNELL, S. (2005) – Effectiveness of rope bridge arboreal overpasses and faunal underpasses in providing connectivity for rainforest fauna. Pp.304–316 in: C.L. Irwin, P. Garrett & K.P. McDermott (eds). *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh.

GRILO, C., BISSONETTE, J.A. & SANTOS-REIS, M. (2008). – Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation. *Biodivers. Conserv.*, 17: 1685-1699.

GUŽVICA, G., BOŠNJAK, I., BIELEN, A., BABIĆ, D., RADANOVIĆ-GUŽVICA, B. & ŠVER, L. (2014) – Comparative analysis of three different methods for monitoring the use of green bridges by wildlife. *PLoS ONE*, 9: e106194.

KUHN, R.A. & MEYER, W. (2009). – Infrared thermography of the body surface in the Eurasian otter *Lutra lutra* and the giant otter *Pteronura brasiliensis*. *Aquatic Biology*, 6: 143-152.

LERONE, L., CARPANETO, G.M. & LOY, A. (2011). – *Why camera traps fail to record otter presence.* in: (eds). *Xlth International Otter Colloquium Otters in a warming world.* IUCN, Pavia.

MATA, C., HERVÁS, I., HERRANZ, J., SUÁREZ, F. & MALO, J.E. (2005) – *Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway.* *Biological Conservation*, 124: 397-405.

MATEUS, A.R.A., GRILO, C. & SANTOS-REIS, M. (2011). – *Surveying drainage culvert use by carnivores: sampling design and cost-benefit analyzes of track-pads vs. video-surveillance methods.* *Environmental Monitoring and Assessment*, 181: 101-109.

MEEK, P.D., BALLARD, G. & FLEMING, P. (2012). – *An introduction to camera trapping for wildlife surveys in Australia.* PestSmart Toolkit publication, Invasive Animals Cooperative Research Centre, Canberra.

MEEK, P.D., BALLARD, G.-A., FLEMING, P.J.S., SCHAEFER, M., WILLIAMS, W. & FALZON, G. (2014). – *Camera traps can be heard and seen by animals.* *PLoS ONE*, 9: e110832.

MOVIA, A. (octobre 2014). – *Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation du passage à faune de type éco-duc sous l'A7, au niveau de la commune de Saint-Barthélemy-de-Vals (26) – Troisième rapport de suivi intermédiaire 2013-2014.* LPO Drôme, 40 p.

MOVIA, A. (décembre 2011). – *Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation du passage à faune de type fonçage en buse sèche sous l'A7, au niveau de la commune de Saint-Barthélemy-de-Vals (26) – Rapport de suivi intermédiaire 2011.* LPO Drôme, 22 p.

MOVIA, A. (juin 2013). – *Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation du passage à faune de type éco-duc sous l'A7, au niveau de la commune de Saint-Barthélemy-de-Vals (26) – Deuxième rapport de suivi intermédiaire 2012.* LPO Drôme, 28 p.

MOVIA, A. (novembre 2014). – *Rapport d'expertise – Étude de la fréquentation par les reptiles et les papillons de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du Grand Bœuf (26).* LPO Drôme, 26 p.

MOVIA, A. & BLACHE, S. (novembre 2014). – *Rapport d'expertise – Étude de la fréquentation par les micromammifères de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du Grand Bœuf (26).* LPO Drôme, 38 p.

MOVIA, A. (décembre 2011). – *Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation d'un passage à faune de type fonçage en buse sèche sous l'A7, au niveau de la commune de Donzère (26) – Rapport de suivi intermédiaire 2011.* LPO Drôme, 25 p.

NATURALIA ENVIRONNEMENT & FRAPNA42 (2015). – *Suivi des ouvrages de l'A89: le cas des Chiroptères, Autoroutes A89 section Balbigny-Violay. Rapport de synthèse pour le compte d'ASF.* 23 p.

PETER, F., MOLINA-VACAS, G., RODRIGUEZ, J. & GRILO, C. (2013). – *Effects of roads on spatial behaviour and abundance of small mammals: gaps in knowledge.* *Oecologia Australis*, 17: 63-76.

PICHARD, A., DELAUGE, D., ROMBAUT, D. (2012). – *Rapport d'expertise – Suivi des Chiroptères au niveau des ouvrages souterrains de l'autoroute A8 – Le Luc-Vidauban (83). Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Sisteron*, 60 p.

ROMBAUT, D., BRISORGUEIL, A. (novembre 2011). – *Suivi des Chiroptères sous les ouvrages souterrains de l'autoroute A8 (Le Muy – Roquebrune).* CEN PACA. 36 p.

SETRA & Ministère de l'Écologie et du Développement durable, août 2005. – *Aménagements et mesures pour la petite faune, Guide technique Sétra*, 264 p., Référence Sétra: 0527.

SETRA & Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2006. Routes et passages à faune – 40 ans d'évolution. Bilan d'expériences. 55 p.

SOANES, K., CARMODY, L.M., VESK, P.A., MCCARTHY, M.A., MOORE, J.L. & VAN DER REE, R. (2013). – *Movement re-established but not restored: inferring the effectiveness of road-crossing mitigation by monitoring use.* *Biological Conservation*, 159: 434-441.

UNDERHILL, J. (2003). – *Roads and wildlife: a study of the effects of roads on mammals in roadside habitats.* PhD thesis, University of Birmingham.

VIGNON, V., 2005. – *Suivi de l'utilisation des passages pour la faune à l'aide de pièges photographiques. 4es rencontres «Routes et Faune Sauvage» 21-22 septembre 2005.*

YANES, M., VELASCO, J.M. & SUÁREZ, F. (1995). – *Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts.* *Biological Conservation*, 71: 217-222.

BIBLIOGRAPHIE ASSOCIÉE AUX DONNÉES DES SUIVIS

BARRELON, P., VILLEMAGNE, M. (2013). – *Autoroute A89 section Balbigny-Violay. Suivi de la franchissabilité de l'infrastructure par la faune sauvage. Compte-rendu de la première année de suivi, juillet 2012/juillet 2013.* FDC42/FRPANA42. 13 p.

BIOTOPE (2012). – *Rapport de suivi – Suivi de 10 ouvrages conçus pour le franchissement de l'autoroute par la petite faune.* COFIROUTE. 55 p.

BRIDE, F., BOUNIOL, J. (2014). – *Rapport de suivi – Bilan du suivi année N des ouvrages de rétablissement des continuités écologiques sous l'A89.* FDC69 – FRAPNA69. 9 p.

CISTUDE NATURE (2015). –

Synthèse 2014 – Suivi de trois ouvrages de l'autoroute A62 (Gât-Mort, Barboue, Ciron), département de la Gironde. 13 p.

CISTUDE NATURE (juillet 2014).

– Rapport de suivi de trois ouvrages de l'autoroute A62 (Gât-Mort, Barboue, Ciron), département de la Gironde. Bilan intermédiaire 2014. 7 p.

CISTUDE NATURE (novembre 2013). –

Rapport de suivi – Suivi par pièges photographiques de trois ouvrages de l'autoroute A62 (Gât-Mort, Barboue, Ciron), département de la Gironde. Bilan 2012-2013. 11 p.

DEANA, T. (janvier 2013). –

Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation par les Chiroptères de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du grand Bœuf (26) lors de sa première année de fonctionnement. LPO Drôme, 15 p.

DEANA, T. (novembre 2014).

– Rapport de suivi – Étude de la fréquentation par les Chiroptères de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du grand Bœuf (26). LPO Drôme, 15 p.

FEDERATION DEPARTEMENTALE DES CHASSEURS DE LA DRÔME (mai 2014). –

Rapport de suivi – Bilan de la deuxième année de suivi de l'écopont du Col du Grand Bœuf sur l'A7 (26) pour la moyenne et grande faune. 21 p.

FEDERATION DEPARTEMENTALE DES CHASSEURS DE LA DRÔME (mai 2013). –

Rapport de suivi – Bilan de la première année de suivi de l'écopont du Col du Grand Bœuf sur l'A7 (26) pour la moyenne et grande faune. 13 p.

FEDERATION DEPARTEMENTALE DES CHASSEURS DE LA CHARENTE-MARITIME (2014).

– Rapport de suivi – Eco-pont A10 de Saint Ciers du Taillon, suivi par pièges photographiques, résultats juillet 2013/ juillet 2014, deuxième année de suivi. 18 p.

FEDERATION DEPARTEMENTALE DES CHASSEURS DE LA CHARENTE-MARITIME (2013).

– Rapport de suivi – Eco-pont A10 de Saint Ciers du Taillon, suivi par pièges photographiques, résultats juillet 2012/ juillet 2013. 12 p.

GERVAIS, M., CATARD, A. (2014).

– Suivi de l'efficacité des écoponts de Brignoles et Pignans (Var), période octobre 2013 – octobre 2014. Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur. ASCOTA. 88 p.

LES ÉCOLOGISTES DE L'EUZIÈRE (décembre 2012). –

Requalification du réseau ASF en faveur de la biodiversité. Bilan des suivis des ouvrages aménagés – Département de l'Hérault (34), Autoroute A9. 36 p.

LES ÉCOLOGISTES DE L'EUZIÈRE (décembre 2013). –

Requalification du réseau ASF en faveur de la biodiversité. Rapport intermédiaire du suivi 2013 – Département de l'Hérault (34), Autoroute A9. 33 p.

LES ÉCOLOGISTES DE L'EUZIÈRE (novembre 2014). –

Requalification du réseau ASF en faveur de la biodiversité. Département de l'Hérault (34), Autoroute A9. 45 p.

MOVIA, A. (novembre 2013).

– Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation d'un passage à faune de type éco-duc, sous l'A7, au niveau de la commune de Donzère (26). Rapport de suivi intermédiaire 2012. LPO Drôme, 21 p.

MOVIA, A. (octobre 2014).

– Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation d'un passage à faune de type éco-duc, sous l'A7, au niveau de la commune de Donzère (26). Rapport de suivi intermédiaire 2013-2014. LPO Drôme, 25 p.

MOVIA, A. (décembre 2012). –

Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation par les Chiroptères de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du grand Bœuf (26) lors de sa première année de fonctionnement. LPO Drôme, 15 p.

MOVIA, A. (décembre 2012). –

Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation par les amphibiens de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du grand Bœuf (26) lors de sa première année de fonctionnement. LPO Drôme, 21 p.

MOVIA, A. (octobre 2014). –

Rapport de suivi – Suivi de la fréquentation par les amphibiens de l'écopont de l'A7 au niveau du Col du grand Bœuf (26), années 2013-2014. LPO Drôme, 21 p.

MOVIA, A. (janvier 2013). –

Rapport de suivi – Suivi faunistique de la fréquentation de la passe aquatique du Roubion sur la commune de Sauzet (26) par piège photographique. Première année de suivi (2011-2012). LPO Drôme, 28 p.

MUR, P. (octobre 2013). –

Passage à petite faune situé au PR 250.300 sous l'autoroute A81. Bilan du suivi de mai à juillet 2013. Mayenne Nature Environnement. 15 p.

NATURALIA ENVIRONNEMENT (2012). –

Passe à poissons – Rivière du Roubion. Prospection Anguille – transects. 13 p.

NATURALIA ENVIRONNEMENT (2012). –

A62 – Suivi entomologique sur le viaduc du Ciron (33). 11 p.

NATURE MIDI-PYRÉNÉES

(janvier 2013). – *Bilan 2013 des suivis écologiques dans les aménagements pour la faune – Eco-ducs, encorbellements et suivi du viaduc, Réseau ASF, A64 (Hautes-Pyrénées). 24 p.*

NATURE MIDI-PYRÉNÉES (2014).

– Bilan 2012 des suivis écologiques dans les aménagements pour la faune – Eco-ducs et suivi du viaduc, A64 (Hautes-Pyrénées). 7 p.

OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE de Rhône Alpes/PACA/Corse

(2005). – *Rapport de suivi – Rapport final concernant le suivi de passages à faune de l'A51. 9 p.*

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Guide technique – *Passages pour la grande faune, SETRA, décembre 1993*

Guide technique – *Aménagements et mesures pour la petite faune, SETRA, août 2005.*

Bilan d'expérience – *Routes et passages à faunes, 40 ans d'évolution, SETRA, août 2006.*

Rapport COST 341 – *Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport, SETRA, septembre 2007.*

Note d'information – *Clôture routière et faune, SETRA, 2008 (en refonte).*

Guide 3 du COMOP TVB – *Prise en compte des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques par les grandes infrastructures linéaires de l'État et de ses établissements publics – 3^{ème} document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France: Allag-Dhuisme F., Barthod C., Bielsa S., Brouard-Masson J., Graffin V., Vanpeene S., Chamouton S., Dessarps P-M. Orsini A., 2010.*

Note d'information n°96 « Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques – *Cas de la faune piscicole», SETRA, décembre 2013.*

Informations sur la Continuité Écologique – *ICE. Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes, ONEMA, juillet 2014.*

Article scientifique publié dans la Revue d'écologie – « Fagart S., Heurtebise C., Quaintenne G., Jourde P., Micol T. (2016) – Fréquentation de buses dédiées aux passages de la petite et moyenne faune sous 2 autoroutes de l'ouest de la France. Bilan des deux premières années de suivis par pièges photographiques : La Terre et la Vie, Vol. 71 (1) : 82-98 ».

Guide technique – *Chiroptères et infrastructures de transport, CEREMA, avril 2016.*

Synthèse du retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroutes – *VINCI Autoroutes, LPO France, CEREMA, 2016.*

Wildlife surveys following the construction of modified culverts – Developing and providing a vibration-trap – *FAGART, S. & HEURTEBISE C. (2016). IENE, 2016.*

Use by large mammals of wildlife crossing structure on an overpass in western France. Results of the first three years of camera-trap surveys – *BOUTON, G., DAVID, M., HEURTEBISE, C. (2016). IENE, 2016.*





VINCI Autoroutes

Direction Technique de l'Infrastructure
74, allée de Beauport
84278 Vedène cedex
Tél. : +33 4 90 32 73 54
Fax : +33 (0)4 90 32 91 08