

Critères éco-éthologiques à prendre en compte pour la restauration des  
continuités écologiques au droit des ouvrages de franchissement  
d'infrastructures de transport





# Bordereau documentaire

## Identification du document

<b>Type de document :</b> Rapport bibliographique	<b>Référence SIGMA :</b> C17NB0103
<b>Date :</b> Décembre 2018	<b>Numéro de version :</b> 3 <b>Nature :</b> Finale
<b>Titre :</b> Critères éco-éthologiques à prendre en compte pour la restauration des continuités écologiques au droit des ouvrages de franchissement d'infrastructures de transport	
<b>Rapport réalisé avec la participation financière de :</b> Agence de l'Eau Artois-Picardie Stéphane Jourdan, chef du service milieux aquatiques et maîtrise d'ouvrage Centre Tertiaire de l'Arsenal 200, rue Marceline B.P. 80818 - 59508 DOUAI CEDEX 03 27 99 90 00 <a href="mailto:s.jourdan@eau-artois-picardie.fr">s.jourdan@eau-artois-picardie.fr</a>	
<b>Mais également du :</b> Ministère de la Transition écologique et solidaire Elvire Henry, Chargée de mission au bureau de la politique de l'environnement Tour Séquoia 92055 LA DÉFENSE CEDEX 01 40 81 14 11 <a href="mailto:elvire.henry@developpement-durable.gouv.fr">elvire.henry@developpement-durable.gouv.fr</a>	
<b>Et également du Cerema Nord-Picardie</b>	
<b>Auteurs :</b>	Olivier Pichard / AMNB / Directeur d'études Biodiversité / olivier.pichard@cerema.fr / 0320496376 Anasthasia Sanchez-De Launay / AMNB / Chargée d'études Biodiversité et Aménagement Anne-Claire De Rouck / AMNB / Chargée d'études Biodiversité et Aménagement Mathieu Gilleron / AMNB / stagiaire M1 en 2018
<b>Contributeurs :</b>	

- Diffusion :
- Confidentiel (diffusion réservée au Cerema)
  - Diffusion restreinte (diffusion réservée en interne Cerema et AEAP)
  - Diffusion libre

---

## Historique des versions

Version	Date	Commentaire
0	11/04/2018	Version provisoire pour justification d'avancement technique, elle présente donc des parties incomplètes. Cette version fera l'objet de modifications et de compléments dans le cadre du livrable définitif à produire pour décembre 2018.
1	21/11/2018	Version transmise en interne et à la DGITM pour relecture
2	06/12/2018	Version finale pour transmission à l'agence de l'eau Artois Picardie



---

## Propriété intellectuelle

Conformément au code de la propriété intellectuelle, les livrables produits par le Cerema sont la propriété de leur auteur : droits moraux aux personnes physiques nommément désignées sur le rapport, droits patrimoniaux au Cerema.

En conséquence, un exemplaire du rapport sera conservé à la documentation du Cerema pour une exploitation à des fins méthodologiques.

Ces dispositions légales vous engagent à respecter l'obligation minimale de citation de l'auteur dans toutes vos communications impliquant notre production. De son côté, le Cerema s'engage à toujours citer le demandeur en tant qu'organisme ayant financé l'étude.

Indépendamment de ces obligations minimales, des spécifications particulières visant à l'application du droit d'auteur (procédé et conditions de divulgation) peuvent être indiquées lors de la transmission du document final.

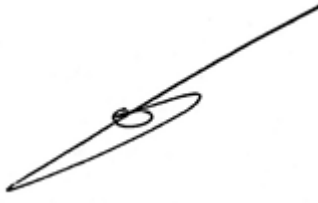


## Certification Qualité



Les prestations du Cerema Nord Picardie sont menées dans le respect de sa politique Qualité.

Le Cerema Nord Picardie est certifié ISO 9001 (version 2015) pour ses trois implantations (Siège, Sequedin et Saint-Quentin) depuis le 16 mars 2017.

## Validations techniques et visas

	Rédaction	Contrôle interne	Approbation
Nom / Qualité	Pichard Olivier Responsable de thématique	Anne Claire De Rouck Chargée d'études	Etienne CHERMETTE Chef de groupe
Date / Visa	Le 06/12/2018 	Le 05/12/2018 	Le 05/12/2018 

Visa du Chef de département Territoires Écologie Énergie Risques

Date : 10/12/2018



Corinne LAMPIN

---

## Résumé

Lors de l'identification d'un passage à faune à maintenir, à restaurer ou à créer, il est souvent très difficile de garantir que l'investissement financier concédé pour son maintien, sa restauration ou sa création permettra d'assurer une bonne fonctionnalité écologique. L'éthologie et l'écologie de l'animal sont alors une source d'information non négligeable afin d'analyser les barrières auxquelles est confrontée la faune sauvage aux abords des passages à faune.

Cette étude permet, via un travail de synthèse bibliographique, l'identification des facteurs liés à la localisation, structurels et sensoriels pouvant constituer un frein à la fonctionnalité des passages. Un deuxième volet permet à travers un guide méthodologique d'identifier les obstacles et les solutions à mettre en œuvre devant un ouvrage de franchissement existant. Un troisième volet permet d'illustrer l'utilisation du guide sur 4 ouvrages de franchissement d'une infrastructure.

L'énumération des critères à prendre en compte permet de replacer la construction et la restauration d'ouvrages de franchissement pour la faune dans le contexte global dans lequel elles doivent être entreprises, qui est la conservation de la biodiversité dans son ensemble, face aux contraintes liées aux activités anthropiques.

---

## Mots clés

Passage faune, éco-éthologie, éthologie, continuité écologique, trame verte et bleue

# Sommaire

<b>Bordereau documentaire.....</b>	<b>3</b>
Identification du document.....	3
Historique des versions .....	4
Propriété intellectuelle .....	5
Certification Qualité.....	6
Validations techniques et visas.....	6
Résumé.....	7
Mots clés.....	7
<b>Remerciements .....</b>	<b>16</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>18</b>
<b>1 Présentation du projet .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Présentation du Cerema.....</b>	<b>19</b>
1.1.1 Nos domaines de compétences .....	19
<b>2 Phase 1 : Identification des facteurs éco-éthologiques influençant les continuités écologiques au droit d'ouvrages d'infrastructures.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Notions d'écologie du paysage, d'éco-éthologie et définitions.....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Modifications sur le milieu non vivant .....	23
2.2.2 Changements au niveau de l'éco-paysage : notion de continuité écologique.....	23
2.2.3 Perturbations de la biodiversité .....	24
2.2.4 Un exemple des conséquences de la fragmentation : l'absence de dissémination des graines.....	26
<b>2.3 L'éco-éthologie, concept intégrateur des ruptures de continuités écologique.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Périmètre de l'étude.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Objectifs de l'étude .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6 Caractéristiques éco-éthologiques des infrastructures influant sur les continuités écologiques .....</b>	<b>28</b>
2.6.1 Critères structurels liés aux infrastructures de transport .....	28
2.6.2 Critères sensoriels liés aux infrastructures de transport ou aux ouvrages de franchissement ..	39
2.6.3 Critères structurels de l'ouvrage de franchissement d'une infrastructure .....	42
2.6.4 Critères transversaux : la prédation.....	47
2.6.5 Critères transversaux : interactions entre mêmes espèces (intraspécifique) ou entre espèces différentes (interspécifiques) .....	48
<b>3 Phase 2 : Guide méthodologique pour restaurer les continuités écologiques .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 Préambule.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Périmètre du guide méthodologique.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3 Objectifs du guide méthodologique .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4 Limites et perspectives .....</b>	<b>51</b>
<b>3.5 Identification des enjeux et solutions au bureau .....</b>	<b>53</b>
3.5.1 Intensité du trafic.....	53
3.5.2 Identification d'éléments fragmentants .....	53
3.5.3 Analyser l'enjeu du site au regard des documents issus des Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique ou de leurs projets. ....	62
3.5.4 La consultation des bases de données régionales sur la faune.....	66
3.5.5 Répartition des milieux naturels autour du site à étudier.....	70
<b>3.6 Clé d'identification des enjeux et des solutions .....</b>	<b>74</b>
3.6.1 Pré-analyse au bureau.....	74
3.6.2 Identification des enjeux sur le terrain .....	77

<b>4</b>	<b>Phase 2 (suite) : fiches actions.....</b>	<b>81</b>
<b>4.1</b>	<b>Possibilités d'aménagements des ouvrages pour faciliter le passage de la faune .</b>	<b>81</b>
4.1.2	Aménagements en fonction de critères structurels .....	82
4.1.3	Aménagements en fonction de critères auditifs.....	92
4.1.4	Aménagements en fonction de critères visuels .....	94
4.1.5	Aménagements en fonction de critères de continuité du substrat (olfactive et tactile) .....	98
4.1.6	Critère combiné : risque de prédation, dérangement .....	102
<b>4.2</b>	<b>Restaurer la fonctionnalité écologique pour des espèces ou des groupes d'espèces cibles.....</b>	<b>103</b>
4.2.1	Les amphibiens : passages spécialisés (batrachoduc) .....	104
4.2.2	Les oiseaux.....	107
4.2.3	Les Chiroptères.....	109
4.2.4	Le cerf et le chevreuil.....	114
4.2.5	le Renard, un modèle d'adaptation.....	116
4.2.6	Le blaireau européen.....	117
4.2.7	Favoriser les continuités écologiques pour la fouine .....	118
<b>5</b>	<b>Phase 3 : Test du guide méthodologique sur 4 ouvrages .....</b>	<b>119</b>
<b>5.1</b>	<b>Exemple de l'ouvrage de rétablissement hydraulique à Nielles-lès-Ardres (62) ....</b>	<b>120</b>
5.1.1	Description du site .....	120
5.1.2	Pré-analyse au bureau.....	120
5.1.3	Identification des enjeux sur le terrain .....	123
<b>5.2</b>	<b>Exemple du croisement entre la voie d'Esquerchin et la RD621 .....</b>	<b>129</b>
5.2.1	Description du site .....	129
5.2.2	Pré-analyse au bureau.....	131
5.2.3	Identification des enjeux sur le terrain .....	133
<b>5.3</b>	<b>Exemple du passage inférieur de la RN42 à Pernes-lès-Boulogne (62) .....</b>	<b>137</b>
5.3.1	Description du site .....	137
5.3.2	Pré-analyse au bureau.....	137
5.3.3	Identification des enjeux sur le terrain .....	140
<b>5.4</b>	<b>Exemple de l'ouvrage de rétablissement hydraulique à Setques sous la RN42 ....</b>	<b>147</b>
5.4.1	Description du site .....	147
5.4.2	Pré-analyse au bureau.....	147
5.4.3	Identification des enjeux sur le terrain .....	151
<b>6</b>	<b>Indicateurs de biodiversité.....</b>	<b>159</b>
<b>6.1</b>	<b>Nombre de références scientifiques consultées pour l'étude.....</b>	<b>159</b>
<b>6.2</b>	<b>Nombre de critères éco-éthologiques à prendre en compte pour restaurer la fonctionnalité écologique.....</b>	<b>159</b>
<b>6.3</b>	<b>Pourcentage de gestionnaires d'infrastructures consultés pour l'étude.....</b>	<b>160</b>
<b>7</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>162</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>163</b>

## Index des figures

Figure 1: Fragmentation des milieux naturels en France.....	22
Figure 2 : Evolution des populations du lièvre commun du plateau suisse lorsque son habitat se réduit. Source : R. Andergg – Journée route et faune organisée par l'Office fédéral des forêts, 1984.....	24
Figure 3: Les différents effets des infrastructures de transport sur la faune (Carsignol et al. 2005).....	25
Figure 4 : Comportement dans le milieu aquatique des espèces concernées par la noyade dans les canaux (d'après CEMAGREF, 1982 in (Vanappelghem et al. 2008).....	29
Figure 5 : Comportement des Grands Rhinolophes lors du franchissement de la RN13 au passage du Fays (Roué, Guillaume 2006) .....	32

Figure 6 : Graphique représentant le pourcentage d'espèces d'oiseaux affectées en fonction de l'importance du trafic par jour en moyenne, multipliée par 1 000 (Reijnen, Foppen 2006).....	33
Figure 7 : Graphique présentant le nombre d'individus tués, repoussés et ayant traversés en fonction de l'importance du trafic, d'après Seiler in (SETRA 2007).....	35
Figure 8 : Tableaux permettant de classer et d'estimer l'impact de tronçons routiers sur la faune (Alsace Nature 2008).....	35
Figure 9 : Glissière en béton adhérent (GBA). Source hellopro.fr .....	36
Figure 10 : schéma illustrant les différents impacts sur la faune en fonction de la position des glissières en béton (DBA : séparateur double en béton adhérent, TPC : terre-plein central, GBA : glissière en béton adhérent) (Carsignol et al. 2005).....	37
Figure 11 : Tableaux permettant de classer et d'estimer l'impact de réseaux de canaux sur la faune (Alsace Nature 2008).....	38
Figure 12 : Densité d'oiseaux (en densité relative) selon la pollution sonore (en décibel) causée par la route (Pays-Bas). Quand le bruit dépasse 40-50dBA, la densité des oiseaux aux abords des routes chute drastiquement. Source : (Clevenger, Huijser 2011) .....	40
Figure 13 : Typologie des passages faunes (Carsignol et al. 2005).....	43
Figure 14 : endroit où cliquer pour activer la vue « Street view » (Source : Google maps).....	54
Figure 15 : Vue depuis Google Maps en mode Street view. Cette vue permet de voir que l'autoroute est grillagée. Autoroute A26, Fouquières-lès-Béthune, Hauts-de-France (Source : Street View – Date de l'image : août. 2015 ©2018 Google).....	55
Figure 16 : Vue depuis Google Maps en mode Street view. Cette vue permet de voir que l'autoroute n'est pas grillagée et qu'il y a présence d'un séparateur de voie béton central infranchissable. Autoroute A16, Vieille-Eglise, Hauts-de-France (Source : Street View – Date de l'image : sept. 2017 ©2018 Google).....	55
Figure 17 : Mesure de la largeur d'un passage inférieur sur l'A23 au niveau de la drève de Bassy en forêt de St Amand (59). La mesure s'avère relativement précise. (source Géoportail. Données cartographiques : © IGN 2017, EPF www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales). .....	58
Figure 18 : illustration du cumul de la fragmentation en raison de la proximité d'une autoroute et d'une ligne TGV (source source Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google). .....	59
Figure 19 : Présence d'un passage à faune spécifique inférieur sur la ligne du TGV Est sur la commune d'Essomes-sur-Marne (02) (source Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google). .....	59
Figure 20 : Idem à figure 19 mais avec l'outil Géoportail (source Géoportail. Données cartographiques : © IGN 2017, FEDER, Région Grand-Est, Région Hauts-de-France www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales).....	60
Figure 21 : Présence d'un passage à faune supérieur sur la ligne du TGV Est sur la commune de Le Charmel (02). La présence d'empreintes de roues de véhicules, observables sur géoportail également montre qu'il s'agit d'un passage utilisé par ceux-ci mais a priori rarement (source Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).....	60
Figure 22 : Idem à figure 21 mais avec l'outil Géoportail (source Géoportail. Données cartographiques : © IGN 2017, FEDER, Région Grand-Est, Région Hauts-de-France www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales).....	61
Figure 23 : carte des composantes de la Trame Verte et Bleue du SRCE de Picardie (source projet de SRCE Picardie, résumé non technique).....	66
Figure 24 : exemple du champ de recherche par commune sur sirf.eu. Source : www.sirf.eu.....	67
Figure 25 : exemple de filtres à sélectionner pour faciliter l'analyse sur sirf.eu. Source : www.sirf.eu .....	67
Figure 26 : Affichage de la photographie aérienne avec Google Maps sur la commune de La-capelle-lès-Boulogne (source : Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).....	72

Figure 27 : Affichage de la photographie aérienne infrarouge couleur avec Géoportail sur la commune de La-capelle-lès-Boulogne. (source : Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).....	73
Figure 28 : principaux types d'ouvrages de franchissement d'infrastructure (Carsignol et al. 2005) .....	81
Figure 29 : Entrées de passage avec marche (à gauche) ne permettant pas à certains animaux d'utiliser le passage. A droite, une pente douce le permet (Carsignol et al. 2005).....	82
Figure 30 : Entaille réalisée dans des palplanches métalliques le long d'un canal pour permettre à la faune de s'échapper en évitant la noyade (source : VNF direction territoriale Centre Bourgogne) .....	83
Figure 31 : Passage submergé pendant de fortes pluies à Cubry empêchant la faune terrestre d'emprunter le passage inférieur (Source : RFF – LGV Rhin Rhône).....	84
Figure 32 : différents types de banquettes à créer en maçonnant des ouvrages existants soit sur demande en usine à la fabrication (Source Cerema Est).....	85
Figure 33 : Passage à faune équipé d'une banquette en bois à Frocourt (Hauts-de-France) .....	85
Figure 34 : Aménagement du dalot du ruisseau « la couture » : à gauche avant travaux, à droite après travaux, création d'une banquette avec sol naturel reconstitué. RN 42 section Hautmon-Beaufort (59) source : Cerema Nord-Picardie .....	85
Figure 35 : Buse hydraulique aménagée : en haut à gauche état initial, en bas à gauche création d'une banquette en encorbellement, en bas à droite banquette prolongée pour rester hors inondation sur toute sa longueur. Ouvrage OH46 sur RN42 section Hautmont-Beaufort (59) lieu-dit « sur le bois ». Source Cerema Nord-Picardie .....	86
Figure 36 : clôture permettant de guider les animaux vers un batrachoduc sur l'autoroute A 7 à St Barthelemy-de-Vals. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard .....	87
Figure 37 : système de guidage fait d'un muret béton pour diriger des amphibiens vers un batrachoduc. Source : Maibach.com .....	88
Figure 38 : Mise en place d'andains de bois mort servant d'habitat et de zones refuges pour la petite faune. Autoroute A 7, commune de Beausemblant – Photo cc-by-sa-3 O. Pichard.....	88
Figure 39 : Passage à faune avec un couloir végétal traversant le passage et de la végétation à l'entrée et sortie du passage. source Cerema Nord-Picardie .....	89
Figure 40 : Continuité végétale guidant les animaux vers l'intérieur du passage et facilitant la traversée .....	90
Figure 41 : Mise en place de murs anti-bruit pour réduire le bruit provenant de la route (Source : CC-BY-SA, Frettie) .....	92
Figure 42 : panneau de signalisation A15b indiquant la proximité de passage d'animaux sauvages – photo cc-by-sa-3 Roulex_45.....	93
Figure 43 : Passage supérieur pollué par la lumière des phares provenant de la route (Source : CC-BY-SA, Jamie Hall, The Guardian).....	94
Figure 44 : Exemple de bon et mauvais éclairage : angle, dispersion et orientation Source : Demoulin & Jehin, 2005 in (Siblet 2008).....	95
Figure 45 : zone de reproduction d'amphibiens à protéger de la lumière et du bruit, St Etienne la Thillaye (Source : CC-BY-SA JPL14950) .....	95
Figure 46 : Lampes à éviter et à privilégier. Les croix indiquent un impact important pour la gamme de longueur d'onde précisée. Source : (Wallonie service public 2016).....	96
Figure 47 : Ecran visuel permettant d'éviter l'éclairage de l'ouvrage de franchissement par les phares des véhicules. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard.....	96
Figure 48 : principe d'écran d'occultation sur un ouvrage inférieur (Nowicki 2016) .....	97
Figure 49 : Passage de la bête (Île-de-France) où des fèces de cerf ont été déposés afin de les attirer vers le passage (Vignon, Walczak 1999) .....	98



Figure 50 : trottoir rehaussé de 50 cm de haut permettant d'apporter du substrat naturel et de favoriser une végétalisation naturelle. Source : Ecologistes de l'Euzière in (Nowicki 2016) .....	99
Figure 51 : structure métallique de marque animex fixée contre le tablier d'un ouvrage de franchissement d'une infrastructure. Ce type de structure a montré son efficacité pour le passage du muscardin et de l'écureuil roux (source Animex).....	99
Figure 52 Exemple de seuils métalliques pour buse béton (à gauche) et exemple de mise en œuvre dans une buse hydraulique (source (Durlet et al. 2009) .....	100
Figure 53 : Exemple d'aménagement de buse ou dalot de façon à retenir des sédiments tout en maintenant une continuité physique (source Cerema Nord-Picardie).....	100
Figure 54 : Exemple de mise en place de seuils béton de 10 cm de haut dans un dalot. Source (Durlet et al. 2009).....	101
Figure 55 : Construction d'un batrachoduc à travers route aux États Unis Source : (Glista, DeVault, DeWoody 2009).....	105
Figure 56 : Batrachoduc avec plafonnier ouvert, (Source : CC-BY-SA : Nabu Oberberg).....	105
Figure 57 : exemple d'aménagement pour permettre le passage des amphibiens sous une voie ferrée .....	106
Figure 58 : lampe LED philips de couleur bleu-vert spécialement adapté pour ne pas perturber les déplacements des oiseaux à Ameland aux Pays-Bas (Source www.ledinside.com) .....	107
Figure 59 : exemple de végétalisation des abords et du terre-plein central d'une autoroute allemande (Source © marlon_75/flickr.com).....	108
Figure 60 : Tremplin vert avec arbres hauts augmentant la hauteur de vol des chiroptères (Source : Eiffage) .....	109
Figure 61 : Passerelle à chauves-souris de Balbigny (A89), ouverte sur le dessus et grillagée au-dessous (Source : Kevin Kristen).....	110
Figure 62 : Portique pour chauves-souris (Source : CC-BY-SA, Jaqqery) .....	111
Figure 63 : exemple d'espace de la corniche d'un ouvrage d'art souvent colonisé par les chiroptères (source : Philippe Penicaud in (Nowicki 2016)) .....	111
Figure 64 : parpaing fixé solidaire d'un ouvrage existant et colonisé par des chauves-souris (Source : L. Malclair in (Nowicki 2016)).....	112
Figure 65 : Végétation descendante incitant les chauves-souris à utiliser le passage inférieur (Source : Cerema Est).....	112
Figure 66 : Couplage de haies continues et discontinues (à gauche) et déplacement de haies existantes (à droite) pour guider les chauves-souris vers le passage . Source : (SETRA, CETE de l'Est, CETE Normandie-Centre 2009) .....	113
Figure 67 : Renard photographié en sortie d'un passage de type dalot (Nord-pas-de-Calais) (Source : Cerema Nord-Picardie).....	116
Figure 68 : Fouine photographiée dans un passage à faune de type dalot équipé d'une banquette en bois (Nord-Pas-de-Calais) (Source : Cerema Nord-Picardie).....	118
Figure 69 : carte de localisation de l'ouvrage d'assainissement numéro 1713 à Nielles-lès-Ardres (62) .....	120
Figure 70 : un tireté bleu de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement (au centre au niveau de la flèche blanche) montre qu'il s'agit d'un ouvrage hydraulique d'un écoulement d'eau temporaire. Données cartographiques : © IGN 2018 www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales. ....	121
Figure 71 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	122

Figure 72 : extrait de la carte des continuités écologiques et espaces à renaturer, sous-trame prairies-bocage au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	122
Figure 73 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	123
Figure 74 : vue sur l'ouvrage de franchissement en passage inférieur. photo : J. Bacquaert, CD62 .....	124
Figure 75 : vue de l'intérieur de l'ouvrage de franchissement en passage inférieur. photo : J. Bacquaert, CD62 .....	124
Figure 76 : extrait de carte Google Street View montrant une végétation haute à la sortie nord de l'ouvrage (Source : Street View – Date de l'image : août 2015 ©2018 Google).....	125
Figure 77 : vue de la sortie de l'ouvrage au nord débouchant sur une clôture barbelée 3 fils. Photo : J. Bacquaert, CD62.....	126
Figure 78 : vue Google Street View montrant une haie arbustive au nord de l'infrastructure et une bande herbacée au sud. (Source : Street View – Date de l'image : août 2015 ©2018 Google) .....	126
Figure 79 : Photomontage illustrant quelques mesures envisageables pour améliorer la fonctionnalité écologique de l'ouvrage de franchissement. Source Cerema Nord-Picardie d'après photo : J. Bacquaert, CD62.....	128
Figure 80 : carte de localisation de l'ouvrage de franchissement de la RD 621 (RD 65) .....	129
Figure 81 : extrait de carte Google Street View montrant l'ouvrage de franchissement D65 passant au-dessus de la RD 621. (Source : Street View – Date de l'image : avril 2011 ©2018 Google) .....	130
Figure 82 : carte de localisation de l'ouvrage de franchissement de la RD 621 (voie d'Esquerchin) .....	130
Figure 83 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Cuincy-Esquerchin. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Le hachuré vert sur la commune d'Esquerchin indique un espace forestier à renaturer. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014 ...	132
Figure 84 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	132
Figure 85 : extrait de carte Google Street View montrant l'ouvrage de franchissement « voie d'Esquerchin passant au-dessus de la RD 621. (Source : Street View – Date de l'image : août 2014 ©2018 Google) .....	133
Figure 86 : extrait de carte Google Street View montrant la zone de transition entre le terrain naturel et l'enrobé du trottoir de la voie d'Esquerchin. (Source : Street View – Date de l'image : août 2014 ©2018 Google) .....	134
Figure 87 : Vue aérienne Géoportail montrant un linéaire de prairies et forêts selon un axe sud-ouest – nord-est. L'ouvrage de franchissement est au centre de la carte au niveau du pointeur de souris blanc. Données cartographiques : © IGN, FEDER, EPF, Région Hauts-de-France 2018 <a href="http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales">www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales</a> . .....	134
Figure 88 : extrait de carte Google Street View montrant la vue depuis la RD 621 sur l'ouvrage de franchissement « voie d'Esquerchin ». Vers l'est de la route, présence d'une glissière en béton armé et d'un fossé béton. (Source : Street View – Date de l'image : septembre 2016 ©2018 Google) .....	135
Figure 89 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Pernes-lès-Boulogne. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	139
Figure 90 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	139
Figure 91 : ouvrage de franchissement mais inadapté au passage de la faune à 460 mètres à l'est de l'ouvrage de franchissement étudié. (Source : Street View – Date de l'image : septembre 2016 ©2018 Google).....	140

Figure 92 : Entrée de l'ouvrage inférieur côté nord de la RN42. Photo cc-by-sa-3 O. Pichard.....	140
Figure 93 : ouverture de l'ouvrage de franchissement inférieur côté sud. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard ....	141
Figure 94 : photo montrant l'intérieur de la buse métallique avec un sol en terre végétale. Photo cc-by-sa-3 O. Pichard .....	142
Figure 95 : photo montrant la clôture « 3 fils » à environ 4 mètres devant l'ouverture nord de l'ouvrage de franchissement et le continuum arbustif qui conduit vers celui-ci. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard .....	143
Figure 96 : photo montrant les glissières métalliques sur la RN42 et le continuum végétal le long de celle-ci. Photo cc-by-sa-3 O. Pichard.....	143
Figure 97 : photo montrant l'ouverture sud du passage inférieur après coupe de la végétation. Ainsi la covisibilité est rétablie. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard.....	145
Figure 98 : photo montrant la coupe de la végétation depuis l'ouverture de l'ouvrage de franchissement jusqu'en haut du talus pour favoriser le passage des animaux. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard.....	145
Figure 99 : photomontage de l'aménagement à réaliser pour la mise en place d'un andain de bois et pierre pour faciliter le franchissement de l'infrastructure par la petite faune sans empêcher le passage d'animaux domestiques. D'après photo : cc-by-sa-3 O. Pichard .....	146
Figure 100 : Carte de localisation de l'ouvrage de franchissement de la RN42 en passage inférieur à Setques (62). Source Cerema Nord-Picardie .....	147
Figure 101 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014 .....	149
Figure 102 : extrait de la carte des continuités écologiques, détail pour la sous trame côteaux calcaires et landes et pelouses acidiphiles au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	149
Figure 103 : extrait de la carte des continuités écologiques, détail pour la sous trame forêt au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014 .....	150
Figure 104 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014.....	150
Figure 105 : Ouverture de l'ouvrage de rétablissement hydraulique du ruisseau d'Acquin au sud de la RN42. Photo : cc-by-sa-3 F. Fournier.....	151
Figure 106 : Vue Google Street View montrant la N42 au-dessus de l'ouvrage de franchissement : des glissières en béton armé délimitent le terre-plein central et chacun des bords des deux voies. (Source : Street View – Date de l'image : juin 2016 ©2018 Google).....	152
Figure 107 : Présence de 4 buses hydrauliques à la sortie sud de l'ouvrage de franchissement pour permettre le franchissement du cours d'eau par un chemin parallèle à la RN42. Photo : cc-by-sa-3 F. Fournier.....	153
Figure 108 : photo montrant l'intérieur du dalot le 27/08/2018. Le ruisseau est quasiment à sec à cette période de l'année. Photo : cc-by-sa-3 F. Fournier .....	153
Figure 109 : Vue Google Street View montrant le chemin d'Acquembronne situé à 200 mètres à l'ouest de l'ouvrage de franchissement étudié. (Source : Street View – Date de l'image : avril 2013 ©2018 Google).....	154
Figure 110 : Vue Google Street View montrant la rue de Quelmes à 480 mètres à l'est de l'ouvrage de franchissement étudié. (Source : Street View – Date de l'image : juin 2009 ©2018 Google).....	154
Figure 111 : Exemple de mise en place de seuils béton de 10 cm de haut dans un dalot. Source (Durllet et al. 2009).....	156

Figure 112 : Schéma d'aménagement de l'ouvrage de franchissement hydraulique avec une banquette d'environ 1 m de hauteur occupant le 1/3 de la largeur du dalot. Source Cerema Nord-Picardie..... 156

Figure 113 : Exemple d'aménagement réalisable : dalot du ruisseau « la couture » : à gauche avant travaux, à droite après travaux, création d'une banquette avec sol naturel reconstitué. RN 42 section Hautmont-Beaufort (59) source : Cerema Nord-Picardie..... 157

Figure 114 : Buse hydraulique aménagée : en bas à gauche création d'une banquette en encorbellement, en bas à droite banquette prolongée pour rester hors inondation sur toute sa longueur. Exemple de l'ouvrage OH46 sur RN42 section Hautmont-Beaufort (59) lieu-dit « sur le bois ». Source Cerema Nord-Picardie ..... 157

## Index des tableaux

Tableau 1 : lien entre trafic routier et taux de mortalité, en fonction de différentes études (Ganet 2012) .....33

Tableau 2 : maximum de mortalité enregistré pour 3 espèce selon le nombre de véhicules par jour (Alsace Nature 2008).....34

Tableau 3 : liste des espèces à enjeux de continuité écologique devant faire l'objet d'une attention particulière. Niveau de rareté et menace d'après (Collectif faunistique du référentiel 2014) ..... 69

# Remerciements

Les premiers remerciements s'adressent à l'agence de l'eau Artois Picardie en particulier Stéphane Jourdan qui a eu confiance dans l'éligibilité de ce projet à son origine. C'est grâce à l'agence de l'eau que ce travail a été possible. Nous (les auteurs du présent document) remercions également nos interlocuteurs à l'agence de l'eau : Estelle Chevillard , Christophe Lesniak et Jérôme Malbrancq. Nous remercions également la direction des infrastructures de transport (DIT) au sein de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) du ministère de la Transition écologique et solidaire, pour leur contribution financière au thème de la phase 1. Cette contribution a permis d'apporter des informations complémentaires à ce qui était prévu dans le cadre du financement de l'agence de l'eau. Nous remercions Mme Elvire Henry, chargée d'études biodiversité et climat au bureau de la politique de l'environnement à la DIT pour ses conseils et remarques sur le présent document.

Nous remercions également les personnes qui nous ont apporté des informations sur cette étude :

- Jérôme Bacquaert du conseil départemental du Pas-de-Calais ;
- Carole Ledda du conseil départemental du Nord ;
- Laurent Devroe et Michael Guénot ;
- Vincent Cohez et Simon Dutilleul de la Coordination Mammalogique du Nord de la France (CMNF) ;
- Thibaud Asset, de Voies navigables de France (VNF) ;
- Luc Chrétien, François Nowicki, Marc Gigueux, Julian Pichenot et Alain Morand du Cerema Est ;
- Ahmed Menouche et Florian Fournier du Cerema Nord-Picardie

Nous remercions également toutes les personnes du Cerema Nord-Picardie, chef de groupe, de département et directeur mais également les équipes du secrétariat.



# Introduction

Dans le cadre de l'élargissement des missions des agences de l'eau à la biodiversité et à la mer (loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages – JO du 9 août 2016), l'Agence de l'Eau Artois Picardie a lancé en octobre 2017 les initiatives en faveur de la biodiversité, destinées à soutenir des projets de préservation des milieux et de communication.

Le cahier des charges de cet appel à initiative est disponible à cette adresse :

<http://www.eau-artois-picardie.fr/initiatives-en-faveur-de-la-biodiversite-dans-le-bassin-artois-picardie>

Le Cerema Nord-Picardie a déposé 5 projets différents à l'occasion de cet appel à initiative. Ces projets ont tous été approuvés par délibération du Conseil d'administration du 23/06/2017.

Le présent dossier concerne les critères éco-éthologiques à prendre en compte pour la restauration des continuités écologiques au droit des ouvrages de franchissement d'infrastructures de transport.



# 1 Présentation du projet

## 1.1 Présentation du Cerema

Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) établissement public à caractère administratif (EPA) placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et celle du ministère du logement et de l'habitat durable. Le Cerema développe des relations étroites avec les collectivités territoriales qui sont présentes dans ses instances de gouvernance.

Répondant au besoin de disposer d'un appui scientifique et technique renforcé, pour élaborer, mettre en œuvre et évaluer les politiques publiques de l'aménagement du territoire et du développement durable, le Cerema constitue aux plans national et territorial, un centre de ressources et d'expertises techniques et scientifiques en appui aux services de l'État et des collectivités locales.

La spécificité de l'établissement repose sur un ancrage territorial fort avec 8 directions territoriales dont la Direction territoriale Nord-Picardie et sur des missions fixées par la loi du 28 mai 2013 permettant, sur des champs comme celui de la biodiversité, d'apporter aux acteurs territoriaux un appui en termes d'ingénierie et d'expertise technique sur des projets d'aménagement comme la trame verte régionale nécessitant une approche scientifique, pluridisciplinaire et impliquant un effort de solidarité des territoires.

Le Cerema privilégie l'innovation, l'expertise et la méthodologie, ainsi que la diffusion des savoir-faire et des connaissances.

### 1.1.1 Nos domaines de compétences

Fort de son potentiel de recherche pluridisciplinaire, de son expertise technique et de ses approches pluridisciplinaires, le Cerema intervient dans de nombreux domaines comme ceux de l'aménagement, de la ville et des bâtiments durables, des transports et des risques auxquels sont soumis les territoires, et sur les grands domaines techniques de l'environnement pour mieux prendre en compte la gestion, la préservation et la restauration des ressources naturelles.

Sur le champ spécifique de la biodiversité (habitats naturels, espèces faunistique et floristique), des continuités écologiques (trame verte et bleue) et de la gestion intégrée des espaces, le Cerema développe l'appui à l'élaboration de documents de planification des territoires et soutient la gestion et la restauration des écosystèmes perturbés et leurs fonctionnalités.

Ses engagements sur le thème de la transparence écologique des infrastructures, de leurs impacts sur la biodiversité, et sur le champ de la nature en ville répondent à de nombreuses sollicitations. Il contribue aux plans nationaux d'espèces et au plan national d'action « milieux humides », ainsi qu'aux avancées méthodologiques en matière de détection et de suivi d'espèces faunistiques et floristiques courantes ou remarquables dans les espaces aménagés. Il dispose donc d'un niveau d'expertise et d'une vision pluridisciplinaire reconnu sur le champ de la biodiversité.

Au sein de la Direction territoriale Nord-Picardie et de son département "Territoires Ecologie, Energie, Risques" (TEER), le groupe Aménagement Milieux Naturels Biodiversité (AMNB), composée de 4 agents spécialistes des milieux vivants, développe son activité sur l'expertise des milieux naturels et de la biodiversité et les continuités écologiques en lien avec les projets d'aménagement du territoire.

Elle intervient pour les missions suivantes :

- Assistance à maîtrise d'ouvrage pour des missions d'évaluation des impacts liés aux infrastructures (bioévaluation de projets routiers, études d'impacts, analyse d'offres...);
- Contrôles qualité des projets d'aménagement ayant une incidence sur la faune et la flore (contrôle externe et contrôle extérieur);

- Accompagnement des services de l'État pour la mise en œuvre des politiques publiques (Schéma régional de cohérence écologique, trame verte et bleue, intégration des continuités écologiques dans les documents d'urbanisme... ;
- Capitalisation de connaissances liées à la biodiversité : harmonisation des cartographies d'habitats naturels Natura 2000 à l'échelle de l'inter-région... ;
- Ingénierie écologique : Conception et suivi de mesures de requalification environnementale, définition et mise en œuvre de mesures d'évitement, de réduction et de compensation d'impacts sur les milieux naturels... ;
- Expertises technique et économique de contrats Natura 2000 ;
- Rédaction de documents techniques sur de nombreux thèmes tels que les espèces exotiques envahissantes, l'entretien des dépendances vertes des infrastructures de transport ou encore les techniques innovantes de détection et d'inventaire de la faune...
- Inventaires naturalistes dans le cadre du suivi de la mise en œuvre de mesures environnementales : inventaires de la faune terrestre et de la fonctionnalité écologique par mise en place de pièges photographiques et inventaires amphibiens.

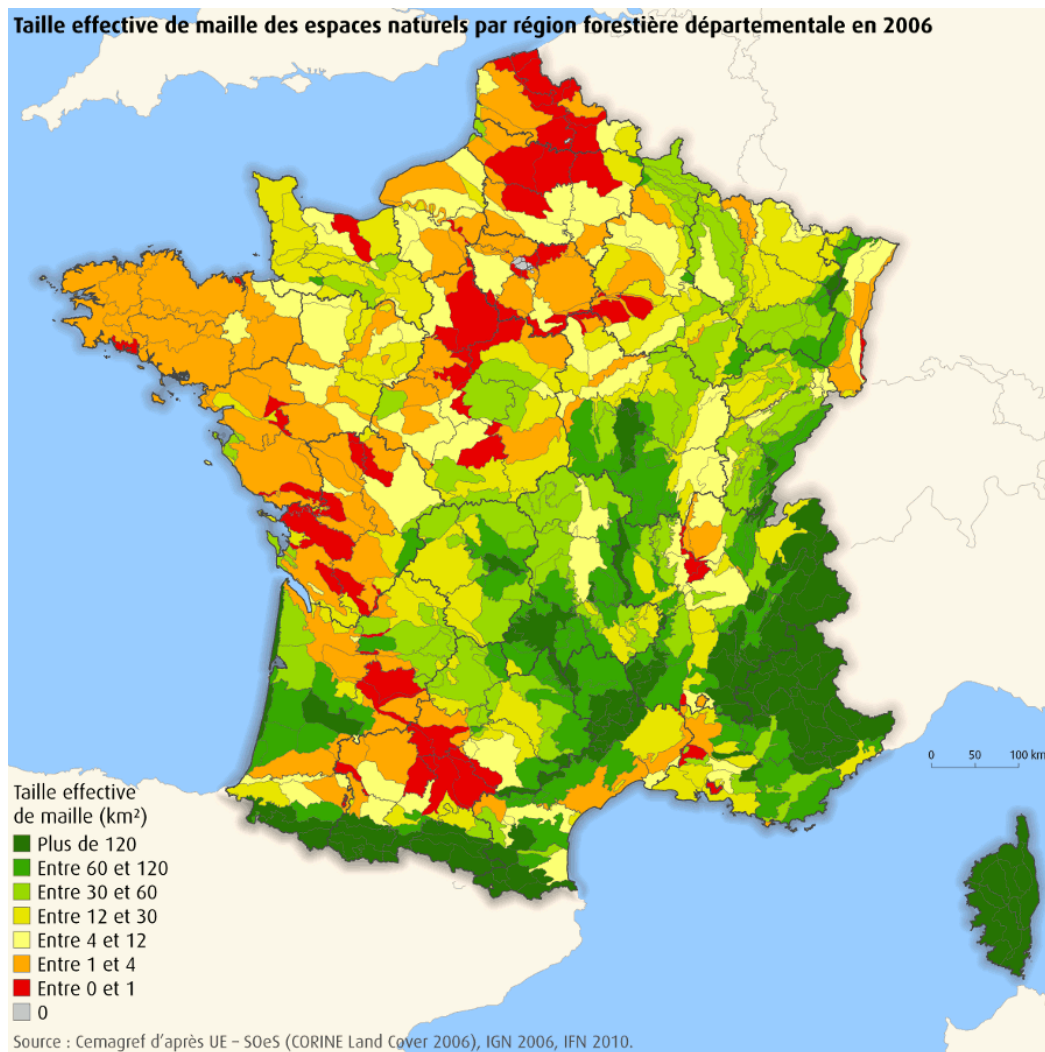
## 2 Phase 1 : Identification des facteurs éco-éthologiques influençant les continuités écologiques au droit d'ouvrages d'infrastructures

### 2.1 Introduction

#### 2.1.1 Contexte

L'activité humaine a un impact négatif manifeste sur les écosystèmes. En effet, il y a vingt ans, elle avait déjà des répercussions sur un tiers à un demi de la surface de la planète (Vitousek et al. 1997). Parmi les conséquences qu'elle engendre, les principales sont le braconnage, l'introduction d'espèces invasives, la surexploitation des ressources naturelles, la pollution, le réchauffement climatique et la perte, la dégradation et la fragmentation de l'habitat. Cette dernière, fortement impactante dans les pays dits « développés », y compris la France (Illustration 1), se définit par « tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace, susceptible d'empêcher une ou plusieurs espèces vivantes de se déplacer ou de se disperser comme elles le pourraient en l'absence de facteur de fragmentation » (Gerbeaud Maulin, Long 2008).

La fragmentation concerne tout particulièrement les infrastructures de transport routier, ferroviaire et fluvial, qui morcellent les éco-paysages, augmentent la mortalité liée aux collisions et altèrent les corridors écologiques. La fragmentation s'intensifie ces dernières décennies avec l'évolution grandissante des infrastructures de transport. En effet, en 1960, 1560 km d'autoroute étaient présents sur le territoire français contre 11 000 km 50 ans plus tard (Carsignol 2011).



*Figure 1: Fragmentation des milieux naturels en France*

*Légende : « Une faible taille de maille indique un morcellement des espaces naturels du territoire étudié. Plus la taille est faible, plus les espaces naturels sont morcelés. » (Source : Observatoire National de la Biodiversité)*

De plus, l'impact des infrastructures de transport ne se limite pas au seul périmètre des routes. Aux États-Unis, les routes et bas-côtés ne représentent qu'1 % du territoire, et pourtant leur impact estimé atteindrait 20 % de la surface du pays (Forman 2000). De plus, selon une autre étude (Benítez-López, Alkemade, Verweij 2010), l'effet d'une infrastructure de transport sur un écosystème pourrait s'étendre jusqu'à 1 km pour les oiseaux et 5 km pour les mammifères. Ainsi, les différentes études se rejoignent pour souligner l'impact néfaste des infrastructures de transport sur les écosystèmes et la biodiversité et il est maintenant nécessaire d'améliorer les continuités écologiques (Gloyne, Clevenger 2001) et de diminuer les perturbations occasionnées par l'activité humaine (Clevenger 2005).

Pour ce faire, une bonne compréhension du comportement qu'adopte la faune sauvage aux abords des infrastructures de transport est donc essentielle. Ainsi, comprendre le comportement de la faune permettra de distinguer quels facteurs ont un rôle dans la fragmentation des habitats et les continuités écologiques. En d'autres termes, quels facteurs représentent une barrière qui rend tel ou tel ouvrage plus ou moins fragmentant. La barrière la plus évidente est la barrière physique instaurée par la construction d'un ouvrage. Mais de nombreuses études montrent que d'autres barrières (structurelles, sensorielles...) entrent en jeu et que chaque espèce réagit de manière différente à la présence des infrastructures (Glista, DeVault, DeWoody 2009). L'éthologie et l'écologie de l'animal sont alors une source d'information non négligeable afin d'analyser les barrières auxquelles est confrontée la faune sauvage aux

abords des infrastructures de transport. Ainsi, la présente étude permet l'identification de ces facteurs éco-éthologiques par le biais d'une synthèse bibliographique.

Depuis 1960, une nette augmentation de la nécessité d'atténuation de la fragmentation pour la protection de la faune par le biais d'ouvrages appelés passages à faune est notable (Vanpeene-Bruhier, Berne 2005). Le passage à faune a pour objectif d'augmenter la perméabilité des infrastructures de transport et de diminuer les collisions faune-véhicule de transport. Ainsi, les passages à faune ont déjà prouvé leur efficacité en termes de connectivité des populations (Gloyne, Clevenger 2001; Sawaya, Clevenger, Kalinowski 2013; Barrueto, Ford, Clevenger 2014). Pourtant, nombreux sont ceux qui sont mal adaptés à la faune avoisinante. Il est alors intéressant de comprendre le comportement de la faune face à ces passages, car certaines études soulignent le caractère spécifique de ces derniers (Clevenger 2005). En effet, chaque espèce ou groupe d'espèces a une conception différente du passage à faune dit préférentiel (Carsignol 2011; Mata Estacio et al. 2003a; Clevenger 2005). Ainsi, les critères affectant la fréquentation des différents passages à faune sont des éléments clé à prendre en compte dans la conception ou la restauration d'ouvrages spécifiques.

Une discussion autour des pistes d'amélioration des continuités écologiques et des passages à faune a été réalisée. À partir de ces recherches bibliographiques, il a été conçu un guide méthodologique, résumant les différents facteurs pouvant influencer le franchissement des passages à faune par la faune terrestre et les améliorations possibles.

## **2.2 Notions d'écologie du paysage, d'éco-éthologie et définitions**

La notion d'écosystème se rapporte à « un ensemble vivant formé par un groupement de différentes espèces en interrelations entre elles et avec leur environnement, sur une échelle spatiale donnée » (cf. CNRS). L'écosystème a des caractéristiques qui lui sont propres comme une richesse spécifique donnée, une certaine température ou un pH du sol particulier et toutes ces caractéristiques entrent dans un cycle permettant à l'écosystème de fonctionner de manière optimale. À l'heure de l'industrialisation et de la modernisation, certaines actions dues à l'homme ont impacté le bon fonctionnement des écosystèmes. La fragmentation notamment, comme définie précédemment, engendre plusieurs perturbations dans les écosystèmes.

### **2.2.1 Modifications sur le milieu non vivant**

Le milieu physico-chimique peut se retrouver modifié. Ainsi, nombreuses sont les actions anthropiques qui vont avoir un effet sur le milieu non vivant (abiotique) par bien des manières. Certains habitats peuvent voir leur capacité de rétention d'eau réduite, un changement de pH du substrat du sol, ou encore une pollution par des intrants de type pesticide, par exemple. De là découle une cascade de répercussions qui impacte plusieurs maillons de l'écosystème, dont la biodiversité environnante.

### **2.2.2 Changements au niveau de l'éco-paysage : notion de continuité écologique**

Les continuités écologiques sont une notion clé pour traiter de la fragmentation d'un habitat. Cette notion est définie par les éléments du maillage d'espaces ou de milieux constitutifs d'un réseau écologique qui correspond à l'ensemble des « réservoirs de biodiversité », des « corridors écologiques » et les cours d'eau (SETRA / CGDD 2011). Les continuités écologiques sont donc une notion qui englobe un panel d'espaces de toutes tailles, allant, par exemple, de quelques mètres pour les micromammifères à plusieurs kilomètres pour les grands ongulés tels que cerfs, élans... (Vignon 1999). Les continuités écologiques offrent des conditions favorables à la faune et à la flore pour le déplacement et l'accomplissement de leur cycle de vie (Labat 2018). L'installation d'infrastructures de transport va donc perturber, voire dans certains cas supprimer les continuités écologiques ; et plus précisément les corridors écologiques, qui comprennent « les espaces naturels ou semi-naturels ainsi que les formations végétales linéaires ou ponctuelles permettant de relier les réservoirs de biodiversité, et les couvertures végétales permanentes le long des cours d'eau » (Labat 2018). Ainsi, la présence d'une infrastructure de transport morcelle le paysage, empêchant les

corridors écologiques de jouer leurs rôles et dans certains cas, cela pourra entraîner une insularisation écologique (Jaeger et al. 2005). Ce concept décrit l'isolement physique ou génétique des populations.

### 2.2.3 Perturbations de la biodiversité

De toute évidence, les modifications du milieu abiotique et les diminutions des continuités écologiques affectent également le milieu biotique avoisinant l'infrastructure dans un périmètre plus ou moins vaste selon les espèces. Ainsi, des conséquences directes sont notables telles que la mortalité entraînée par les collisions avec les véhicules, la perte d'habitat due à la présence de l'infrastructure, l'imperméabilité des routes pour certaines espèces qui ne pourront plus traverser en raison de leur anatomie ou de leur mode de déplacement (Jaeger et al. 2005). L'évitement des infrastructures est également une réponse pour certaines espèces qui évitent toute interaction avec l'infrastructure. Un effet de lisière peut se créer, où un périmètre plus ou moins grand autour d'infrastructures est délaissé par la faune sauvage. L'insularisation écologique et l'imperméabilité des infrastructures entraînent également une subdivision de certaines populations présentes (Jaeger et al. 2005).

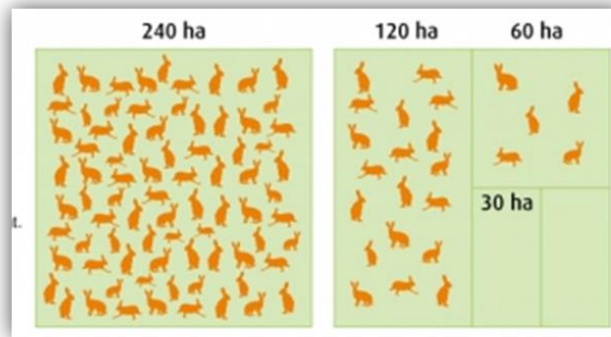


Figure 2 : Evolution des populations du lièvre commun du plateau suisse lorsque son habitat se réduit.  
Source : R. Andergg – Journée route et faune organisée par l'Office fédéral des forêts, 1984

A cela, s'ajoutent également les effets indirects, comme la perte en diversité génétique due à l'isolement écologique, une diminution de la reproduction, des modifications des déplacements, de la migration et de la dispersion, ainsi qu'une inaccessibilité à certaines ressources alimentaires (Jaeger et al. 2005; Gerbeaud Maulin, Long 2008). De ce fait, certaines espèces moins sensibles à la fragmentation sont favorisées par ce processus et cela peut alors entraîner des modifications dans les interactions inter-espèces. La compétition et la prédation peuvent se retrouver perturbées, voire radicalement changées dans des milieux où la présence de perturbations d'origine anthropique est forte.

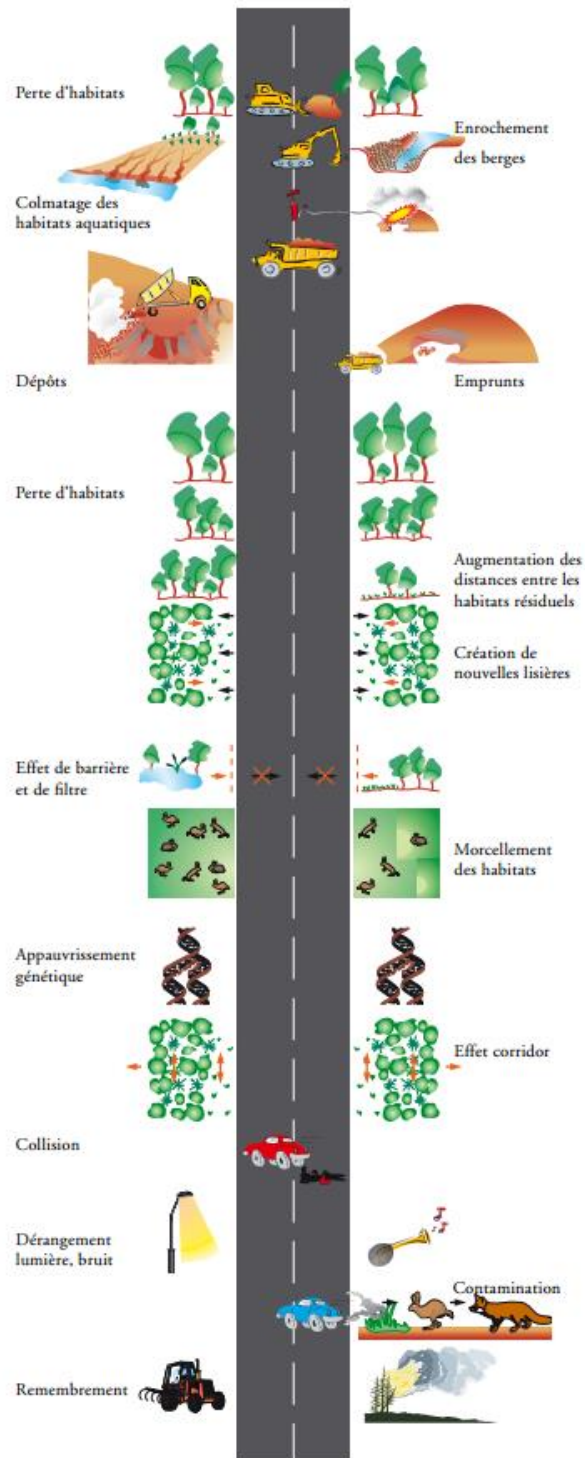


Figure 3: Les différents effets des infrastructures de transport sur la faune (Carsignol et al. 2005)



## 2.2.4 Un exemple des conséquences de la fragmentation : l'absence de dissémination des graines

La zoochorie ou dispersion de graines ou plus généralement de diaspores<sup>1</sup> par la faune est un pilier important des continuités écologiques. La dispersion des graines peut s'effectuer à plusieurs niveaux et à des échelles différentes. En effet plusieurs sortes de zoochorie existent (Van Leeuwen 2018) :

→ Epizoochorie ou ectozoochorie : l'animal transporte les graines sur son corps. Les abeilles sont connues pour être d'importantes pollinisatrices mais certaines espèces peuvent également transporter un nombre important de graines comme les cerfs ou les sangliers.

→ Endozoochorie : les animaux ingèrent la graine ou le fruit et après un passage par le tube digestif, la diaspore ressort indemne et a donc ainsi été transportée dans un nouvel environnement.

→ Synzoochorie : certaines espèces, particulièrement les fourmis et les oiseaux, transportent les graines dans le but de créer un garde-manger, ainsi, certaines diaspores sont perdues ou oubliées et vont donc pouvoir évoluer dans un environnement différent de celui de la plante mère.

→ Dyzoochorie : les animaux ingèrent et détruisent les diaspores mais certaines parties résiduelles sont accidentellement lâchées pendant l'alimentation.

Ces différentes zoochories contribuent, à leur manière, à maintenir des continuités écologiques viables. Ainsi, l'absence ou la diminution de passage d'espèces dispersives due à la présence d'une infrastructure de transport peut avoir des conséquences en cascade modifiant l'écosystème : modification de la flore de part et d'autre de l'infrastructure, changement d'habitat pour certaines espèces qui étaient associées à un certain type de flore, diminution de l'attractivité des corridors écologiques et habitats perturbés.

La discontinuité écologique créée par l'absence de végétation, le changement de la nature du sol ou encore les différences de température a un impact important sur la diminution des continuités écologiques. À cela s'ajoute un autre critère qui est à la fois une conséquence et une cause de la fragmentation : la zoochorie. En effet, la diminution de déplacement des espèces transportant des diaspores, causée par la fragmentation, devient un facteur qui joue sur les continuités écologiques, puisque la végétation ne sera plus dispersée de manière optimale et les corridors écologiques seront donc altérés.

## 2.3 L'éco-éthologie, concept intégrateur des ruptures de continuités écologique

Afin de diminuer les impacts néfastes de la fragmentation, il serait intéressant de connaître les différents facteurs qui vont engendrer ces différentes perturbations. En effet, il est évident que la structure de l'infrastructure et ses caractéristiques physiques jouent un rôle sur la fragmentation d'un milieu et sur la réponse de la faune, mais il est moins évident de comprendre les autres facteurs dans leur ensemble qui viennent se cumuler et augmenter ainsi le pouvoir fragmentant d'une structure. C'est ici que le concept d'éco-éthologie prend tout son sens.

L'éco-éthologie est selon Maurer (Maurer 2016), « l'étude de l'influence du milieu (qui inclut les autres organismes, y compris les autres individus de la même espèce) sur le comportement des animaux et l'évolution de celui-ci » .

D'un point de vue de l'éco-éthologie, les stratégies comportementales tirent l'essentiel de leur valeur du succès reproductif. Plus les coûts en énergie et la prise de risque (pour la recherche de nourriture ou la reproduction par

---

<sup>1</sup> partie de plante qui sont disséminées, permettant ainsi la propagation des espèces

exemple) sont faibles, plus la valeur de survie du comportement est grande, au sens où elle optimise les chances de se reproduire (Danchin, Giraldeau, Cézilly 2005)

Le concept d'éco-éthologie est fondamental dans une perspective de continuité écologique et plus généralement de fonctionnalité écologique car il se situe au niveau de l'interaction entre un individu et tous les paramètres qui composent son environnement. L'originalité de ce concept tient au fait qu'il doit permettre de se mettre « dans la peau de l'animal » que l'on étudie. Il faut ainsi pouvoir intégrer le plus possible les connaissances sur l'éthologie de l'espèce étudiée afin d'essayer de comprendre sur site, à quoi il peut être sensible, intégrer ses peurs, ses motivations à se déplacer (recherche de nourriture, reproduction...) et cela tout au long de son cycle biologique. Il est également important de prendre en compte les variabilités individuelles au sein d'une même espèce. Certains individus peuvent être particulièrement téméraires d'autres beaucoup moins en sachant également que le comportement d'un individu sera modifié en fonction du niveau d'efforts qu'il doit faire pour assurer sa survie (recherche de nourriture, de partenaire sexuel, d'abris etc.).

Hélas, si des progrès ont été réalisés au cours des dernières décennies, il existe encore énormément à apprendre sur l'éthologie animale en général, en particulier au droit d'infrastructures de transport. Les connaissances sont encore hétérogènes selon les groupes d'espèces et selon les espèces au sein de ces groupes.

La perméabilité des routes n'a pas été étudiée du point de vue de l'animal. En effet, cette notion reste très anthropocentrée et rétablir une perméabilité par le biais de passage à faune ne signifie pas toujours restaurer la connectivité entre les populations (Bissonette, Adair 2008). Les passages à faune ne sont pas généralistes et ne sont donc pas perméables à toute la faune. Ainsi, pour certaines espèces ces ouvrages ne permettent pas la suppression des obstacles qui réduisent la connectivité entre ces populations (Boucher 2010). De ce fait, aux facteurs agissant comme barrière déjà cités précédemment, s'ajoutent d'autres facteurs éco-éthologiques qui influencent les espèces pour l'utilisation des passages à faune.

Dans le contexte de la fragmentation, il s'agira donc de comprendre les caractéristiques des infrastructures de transport ayant une influence sur le comportement de la faune sauvage. Ces influences font appel aux sens de l'animal et on peut identifier, entre autres, la luminosité, le bruit, ou la végétation avoisinante. De plus, il est également intéressant de comprendre quels sont les critères selon lesquels ces caractéristiques impactent la faune, quels facteurs représentent une barrière totale pour certaines espèces et surtout quels sont les seuils de tolérance pour les espèces sensibles. Ainsi, la littérature rapporte plusieurs facteurs éco-éthologique ayant un rôle dans la fragmentation d'un milieu pour la faune sauvage. Ce rapport a pour but de synthétiser les informations disponibles.

De manière générale, le concept d'éco-éthologie permet d'aborder la fragmentation au niveau de l'individu lui-même, en prenant en compte sa sensibilité aux facteurs extérieurs, y compris face à d'autres individus de son espèce, et ce tout au long de son cycle biologique et de sa vie toute entière. Ce concept nécessite donc une connaissance approfondie de l'écologie de l'espèce à étudier. Néanmoins, il est possible de dégager des grandes lignes communes à plusieurs espèces telle que leur capacité à franchir un séparateur de voie béton par exemple. L'objectif du présent travail est d'élaborer un guide listant les principaux critères éco-éthologiques les plus simples à identifier au bureau ou sur le terrain.

## 2.4 Périmètre de l'étude

Cette synthèse bibliographique s'appuie sur différents supports : articles scientifiques, livres, rapports d'étude (Cerema et Setra), sites internet spécialisés (CNRS et Trame Verte et Bleue) ainsi que des conférences. Ces documents ont permis de recueillir des informations relatives aux continuités écologiques au regard d'infrastructures de transport, qu'elles soient routières, ferroviaires ou fluviales ; et de dresser une liste non exhaustive mais représentative des facteurs éco-éthologiques impactant les continuités écologiques.

En ce qui concerne les passages à faune, ont été incluses toutes structures d'origine anthropique **existantes** permettant à la faune de traverser une infrastructure de transport sans danger direct. Il peut donc s'agir de buses

hydrauliques, de passages inférieurs ou supérieurs dédiés ou non à la faune. En revanche, ce rapport exclut les impacts sur la biodiversité et les écosystèmes dus à la construction des ouvrages, impacts immédiats et néfastes pouvant survenir en phase chantier sur la faune et la flore avoisinantes (Barrientos, Borda-de-Água 2017). Ces aspects seront cependant traités dans le guide sur la préservation et la restauration des continuités dans le cadre d'un projet d'infrastructure de transport (Cerema Est à paraître).

Seule la faune terrestre (mammifères, y compris chauves-souris, oiseaux, reptiles, amphibiens et insectes) est traitée dans ce document. Concernant la faune aquatique, quelques notions seront abordées au sujet des poissons mais ce sujet est si spécifique qu'il est préférable de consulter des études spécialisées, notamment, la note d'information sur les continuités écologiques et la faune piscicole (CETE de l'Est, ONEMA 2013).

Le manque de données sur certains groupes et certaines espèces n'est pas synonyme d'une sensibilité moindre à certains facteurs, mais d'un manque d'études réalisées sur certains taxons comme les reptiles et les insectes tout particulièrement.

Ce document vise principalement les gestionnaires d'infrastructure de transport, mais il peut également s'adresser à toute personne susceptible d'être intéressée par la thématique de la fragmentation et des continuités écologiques.

## 2.5 Objectifs de l'étude

Ce rapport est une combinaison de divers objectifs ayant comme but commun la création d'un guide pour les gestionnaires d'infrastructure qui souhaitent améliorer ou restaurer un ouvrage existant de franchissement d'une infrastructure pour le rendre davantage utilisable pour le franchissement de la faune.

Les objectifs sont les suivants :

- Synthétiser les facteurs éco-éthologiques, structurels d'une part et sensoriels d'autre part, inhérents aux infrastructures de transport, et impactant les continuités écologiques.
- Lister les différents facteurs éco-éthologiques qui jouent un rôle dans le franchissement des infrastructures par la faune.
- Créer un guide méthodologique permettant d'identifier pour un ouvrage de franchissement d'une infrastructure donnée, les principaux facteurs éco-éthologiques limitant son utilisation par la faune.
- Présenter 4 situations différentes d'ouvrage de franchissement existant d'une infrastructure de transport afin d'illustrer l'utilisation du guide méthodologique.

## 2.6 Caractéristiques éco-éthologiques des infrastructures influant sur les continuités écologiques

### 2.6.1 Critères structurels liés aux infrastructures de transport

La route en elle-même représente une barrière plus ou moins perméable à la faune. Outre la mortalité directe et la suppression d'habitat qu'elle engendre lors de sa construction (Trombulak, Frissell 2000), elle crée également une discontinuité dans l'écosystème dans lequel elle est introduite. La présence de routes peut donc entraîner des modifications sur le comportement de la faune sauvage : changement d'habitat, modification des mouvements, diminution du succès reproducteur, altération de la réponse de fuite et enfin, perturbation de certains processus physiologiques (Trombulak, Frissell 2000). Plusieurs facteurs intrinsèques à la route influent donc sur l'augmentation de la fragmentation et la diminution de la connectivité écologique. Mais de nombreuses études montrent que d'autres

barrières entrent en jeu et que chaque espèce réagit de manière différente à la présence de ces infrastructures (Glista, DeVault, DeWoody 2009).

## 2.6.1.1 Largeur de l'infrastructure à franchir

### 2.6.1.1.1 Infrastructure routière

La largeur des infrastructures est un critère clé pour la plupart des espèces animales. Ce critère est négativement corrélé aux passages d'animaux. En effet, plus la route est large, moins les animaux ont tendance à traverser. Cette tendance est retrouvée chez de nombreux groupes faunistiques tels que les mammifères (Clevenger, Waltho 2005; Boucher 2010), les oiseaux (Kociolek et al. 2011a; Tremblay, St Clair 2009), les amphibiens (Woltz, Gibbs, Ducey 2008).

La petite faune semble plus impactée que la grande faune par la largeur de la route. En effet, en raison de sa petite taille, les probabilités de collision sont augmentées.

### 2.6.1.1.2 Infrastructure ferroviaire

Malgré une analyse de la bibliographie existante, nous n'avons pas trouvé d'éléments fiables concernant le rôle de la largeur de l'infrastructure ferroviaire sur sa franchissabilité par la faune.

### 2.6.1.1.3 Infrastructure fluviales

Les informations ne sont pas très précises concernant les capacités de la faune à franchir les canaux. Une étude réalisée par le CEMAGREF en 1982 reprise par le Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais (Vanappelghem et al. 2008) permet de connaître les distances de franchissement pour certains animaux (Figure 4 ci-dessous).

	Comportements dans l'eau	Distance de nage moyenne	Distance de nage maximum	Profondeur optimale d'appui pour sortir de l'eau
Cerf élaphe	Bon à excellent nageur	-	-	45 cm
Chevreuril européen	Bon nageur, entre 0,8 à 1 km/h (jusqu'à 2 km/h en état de stress) Endurance maximale : 1h10	1200 m	2000 m	30 cm
Sanglier	Excellent nageur	1500-2000 m	3000 m	30 cm
Renard/Blaireau	Bon nageur mais sur de courtes distances	Pas de données précises		10 cm
Autres petits mammifères terrestres	Nage sur de courtes distances	Pas de données précises		

Figure 4 : Comportement dans le milieu aquatique des espèces concernées par la noyade dans les canaux (d'après CEMAGREF, 1982 in (Vanappelghem et al. 2008))

## 2.6.1.2 Nature du revêtement de la voie à franchir

### 2.6.1.2.1 Infrastructure routière

Le revêtement de la route influence certaines espèces qui seront repoussées par le matériau de construction lui-même (Jaeger et al. 2005; Woltz, Gibbs, Ducey 2008). Par exemple, les amphibiens peuvent être particulièrement impactés par la nature du sol. En effet, une étude (Woltz, Gibbs, Ducey 2008), montre que la grenouille verte a une préférence pour les sols en terre et gravier plutôt qu'en béton et PVC. La présence ou non d'humidité pour cette grenouille est un critère de fragmentation. Beaucoup d'amphibiens ont une sensibilité accrue à l'humidité du fait de la nécessité de conserver une peau toujours humide, d'où la préférence pour les sols de terre et de gravier. Une étude a montré que la grenouille rousse (*Rana esculenta*) et le crapaud commun (*Bufo bufo*) pouvaient utiliser indifféremment un passage avec de l'herbe ou celui avec du béton. Contrairement à la grenouille agile (*Rana dalmatina*), qui utilise très largement le passage avec le substrat herbeux (Testud, Miaud 2018).

### 2.6.1.2.2 Infrastructure ferroviaire

Le nombre d'études portant sur les voies ferrées est faible dans la littérature par rapport à celles portant sur l'écologie des routes (Popp, Boyle 2017). En effet, l'impact de voies ferrées reste très peu connu malgré un intérêt récent de la part des chercheurs. Pour les infrastructures de transport ferroviaire, le sol est un élément dissuasif pour de nombreuses espèces. En effet, sa configuration avec un sol pavé et/ou caillouteux et des rails peut empêcher plusieurs espèces de traverser en fonction de leur anatomie, morphologie et mode de déplacement (Barrientos, Borda-de-Água 2017).

Il est évident que les routes et voies ferrées ont des impacts similaires sur les écosystèmes comme, par exemple, la mortalité due aux collisions. Pourtant, il est difficile de comparer le nombre de morts causé par les routes et par les transports ferroviaires puisque le dénombrement des cas pour les transports ferroviaires reste compliqué : voies moins accessibles, cadavres moins visibles... Une synthèse bibliographique de 17 études sur l'impact des voies ferrées a permis de souligner plusieurs effets sur la biodiversité comme la perte de connectivité, la discontinuité écologique, l'effet barrière ou encore l'évitement (Popp, Boyle 2017).

En plus de créer une barrière, voire un évitement, certaines espèces peuvent se retrouver piégées entre les rails sans avoir la capacité d'en sortir (Kornilev, Price, Dorcas 2006). Par exemple, une étude réalisée sur les tortues a montré que ces dernières pouvaient rester emprisonnées entre les rails sans pouvoir passer au-dessus (Kornilev, Price, Dorcas 2006). Les vibrations émanant des trains à grande vitesse sur les rails ont également un impact néfaste sur la biodiversité et peuvent perturber certaines espèces qui auront tendance à éviter les ouvrages. Ainsi, une réduction de la richesse spécifique et de l'abondance de certaines espèces sont notables aux abords des ouvrages ferroviaires.

#### 2.6.1.2.2.1 Effets positifs des bas-côtés des chemins de fer

Certaines études ont permis de mettre en évidence un effet fragmentant supérieur des routes et autoroutes comparé aux voies ferroviaires (Vandeveld, Penone 2017). En effet, malgré les points communs entre les différents transports vus précédemment, des différences entre chemins de fer et routes sont notables : la circulation est moins dense sur la plupart du réseau ferroviaire d'une part et les lisières et bas-côtés sont plus larges et continus d'autre part. De plus, la gestion des voies ferroviaires en France est réalisée par une seule société, SNCF réseau. Aussi l'application d'une gestion favorisant la biodiversité peut être plus simple à mettre en place et plus homogène que lorsque plusieurs acteurs sont impliqués (Vandeveld, Penone 2017). Selon une étude (Tremblay, St Clair 2009), les voies ferrées seraient les structures les plus perméables de toutes les infrastructures de transport.

En plus de leur effet fragmentant moindre, des impacts positifs peuvent également exister. Si nous nous intéressons de plus près aux effets des bas-côtés sur la biodiversité, beaucoup d'espèces arrivent à tirer des bénéfices de ces structures. Il a été rapporté, pour les chiroptères, un niveau d'activité identique sur les bas-côtés des chemins de fer et dans d'autres habitats anthropisés tels que les terrains agricoles ou les prairies (Vandeveld, Penone 2017). De plus, certaines espèces du genre *Pipistrellus* et *Noctylus* étaient plus actives aux abords des chemins de fer. Ainsi, ces bas-côtés pourraient servir autant de continuums linéaires, de zone de chasse, que d'habitats pour certaines espèces de mammifères. En revanche, le genre *Myotis spp.* était négativement impacté par la présence des structures pendant

la période de reproduction. En effet, son activité avait tendance à être plus basse près des infrastructures ferroviaires (Vandeveld, Penone 2017).

Les orthoptères peuvent également profiter des bas-côtés végétalisés des bords de rails puisque le couvert végétal est propice au développement de nombreuses espèces d'insectes. En effet, il a été montré que les criquets étaient plus abondants quand les bords de rails étaient végétalisés plutôt que pavés (Vandeveld, Penone 2017).

En ce qui concerne la connectivité transversale, il est souvent admis que l'infrastructure de transport ferroviaire représente une barrière imperméable à de nombreuses espèces surtout celles de petite taille. Pourtant, une étude (Vandeveld, Penone 2017) montre que certaines espèces de papillons n'ont pas été impactées lors d'une expérience de translocation de part et d'autre d'une voie ferrée et sont revenues dans leur habitat, traversant la voie ferrée (Vandeveld, Penone 2017).

La présence de voies de transport ferroviaires semble donc avoir des effets mitigés sur la biodiversité. Certaines espèces sont fortement impactées par la présence de transport ferroviaire et d'autres espèces de mammifères, d'oiseaux, de chiroptères et d'insectes tirent parti de ces ouvrages en se servant des bas-côtés comme habitats, zone de nourrissage et/ou corridors écologiques (Barrientos, Borda-de-Água 2017; Vandeveld, Penone 2017). Ainsi, il serait intéressant de mettre en avant ces impacts positifs avec une gestion adaptée des voies ferrées et de leurs dépendances.

### *2.6.1.2.3 Infrastructure fluviales*

La présence d'infrastructures de transport fluvial est moins impactante que celle des deux autres structures. En effet, il est plus facile et plus sécurisé de traverser une rivière qu'une route ou une voie ferrée. Cependant, certaines espèces sont réticentes à la traversée de cours d'eau, comme les oiseaux (Trombulak, Frissell 2000). De plus, la limite des cours d'eau provient le plus souvent des berges verticales bétonnées ou avec des palplanches où les animaux ne peuvent pas remonter (voir paragraphe 2.6.1.1.3).

### **2.6.1.3 *Discontinuité des milieux naturels et artificiels (infrastructure à franchir ou ouvrage de franchissement)***

Le revêtement de l'infrastructure, qu'elle soit routière, ferroviaire ou fluviale engendre une discontinuité écologique importante en fonction de sa nature, mais aussi en raison de la suppression de la végétation. Plusieurs conséquences découlent de l'implantation d'une infrastructure de transport : changement de la nature du sol, de son hygrométrie, de la modification des écoulements, de la sédimentation, de la température, de la luminosité, et d'apport supplémentaire de déchets (Trombulak, Frissell 2000). Cela représente des obstacles importants pour beaucoup d'espèces comme les mammifères (Boucher, 2010), surtout la petite faune (McDonald, St Clair 2004) ou encore les oiseaux (Tremblay, St Clair 2009). Cela s'explique par le manque de protection ressenti durant la traversée de l'infrastructure, qui laisse l'animal à la portée de nombreux prédateurs sans possibilité de se dissimuler. Aussi, les espèces qui n'ont pas l'habitude d'évoluer dans un milieu ouvert sont plus impactées par cette discontinuité.

Les chiroptères représentent un groupe particulièrement impacté par les discontinuités écologiques. En effet, ce groupe s'oriente grâce à un système appelé écholocation. Les espèces émettent donc des ultra-sons qui vont « rebondir » sur le milieu avoisinant et leur parvenir à nouveau sous forme d'écho. Ce système permet l'obtention d'informations sur leur environnement, les éventuels obstacles et les proies potentielles. Ainsi, les chiroptères se servent de l'alignement des arbres pour se déplacer dans leur environnement. Par conséquent, les espèces ayant un vol bas, proche du sol, sont très impactées par la discontinuité écologique (Fensome, Mathews 2016; Berthinussen, Altringham 2012; Lesiński 2007). Ces dernières ont tendance à suivre de près les continuums linéaires créés par la végétation, ainsi, toute césure marquée par la présence d'une route entraîne un changement d'altitude des chiroptères. Ainsi, il est souvent observé une baisse rapide et importante de l'altitude de vol des chiroptères pouvant avoir comme conséquence une augmentation du nombre de collision avec les véhicules de transport. Cela est notamment le cas pour le Grand Rhinolophe (Roué, Guillaume 2006).



Puis d'un seul coup (seulement 10-15 individus), ils traversent perpendiculairement les 3 voies en passant au plus court puis passés de l'autre côté de la voie, ils relongent le talus vers le sud-ouest pour ensuite obliquer au plus vite vers la forêt.

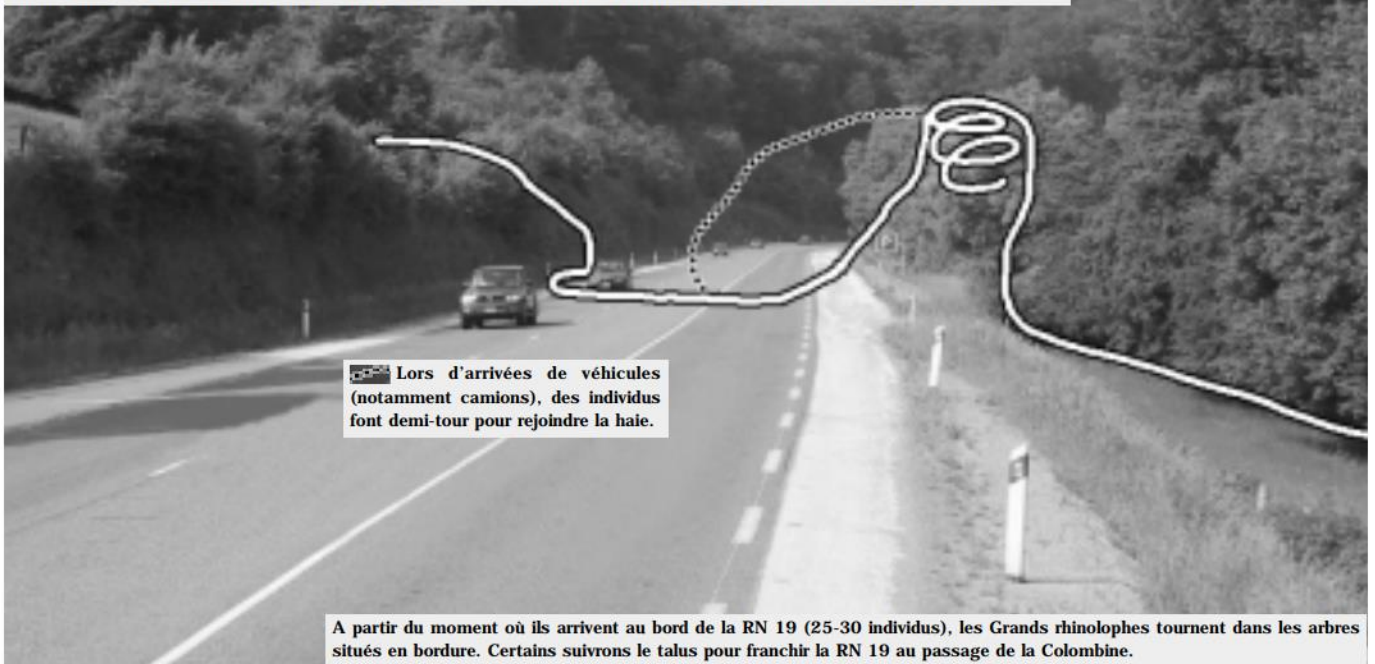


Figure 5 : Comportement des Grands Rhinolophes lors du franchissement de la RN13 au passage du Fays (Roué, Guillaume 2006)

Ce phénomène est d'autant plus fréquent que la route est en remblais. La hauteur du vol de la traversée serait corrélée à la hauteur de la structure paysagère bordant les routes (Berthinussen, Altringham 2012). Les espèces ayant l'habitude d'effectuer la recherche alimentaire en milieu ouvert semblent moins impactées par les collisions que les espèces se nourrissant en milieu dense (Berthinussen, Altringham 2012; Lesiński, Sikora, Olszewski 2011). Les espèces évoluant dans les milieux denses seraient moins habituées à se déplacer à travers le milieu ouvert créé par une route et seraient donc plus sujettes aux collisions. De plus, les jeunes seraient plus affectés par les collisions que les adultes (Lesiński 2007).

#### 2.6.1.4 *Présence de véhicules sur l'infrastructure*

La présence de véhicules de transport a un effet sur l'évitement des infrastructures, ainsi que sur les mortalités liées aux collisions dans le cas des infrastructures de transport routier et ferroviaire (Jaeger et al. 2005). Pour les voies ferrées, la vitesse élevée des trains constituent l'un des facteurs principaux accentuant les risques les risques de collision (Alsace Nature 2008). En effet, certaines espèces ont tendance à faire demi-tour à l'approche de véhicules ou à éviter les alentours des routes. Par exemple, dans une étude (Tremblay, St Clair 2009), les oiseaux ont été aperçus faisant demi-tour quand une voiture était engagée sur l'infrastructure routière. Pourtant, le cas inverse est aussi observé, avec des profils d'espèces qui ne craignent pas la présence de véhicules de transport.

#### 2.6.1.5 *intensité du trafic*

##### 2.6.1.5.1 *Trafic routier*

**Pour les amphibiens**, une étude montre une mortalité allant jusqu'à 50 % des individus d'une population migratrice de crapauds communs *Bufo bufo*, avec un trafic routier variant de 24 à 40 véhicules par heure pour une première route (Fahrig et al. 1995). Pour une deuxième, le passage de 26 voitures à l'heure causerait la mort de toute la population migratrice. Durant les migrations nuptiales, le nombre d'individus tués peut atteindre les 100 % de la population reproductrice (Fahrig et al. 1995; Semlitsch 2003). Les liens entre trafic routier et le taux de mortalité, en fonction de différentes études, ont été résumés dans le tableau suivant (Ganet 2012) :



TRAFIC	TAUX DE MORTALITE	AUTEURS
240 véhicules/jours	30 % des femelles dans une population de crapauds communs ( <i>Bufo bufo</i> )	Van Gelder, 1973 (cité par Jochimsen <i>et al.</i> , 2004)
3207 véhicules/jour	Entre 34 et 61 %	Hels et Buchwald, 2001
Plus de 15000 véhicules/jour	98 %	Hels et Buchwald, 2001
Entre 576 et 960 véhicules/jour	50 %	Kuhn, 1987 (cité par Andrews et Jochimsen, 2007)
624 véhicules/jours	Réduction du taux de survie des crapauds traversant la route (proche de zéro)	Heine, 1987 (cité par Andrews et Jochimsen, 2007)
A partir de 5000 – 6000 véhicules/jour (24h)	Proportion de crapauds et grenouilles mortes proche de 1	Fahrig <i>et al.</i> , 1995

Tableau 1 : lien entre trafic routier et taux de mortalité, en fonction de différentes études (Ganet 2012)

Pour l'avifaune, une étude (Reijnen, Foppen 2006) a regroupé dans un graphique le travail de 9 études (Reijnen, Foppen, Meeuwsen 1996; Reijnen, Foppen 1995) portant sur les conséquences du trafic routier sur les espèces d'oiseaux : échassiers et espèces forestières, de milieux ouverts, de parcs et jardins (anthropisés), de milieu aquatique (Pays-Bas). Il semble que l'impact atteigne un seuil à partir de 30 000 véhicules/jour avec environ 50 % des espèces touchées.

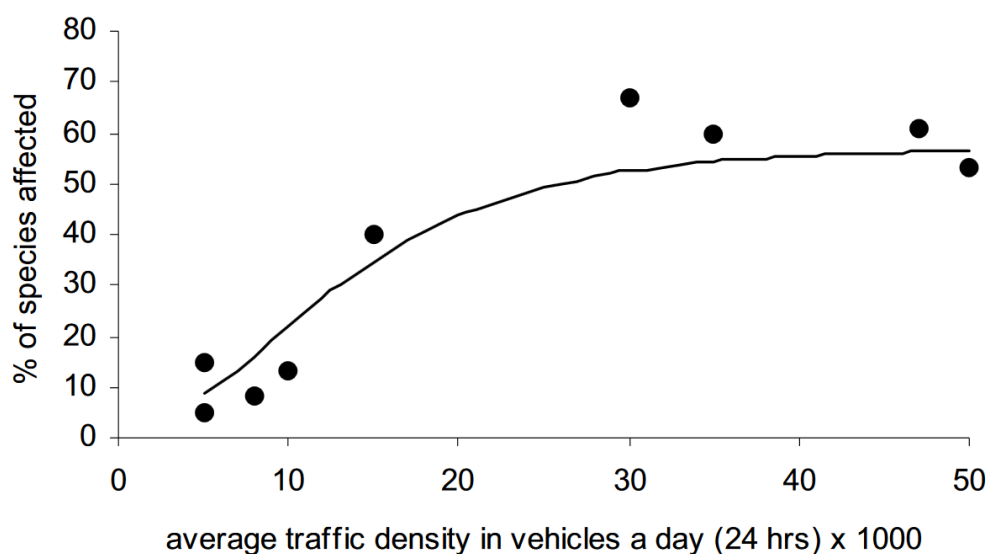


Figure 6 : Graphique représentant le pourcentage d'espèces d'oiseaux affectées en fonction de l'importance du trafic par jour en moyenne, multipliée par 1 000 (Reijnen, Foppen 2006)

En bordure de routes fréquentées (5 000 à 50 000 voitures), une baisse de la population aviaire de 12 à 56 % a été observée, variant selon les espèces étudiées (Reijnen, Foppen 1995). Selon une étude (Brotons, Herrando 2001), les oiseaux généralistes et spécialistes (non communs) sont impactés par la présence des autoroutes, mais pas des plus petites routes, contrairement aux espèces communes dont la densité ne diffère pas aux abords de routes par rapport aux forêts (Brotons, Herrando 2001).

**Pour les mammifères**, des données issues du document réalisé par Alsace Nature (Alsace Nature 2008), ont été résumées dans le tableau suivant, avec le maximum de mortalité pour 3 espèces en fonction de différentes références. Au-delà du nombre de véhicules par jour indiqué, les espèces franchissent moins l'infrastructure et à partir de 4 000 véhicules par jour, la route devient une barrière infranchissable pour le Chevreuil par exemple.

Espèces concernées	Nombre de véhicules par jour	Références
Chevreuil ( <i>Capreolus capreolus</i> )	1 000 à 2 000	Müller et Berthoud, 1995
Écureuil roux ( <i>Sciurus vulgaris</i> )	1 500 à 4 000	Clevenger <i>et al.</i> , 2003
Hérisson d'Europe ( <i>Erinaceus europaeus</i> )	10500	Orlowski et Nowak, 2006

Tableau 2 : maximum de mortalité enregistré pour 3 espèce selon le nombre de véhicules par jour (Alsace Nature 2008)

L'intensité du trafic, propre à chaque route, est un facteur impactant la perméabilité des routes et les mortalités (Whittington, St. Clair, Mercer 2004; Gagnon *et al.* 2007; Tremblay, St Clair 2009). Plus le trafic est dense, moins les animaux traversent et plus l'évitement de la route est grand. Aussi, le nombre de collisions est corrélé au nombre de véhicules jusqu'à atteindre un palier. En conséquence, si le volume du trafic est trop important, l'imperméabilité sera complète et aucun animal ne s'aventurera à traverser la route.

Selon un graphique présentant le nombre d'individus tués, repoussés et ayant traversés en fonction de l'importance du trafic (Seiler in (SETRA 2007)), la route devient imperméable au passage de la faune au-delà de 10 000 véhicules par jour. Entre 2 500 et 10 000, elle est considérée comme un piège mortel et en-dessous de 2 500 véhicules/jour, peu d'animaux sont impactés.

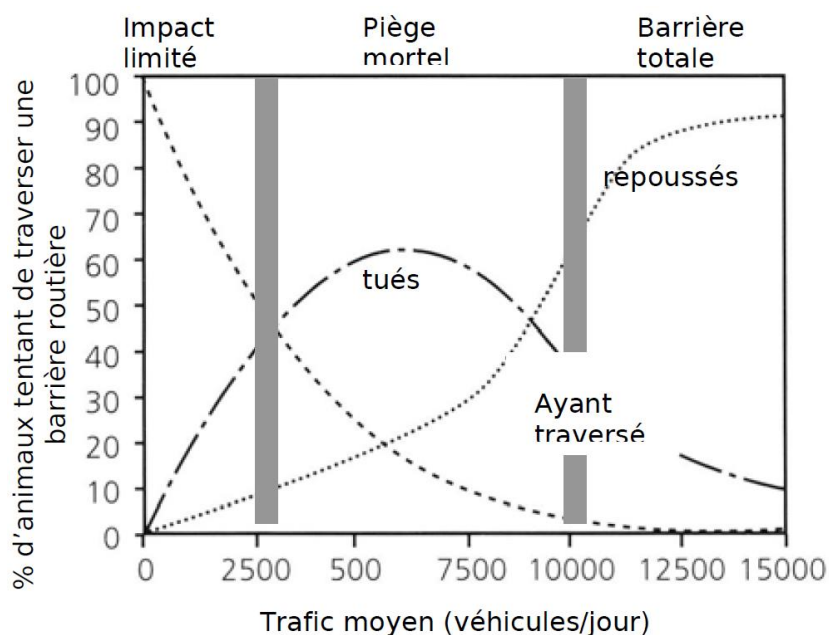


Figure 7 : Graphique présentant le nombre d'individus tués, repoussés et ayant traversés en fonction de l'importance du trafic, d'après Seiler in (SETRA 2007)

Le même rapport réalisé par Alsace Nature (Alsace Nature 2008) met en place un classement des routes grâce à un coefficient. Ce dernier permet d'avoir une classe et d'estimer l'impact de la route en fonction de l'intensité du trafic et de la largeur de la route. Plus le coefficient est élevé (et également le numéro de classe) et plus le niveau fragmentant de la route est important.

**Classes de valeurs des tronçons du réseau routier fragmentant :**

Classe	Valeur finale coefficient	Impact estimé du tronçon routier	Description
4	7	<b>très important</b>	Tous les grands axes routiers équipés, quel que soit le trafic
3	5-6	<b>important</b>	- Routes standards avec trafic fort - 3 voies et + non équipées avec trafic moyen à fort
2	3-4	<b>assez important</b>	- Routes standards avec trafic moyen maximum - 3 voies et + non équipées avec trafic faible ou non connu
1	2	<b>moindre</b>	Petites routes avec trafic non connu

**Représentation cartographique réseau fragmentant :**

trafic / largeur	<=4 m	4<>10 m	>=10 m	Axes « équipés »
non connu	classe 1	classe 2	classe 2	classe 4
<=2500 veh/j	classe 1	classe 2	classe 2	classe 4
2500<>10000 veh/j	classe 2	classe 2	classe 3	classe 4
>=10000 veh/j	classe 2	classe 3	classe 3	classe 4
Représentation cartographique	Trait simple			Trait double

Figure 8 : Tableaux permettant de classer et d'estimer l'impact de tronçons routiers sur la faune (Alsace Nature 2008)

Les chiroptères sont aussi sensibles à ce facteur. En effet, dans une étude (Zurcher, Sparks, Bennett 2010), 40 % des chiroptères traversaient la route en présence de véhicules contre 68 % quand aucun véhicule n'était visible sur la route. De tous les facteurs testés (hauteur de vol, vitesse et type du véhicule, nuisances sonores), seule la présence de véhicules avait une incidence sur les traversées des chiroptères.

La **vitesse routière** a également d'une manière générale un fort impact sur la mortalité de la faune. Les routes à vitesse élevée ont tendance à connaître un plus grand nombre de collisions.

En résumé, les amphibiens et reptiles rencontrent une véritable barrière aux alentours d'un trafic de 6 000 à 15 000 véhicules par jour, les mammifères terrestres à partir de 10 000 véhicules par jour et les oiseaux à partir de 10 000 véhicules. Il y a bien sûr des variations selon les espèces.

#### 2.6.1.5.2 Trafic ferroviaire

En ce qui concerne les infrastructures ferroviaires, la densité du trafic est moindre mais la vitesse des véhicules est nettement supérieure à celle des voitures (Santos, Carvalho, Mira 2017). Cela signifie que pour certaines espèces ayant les capacités morphologiques et un mode de locomotion permettant de traverser les voies, les voies ferrées représentent une barrière moindre que les routes et autoroutes. En revanche, d'autres risques sont plus marqués que pour la route : les mortalités par collision et le piégeage dans les rails (Santos, Carvalho, Mira 2017). Aussi, les voies ferrées peu fréquentées représentent une barrière moindre que celles où les trains circulent de manière continue (Barrientos, Borda-de-Água 2017).

#### 2.6.1.5.3 Trafic fluvial

Concernant le trafic fluvial, nous n'avons pas trouvé d'études montrant l'incidence de l'intensité du trafic fluvial sur le franchissement de la faune. Toutefois, les embarcations naviguant en général à faible allure et étant espacées dans le temps et dans l'espace, cet impact probablement non nul devrait être limité.

### 2.6.1.6 Présence d'obstacles infranchissables

#### 2.6.1.6.1 Infrastructure routière

En 1987, les autoroutes et voies rapides ont été munies de séparateur simple en béton adhérent (GBA = Glissière en Béton Adhérent) ou type New Jersey, ayant une hauteur allant de 78 à 83 cm. L'impact de cette installation n'a pas été mesuré car il n'y a pas de suivis de mortalité et il n'est pas possible de savoir à l'avance où un séparateur sera installé pour pouvoir effectuer un témoin avant l'installation. Cependant, la mise en place d'un séparateur, au milieu de deux voies ou uniquement d'un seul côté, augmente l'effet de barrière et la mortalité animale. Ainsi, l'individu sera bloqué, soit entre les deux voies, soit il est arrivé sur la route par le côté non aménagé et se retrouve bloqué en voulant passer de l'autre côté du linéaire de transport (Carsignol, 2005).

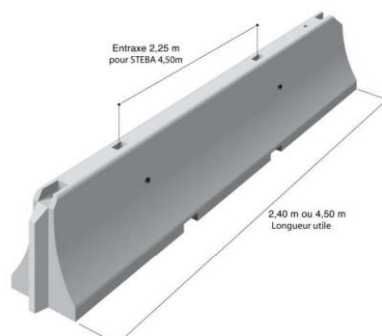


Figure 9 : Glissière en béton adhérent (GBA). Source hellopro.fr

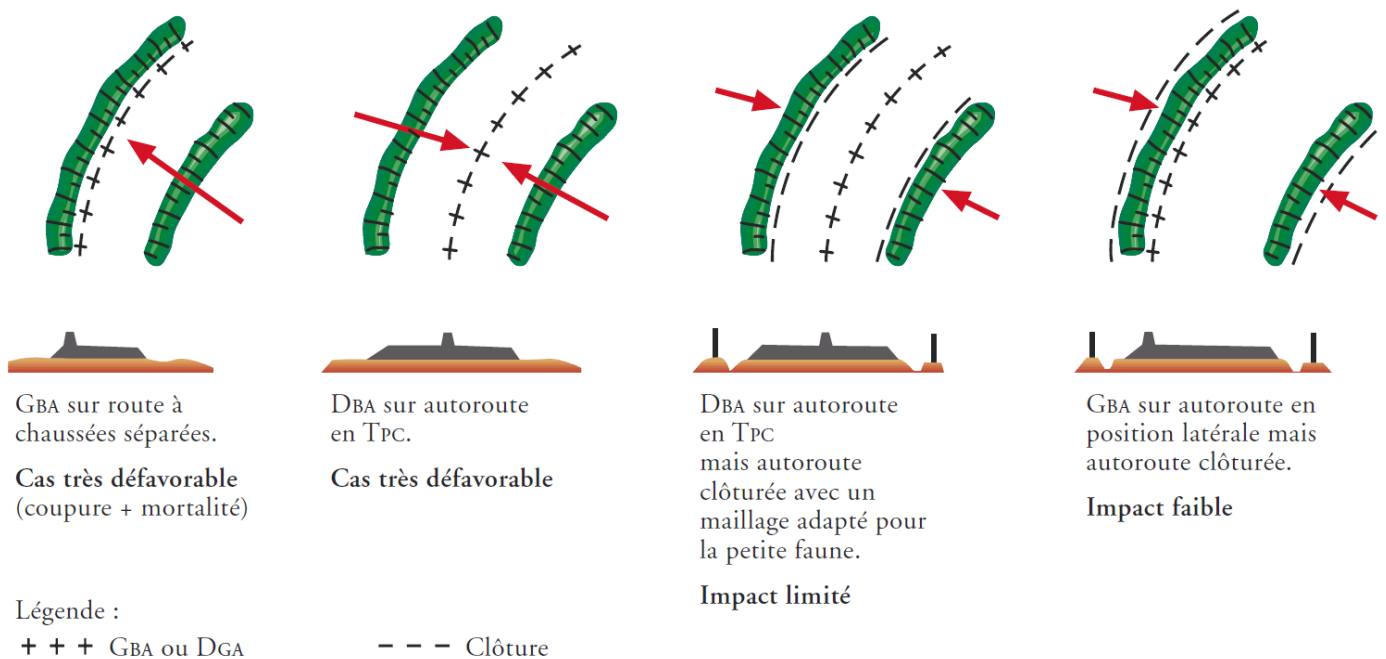


Figure 10 : schéma illustrant les différents impacts sur la faune en fonction de la position des glissières en béton (DBA : séparateur double en béton adhérent, TPC : terre-plein central, GBA : glissière en béton adhérent) (Carsignol et al. 2005)

D'autres obstacles peuvent être infranchissables pour la petite faune comme certains amphibiens si un trottoir ou un caniveau est trop haut. Certaines routes peuvent également être grillagées sans que cela soit conçu pour amener les animaux vers des passages à faune adaptés.

#### 2.6.1.6.2 Infrastructure ferroviaire

Sur des voies de chemin de fer, si le ballast est en contact étroit avec les rails, cela devient un obstacle infranchissable pour les amphibiens (Percsy 2005).

Avant d'atteindre les voies, le grillage rend imperméable la traversée pour une partie de la faune, en particulier pour les anciennes Lignes à Grande Vitesse (LGV) qui ne disposent pas suffisamment de passages faune. En effet, un grillage est mis en place pour empêcher tout franchissement par les humains et la grande faune. Depuis plusieurs années, les grillages mis en place permettent de guider les animaux vers des passages à faune dédiés. Également, cette installation peut être à maille fine bloquant une partie de la petite faune (Alsace Nature 2008).

#### 2.6.1.6.3 Infrastructure fluviale

Les berges des canaux et rivières sont souvent aménagées de la même manière, de façon systématique, avec des palplanches. Or, la mise en place de ce type d'installation rend impossible la remontée par les animaux tombés dans l'eau, entraînant leurs noyades. De plus, des palplanches peuvent être installées sur des longueurs de linéaires importantes, entraînant une mortalité de la faune non négligeable. Ainsi, en fonction des types de berges, il est possible d'évaluer l'impact des canaux ou autres cours d'eau (Alsace Nature 2008).

### Valeur des coefficients affectés selon la nature des berges

	Berge droite	Berge gauche
Berge en palplanches / béton (ou tout autre technique empêchant la remontée des vertébrés)	3	3
Berge en enrochement	1	1
Berge naturelle	0	0

### Représentation finale du réseau fragmentant canaux

valeur totale coefficient tronçon (addition)	couleur de représentation	Descriptif	Effet	
6	Classe 3	Palplanches* sur les deux rives	Cloisonnement + mortalité	<b>Linéaires à inclure et à représenter dans le réseau fragmentant régional</b>
3 ou 4	Classe 2	Palplanches* sur une rive	Cloisonnement	
1 ou 2	Classe 1	Enrochement présent sur l'une ou les deux rive(s)	Réduction de la fonctionnalité de corridor biologique du cours d'eau	Linéaires hors réseau fragmentant régional
0	Classe 0	Rives naturelles		
-		Champs non renseignés		

\*ou toute technique de maintien des berges empêchant de manière similaire la remontée de la faune.

Figure 11 : Tableaux permettant de classer et d'estimer l'impact de réseaux de canaux sur la faune (Alsace Nature 2008)

#### 2.6.1.6.4 Cumul d'infrastructures de transport

Dans certaines situations, des infrastructures peuvent être proches les unes des autres, comme plusieurs routes, des échangeurs autoroutiers ou encore une route et une voie de chemin de fer. Des études ont montré que des cumuls d'infrastructures en milieu montagneux isolent les populations de rennes car cela constitue des obstacles importants. De même, des infrastructures parallèles, n'étant pas dans le même couloir, présentent une dégradation de la biodiversité locale au niveau des espaces intermédiaires (Seiler in (SETRA 2007)).

Le cumul d'infrastructures prend également en compte tous les paramètres vus précédemment, à savoir la largeur, le trafic, la présence de véhicules ou encore la nature du revêtement.

En résumé, un vaste groupe d'espèces est impacté par la présence d'une infrastructure de transport. Plusieurs barrières physiques, comme la largeur de la route, son revêtement, son trafic, l'activité humaine qui y est associée ou encore la présence d'une discontinuité écologique tel que du grillage ou un séparateur de voie béton, limitent le franchissement de l'infrastructure par les animaux. L'impact de ces facteurs dépend de la sensibilité propre à chaque espèce. Les conséquences sont diverses, on peut cependant citer la hausse de mortalité par collision et l'évitement des routes qui augmentent la fragmentation.

#### 2.6.1.7 Limites : notion de variabilité entre mêmes espèces (intraspécifique) ou entre espèces différentes (interspécifiques)

Nous avons déjà évoqué précédemment les variations intra ou interspécifiques face aux facteurs limitant la continuité écologique. Certains animaux attirés par une ressource alimentaire animale ou végétale associée aux infrastructures de transport vont être exposés à des risques importants de mortalité. Par exemple pour les élans en Norvège se nourrissant des coupes d'arbre après gestion des voies ferrées, le risque de collision est augmenté (Barrientos, Borda-de-Água 2017). Il faut également prendre en compte des risques plus importants en fonction de l'étape du cycle biologique d'une espèce. Par exemple, pour certaines espèces migratrices comme les amphibiens, cette

fenêtre temporelle est à haut risque puisque le franchissement d'infrastructure de transport sera inéluctable (Santos, Carvalho, Mira 2017).

## 2.6.2 Critères sensoriels liés aux infrastructures de transport ou aux ouvrages de franchissement

Les barrières sensorielles rassemblent tous les facteurs faisant appel aux sens de l'animal. Certaines barrières pouvant être classées dans la catégorie visuelle ont déjà été citées dans la partie précédente sur les caractéristiques de la route. Ainsi, deux facteurs majeurs avaient été notés : la largeur de la route et la discontinuité écologique avec le manque de végétation. D'autres facteurs sensoriels entrent également en jeu comme les facteurs auditifs, olfactifs ou encore tactiles. Ces critères dépendent de la sensibilité propre à chaque espèce.

### 2.6.2.1 Critères visuels

L'éclairage présent aux abords des routes entre dans la catégorie des pollutions lumineuses. La pollution lumineuse est définie comme étant « *le rayonnement lumineux infrarouge, UV et visible émis à l'extérieur ou vers l'extérieur, et qui par sa direction, intensité ou qualité, peut avoir un effet nuisible ou incommode sur l'homme, sur le paysage ou les écosystèmes* » (Klober 2002 in (CDC biodiversité, Association nationale pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes 2015)). La présence de lumière aux abords des infrastructures a des effets divers sur la faune : certaines espèces sont repoussées par la présence de lumière artificielle (phototaxie négative) et a contrario, d'autres sont attirées (phototaxie positive). La deuxième catégorie regroupe beaucoup d'invertébrés qui sont désorientés par les sources lumineuses et « prisonniers » du faisceau de lumière. Ce phénomène a des conséquences directes et indirectes, comme une mort par épuisement, des brûlures ou collisions, une augmentation de la prédation et une diminution de la reproduction (Eisenbeis 2002).

Une revue bibliographique (Siblet 2008) a été réalisée rapportant les différentes conséquences des pollutions lumineuses sur la faune et la flore. Il en ressort un fort impact sur un éventail de groupes faunistiques variés. En effet, les mammifères terrestres sont repoussés par la présence de lumière, ainsi, certains habitats pouvant être favorable sont évités, accentuant de ce fait la fragmentation. La pollution lumineuse peut également impacter les rythmes biologiques en modifiant les processus physiologiques (Raavel, Lamiot 1998). En effet, la présence de la lumière nocturne est le principal facteur de perturbation des rythmes biologiques. Le groupe des chiroptères, dont les espèces sont nocturnes, est particulièrement impacté par la présence de sources lumineuses, surtout si ces dernières sont continues (Wray et al. 2005). Beaucoup de conséquences ont été observées : diminution de la reproduction, de la répartition des espèces ou encore effet fragmentant.

La lumière interfère aussi avec les activités alimentaires en modifiant la compétition et la prédation (Siblet 2008; Raavel, Lamiot 1998). Certains invertébrés attirés par la lumière étant concentrés autour des zones éclairées, l'activité alimentaire de certaines espèces se recentre sur ces sites et certaines espèces sont donc bénéficiaires et d'autres déficitaires. Cela peut aussi mener à la surexploitation des proies et, comme mentionné précédemment, à une diminution drastique de certaines populations d'invertébrés. Certaines études ont montré que les perturbations occasionnées pouvaient amener à la destruction entière de colonies (Siblet 2008).

**Les oiseaux** aussi sont sensibles à la présence de pollution lumineuse qui engendre deux conséquences majeures : perturbation des migrations et diminution du succès reproducteur (Siblet 2008). Les oiseaux migrateurs utilisent les étoiles pour se diriger durant la nuit, aussi, des sources lumineuses égalant le niveau lumineux des phares d'une voiture peuvent modifier la trajectoire, l'altitude et la vitesse des vols d'oiseaux (Bruderer, Peter, Steuri 1999). La lumière engendre donc des erreurs de trajectoire de l'ordre de la centaine de kilomètres dans certains cas et peut aussi entraîner la mortalité par collision de certaines espèces.

**Les amphibiens et reptiles** sont impactés par la pollution lumineuse dans trois domaines : la reproduction, l'activité nocturne et la phototaxie<sup>2</sup> (Buchanan 2002). En effet, certaines espèces présentent une phototaxie positive, les rendant particulièrement sensibles à la prédation. L'activité nocturne des amphibiens augmente autour des sources

---

<sup>2</sup> Réaction spontanée, génétiquement programmée, d'un organisme vivant face à une source lumineuse, qui se traduit par un déplacement ou une simple orientation par rapport à cette source



lumineuses probablement parce que beaucoup d'insectes sont également attirés offrant ainsi une ressource alimentaire. En revanche, la reproduction et les vocalisations diminuent en présence de pollution lumineuse nocturne (Sibley 2008).

La composante luminosité est aussi importante dans les passages à faune pour certains amphibiens, car le choix se porte préférentiellement vers des passages à faune plus éclairés (Woltz, Gibbs, Ducey 2008).

### 2.6.2.2 Critères acoustiques

L'humain a profondément modifié l'environnement sonore, même en dehors des zones urbanisées (Francis, Ortega, Cruz 2009; Warren et al. 2006). Le bruit peut être perçu comme un élément dissuasif qui effraie les animaux aux abords des routes et des voies ferrées (Barrientos, Borda-de-Água 2017). Pour les transports ferroviaires, il s'agirait même du principal effet fragmentant dans certaines régions, dépendant de facteurs comme la présence de végétation réduisant les bruits ou la fréquence des trains (Barrientos, Borda-de-Água 2017; Lucas, Gomes de Carvalho, Grilo 2017).

Cependant, le bruit ponctuel ne semble pas être le bruit qui impacte le plus la faune avoisinante mais le bruit chronique. Les effets d'un bruit chronique, supérieur à 55-60 dB, ont été étudiés chez certaines espèces comme le Bruant à couronne blanche ou l'homme, et ont montré des impacts physiologiques importants comme la diminution de l'ouïe, un taux d'hormones de stress élevé ou encore une tension élevée (Barber, Crooks, Frstrup 2010).

Il semble également que les événements prévisibles comme les passages de train à heure fixe soient mieux tolérés que les événements aléatoires tels que des passages de véhicules isolés (Dutilleux, Fontaine 2015).

Les études sur les nuisances sonores induites par l'homme restent très faibles (Warren et al. 2006; Dutilleux, Fontaine 2015) en raison de la complexité à exclure les autres facteurs environnementaux présents en milieu naturel. Cependant, ces nuisances auraient un effet délétère sur la faune en modifiant sa communication et son comportement (Warren et al. 2006). Ainsi, le bruit chronique agirait comme un élément de fragmentation supplémentaire, qui pousserait la faune à éviter les bordures de routes et la restreindrait donc dans une zone plus concentrée. Ce phénomène est appelé effet lisière, il est défini comme une différence d'abondance et de richesse spécifique entre la lisière et les milieux adjacents (Frochot, Lobreau 1987).

Le bruit est même le critère principal de choix pour les passages à faune pour le lièvre d'Amérique (Gloyne, Clevenger 2001). Ils ont observé plus de passage de lièvres quand les nuisances sonores sont moindres.

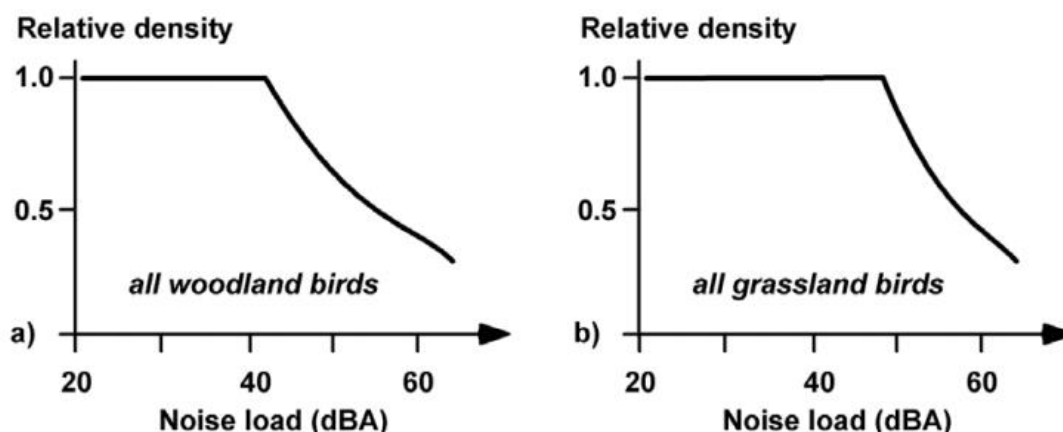


Figure 12 : Densité d'oiseaux (en densité relative) selon la pollution sonore (en décibel) causée par la route (Pays-Bas). Quand le bruit dépasse 40-50dBA, la densité des oiseaux aux abords des routes chute drastiquement. Source : (Clevenger, Huijser 2011)



**Pour les oiseaux**, le bruit dû au trafic serait le problème majeur lié aux infrastructures (Kociolek et al. 2011b). Pourtant, plusieurs études soulignent les conséquences mitigées d'une exposition à un bruit chronique chez les oiseaux. Il en ressort que la réaction face aux nuisances sonores est propre à chaque espèce (Francis, Ortega, Cruz 2009). En effet, certaines espèces voient leur succès reproducteur diminuer ou désertent tout simplement les zones bruyantes, contrairement à d'autres, plus tolérantes, qui bénéficient de ces nuisances et accroissent leur développement dans ces zones (Francis, Ortega, Cruz 2009; Halfwerk, Slabbekoorn 2009). Le bruit entre donc en jeu dans la composition de la communauté aviaire. Il impacte les compétitions interspécifiques mais aussi la prédation (Francis, Ortega, Cruz 2009; Halfwerk, Slabbekoorn 2009; Peris, Pescador 2004).

Ainsi, certains prédateurs, particulièrement sensibles au bruit, délaissent les zones à fortes nuisances sonores et avantagent de ce fait leurs proies et compétiteurs. D'autres problèmes, impactant la communication intra-spécifique, sont engendrés par les nuisances sonores (Francis, Ortega, Cruz 2009). Le choix d'un partenaire et sa reconnaissance peut diminuer en présence d'un bruit environnant important ((Swaddle, Page 2007). De plus, certaines espèces modifient la structure de leur chant dans des zones aux pollutions sonores élevées (routes, zones urbaines...).

Les mâles peuvent avoir tendance à chanter avec une plus grande amplitude ou avec une fréquence différente, créant un son plus aigu (Huffeldt, Dabelsteen 2013; Katti, Warren 2004). Le Rossignol Philomèle augmente la puissance de son chant en présence de bruit (Brumm, 2004 in (Dutilleux, Fontaine 2015)). Selon (Peris, Pescador 2004), 15 % des espèces d'oiseaux seraient impactées négativement par la présence d'une nuisance sonore. Le bruit chronique créé par l'activité humaine engendre donc un véritable effet de cascade qui a des conséquences sur les communautés faunistiques et la richesse spécifique.

**Pour les chiroptères** aussi, le bruit est un facteur important influant sur les connectivités. À cause de leur système d'écholocation, les chiroptères sont très sensibles aux nuisances sonores. Ils auraient tendance à moins éviter les routes quand le volume sonore dû aux voitures augmente (Fensome, Mathews 2016). Ces résultats illustrent une perturbation de l'efficacité de l'écholocation.

Ainsi, aux alentours d'infrastructures bruyantes, les chiroptères éviteraient d'aller chasser ou se nourrir. De plus, l'efficacité de la recherche alimentaire est diminuée avec le bruit environnant (Fensome, Mathews 2016). Aussi, certaines espèces comme le Molosse du Brésil voient leur niveau d'activité diminuer de 40 % dans des zones où le bruit anthropogénique est trop important (Bunkley et al. 2015). D'autres ne diminuent pas leur activité mais changent leur fréquence d'émission d'ultra-son, en particulier les chiroptères qui émettent à basse fréquence (Bunkley et al. 2015).

**Pour les amphibiens**, le bruit parasite empêche certains individus de localiser leurs congénères dans les sites de reproduction pendant la migration de printemps (Dutilleux, Fontaine 2015). Une expérience faite chez la Rainette criarde (*Hyla chrysoscelis*) a montré que le bruit engendre sa désorientation et que le temps de réponse au chant du mâle est augmenté ainsi que le seuil de détection (Bee & Swanson, 2007 in (Dutilleux, Fontaine 2015)).

Pour aller plus loin sur la thématique de la pollution sonore, il est conseillé de lire les rapports d'étude du Cerema, « Bruit routier et faune sauvage »(Dutilleux, Fontaine 2015), « Bruit urbain et faune sauvage »(Dutilleux 2007).

### 2.6.2.3 Critères gustatifs et olfactifs et pollution chimique

Le salage des routes attire de nombreuses espèces sur la surface des routes. En effet, ces espèces recherchent une source de sodium facile d'accès. De ce fait, les collisions sont plus nombreuses en période de salage, comme, par exemple, pour certains mammifères comme les élans, qui évitent généralement les routes sauf en présence de salage (Grosman et al. 2011). Les oiseaux montrent également une forte attraction qui peut mener soit à des collisions, soit à un empoisonnement dû aux substances toxiques présentes sur la route (Kociolek et al. 2011b).

Des polluants tels que les métaux lourds, les gaz à effets de serre et les hydrocarbures sont retrouvés en quantité plus importante sur le bord de la route que dans des zones de forêt éloignées (Barrientos, Borda-de-Água 2017; Zehetner et al. 2009; Trombulak, Frissell 2000; Hafen, Brinkmann 1996). Il y a une corrélation négative entre la quantité de ces molécules et la distance à la route (Zehetner et al. 2009). Les métaux lourds modifient la chimie du sol

et s'accumulent dans les plantes et les animaux. De nombreuses conséquences en résultent : empoisonnement conduisant à la mort et/ou à des malformations ainsi que délocalisation des espèces.

La nature des ressources alimentaires disponibles en bord de route a également un impact sur la biodiversité. Cependant, ce critère d'attraction pour un type de nourriture (appétence) a des effets à la fois positifs et négatifs (Huijser et al. 2007). En effet, la végétation en bord de route attire certaines espèces d'invertébrés mais également des mammifères. Ainsi, il n'est pas rare de voir des ongulés manger en bord de route. L'appétence pour les plantes contribue donc à diminuer la dégradation des habitats due aux infrastructures mais également à réduire l'effet lisière. Néanmoins, cette attraction vers le bord de route augmente également le risque de collision avec des véhicules de transport.

#### **2.6.2.4 Critères tactiles**

Le toucher est également un critère sensoriel à prendre en compte mais cependant très peu documenté pour tout ce qui a trait au franchissement des infrastructures par la faune. Le sens du toucher est associé aux autres sens comme l'odorat ou le goût dans le cas de la recherche de nourriture (Krueger, Laycock, Price 1974). L'animal pourra évaluer au toucher si des éléments de la végétation ou du substrat sont susceptibles de porter atteinte à son intégrité physique. Ce sera par exemple l'évitement de buissons trop épineux pour certaines espèces à la peau fragile ou l'évitement d'un support trop absorbant ou trop sec pour les amphibiens par exemple. Ce critère devrait être davantage pris en considération lorsqu'il s'agit d'évaluer l'adéquation entre un ouvrage de franchissement et une espèce cible donnée.

#### **2.6.2.5 Synthèse sur les critères sensoriels**

Les barrières sensorielles liées aux infrastructures de transport peuvent être de plusieurs natures : visuelles, auditives, olfactives ou tactiles. Leurs conséquences peuvent être de natures diverses, allant d'un changement de densité et de richesse spécifique aux abords des routes jusqu'à une modification des comportements et des processus physiologiques de certaines espèces. L'impact direct et indirect de ces barrières est difficilement quantifiable. Cependant, en prenant en compte la sensibilité de chaque espèce, ou a minima de l'espèce la plus sensible à ces différentes barrières, une stratégie de réduction adéquate peut être mise en place.

### **2.6.3 Critères structurels de l'ouvrage de franchissement d'une infrastructure**

#### **2.6.3.1 Dimensions de l'ouvrage de franchissement**

Il est désormais conseillé lors d'une construction de route de prévoir des passages à faune tous les 300 m pour la petite faune et tous les 1 à 5 km pour la grande faune en fonction des enjeux. À cela peuvent s'ajouter des aménagements spéciaux, comme les batrachoducs par exemple (Carsignol et al. 2005). Une typologie des passages à faune a été établie afin de renseigner les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre par le biais d'un guide technique (Carsignol et al. 2005).









Type de passage	Caractéristiques	Catégorie de faune				Type de déplacements	
		Petite faune terrestre à tendance héliophile et thermophile évitant les milieux souterrains : batraciens, reptiles, micro-mammifères	Petite et moyenne faunes utilisant les passages souterrains ; renards, mustélidés, micro-mammifères	Moyenne et grande faunes	Grande faune		
Passage simple 	Type I : buse ou dalot	Buse Ø 400 à 2 000 Dalot 1 x 0,70 m	Aléatoire	Optimale	-	-	Locaux, dispersés
Passage spécialisé (amphibiens) 	Type II : passage à batraciens	Passages multiples associés à un dispositif de collecte	Optimale	Possible	-	-	Locaux, concentrés
Passage mixte 	Type III : passage hydraulique mixte de petite dimension	Pont-cadre ou ovoïde associé à une banquette ou un marchepied	Possible	Optimale	Possible	-	Locaux, concentrés
Passage agricole ou forestier 	Type IV : passage agricole ou forestier dimensions minimales	PI ou PS à usage mixtes (dimensions réduites 1 < 7 m)	Aléatoire	Optimale	Possible	Aléatoire	Locaux, concentrés
Passage inférieur grande faune 	Type V : passage inférieur grande faune	PI 7 < 1 < 12 m	Possible	Optimale	Optimale	Possible	Locaux, denses ou régionaux moyens
Passage supérieur grande faune 	type VI : écopont, pont vert, pont végétalisés	PS 12 < 1 < 25 m	Possible	Optimale	Optimale	Possible	Locaux à régionaux, échanges moyens concentrés
Viaduc 	Type VII : passage sous viaduc	Viaduc H > 8 m L > 25 m	Possible	Optimale	Optimale	Optimale	Régionaux, échanges importants concertés
Pont écologique (faux tunnel, tranchée couverte) 	Type VIII : couloir écologique	Tranchée couverte	Optimale	Optimale	Optimale	Optimale	Régionaux, échanges importants dispersés

Figure 13 : Typologie des passages faunes (Carsignol et al. 2005)

Les facteurs propres à l'écologie et au comportement de l'espèce doivent être pris en compte afin de prendre la meilleure stratégie à adopter pour l'installation ou la rénovation des ouvrages. L'importance de la structure du passage à faune est un facteur primordial (Clevenger, Waltho 2005; Mata et al. 2005). Chaque espèce perçoit le passage à faune de manière différente et donc chaque espèce a ses préférences en matière de structure de passage à faune. Certaines caractéristiques ont déjà été abordées dans la précédente partie comme le matériau ou la surface du sol. Cet aspect du passage à faune marque une rupture dans la continuité écologique de l'habitat. Aussi, les préférences inhérentes à l'espèce entrent en jeu avec des espèces plus ou moins sensibles à ce critère. Les amphibiens, notamment, ont tendance à emprunter les passages humides, d'où la préférence pour les sols de terre et de gravier. Pour les mêmes raisons, le contraste de température à l'intérieur par rapport à l'extérieur du passage peut être un frein à leur traversée (Jackson, Griffin 2000; Woltz, Gibbs, Ducey 2008).

La position du passage à faune par rapport à la route ainsi que sa largeur, son ouverture et son diamètre représentent un enjeu crucial (Mata et al. 2005). Ainsi, les renards, les lagomorphes et écureuils roux ont tendance à ne pas utiliser un passage à faune s'il est trop long (Clevenger, Chruszcz, Gunson 2001; Yanes, Velasco, Suárez 1995).

**Les petits mammifères** comme les rongeurs et certains petits mustélidés préfèrent les petits passages à faune inférieurs de type buse ou dalot (Mata et al. 2005; Mata Estacio et al. 2003a). En effet, le campagnol montre une préférence accrue pour les petites structures fermées (diamètre < 0,3 m). Cette préférence peut être due aux milieux couverts dans lesquels ce rongeur évolue, évitant les milieux ouverts (Merriam et al. 1989). Aussi, choisir un ouvrage de petit diamètre pourrait être un moyen de diminuer la probabilité de rencontrer un individu de la même espèce ayant établi son territoire dans le passage, ou un prédateur. Dans une expérimentation de translocation<sup>3</sup>, les rongeurs

<sup>3</sup> Une translocation est un déplacement volontaire, réalisée par l'homme, d'organismes depuis des sites naturels ou ex situ vers d'autres sites naturels

retournaient plus facilement à leur territoire si le passage à faune à proximité était un petit passage à faune inférieur (0,3 m) par rapport aux passages à faune inférieurs de plus grande taille (3 m ou 15 m) (McDonald, St Clair 2004). Les belettes, quant à elle, choisissaient leur passage à faune inférieur en fonction de la hauteur de l'ouvrage, avec une préférence marquée pour une hauteur élevée et une petite ouverture contrairement aux martres qui préféraient utiliser un passage avec une grande ouverture (Clevenger, Chruszcz, Gunson 2001). Les renards, les canidés et les lagomorphes préfèrent également les passages inférieurs mais souvent de plus grande envergure comme les ponts mixtes (Mata et al. 2005; Mata Estacio et al. 2003a).

**Les grands mammifères** aussi montrent des préférences variées. Ainsi, ils préfèrent souvent les ouvrages inférieurs aux ouvrages supérieurs (Clevenger, Waltho 2005; Sawaya, Clevenger, Kalinowski 2013; Gloyne, Clevenger 2001). Ceci peut être dû à la plus grande probabilité de croiser une proie dans un passage inférieur (Gloyne, Clevenger 2001). Ainsi, le loup préfère un passage haut et large mais court (Clevenger, Waltho 2005; Sawaya, Clevenger, Kalinowski 2013) alors que l'ours montre une préférence pour des structures plus étroites (Clevenger, Waltho 2005; Gloyne, Clevenger 2001). Le cerf et le loup utilisent seulement des passages très larges (Mata et al. 2005). Les ongulés tels que les chevreuils et cerfs, utilisent peu les passages à faune en général par rapport à leur abondance relative (Mata Estacio et al. 2003a). Les ongulés sont particulièrement impactés par les critères structurels des ouvrages comme l'ouverture :

$$\frac{\text{largeur} \times \text{hauteur}}{\text{longueur}}$$

mais également par la largeur de l'ouvrage, ceux-ci préférant ainsi les ouvrages de taille moyenne à ouverture moyenne aux ouvrages de grande envergure (Clevenger, Waltho 2005).

Tel que nous l'avons vu, les animaux sont réticents à emprunter des ouvrages de franchissement si la longueur de traversée est trop importante (effet tunnel) ou si la covisibilité n'est pas bonne.

Le Cerema Est travaille actuellement à définir les caractéristiques structurelles minimales pour assurer une transparence écologique satisfaisante. Ces informations seront publiées dans le guide technique des passages à faune "Préservation et restauration des continuités écologiques impactées par les infrastructures de transport" (Cerema Est à paraître). Sous réserve de leur évolution d'ici la parution de ce guide, voici les caractéristiques minimales, à considérer à ce stade comme ordre de grandeur, pour que les animaux dans leur ensemble utilisent les passages à faune (Nowicki, 2018, comm. pers.) :

**Pour les ouvrages supérieurs :**

$$\text{largeur} > \frac{\text{longueur}}{2,5}$$

$$\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}} > 0,4$$

**Pour les ouvrages inférieurs :**

Hauteur > 3,50 m (> à 4 m si présence de cervidés) ;

Largeur = 2 x hauteur

$$\text{hauteur} > \frac{\text{longueur}}{10}$$

Largeur x hauteur/longueur > 1.5

Dans une étude de Mata et al. (2003), le passage supérieur de type écopont, qui a été créé pour être plus généraliste que les autres ouvrages et surtout pour permettre une continuité écologique par le biais de végétation, était peu utilisé. En effet, le cerf était le seul à marquer une préférence pour cette structure. En règle générale, ce type de structure a tendance à être utilisé par les grands et moyens mammifères mais une étude (Rosell et al. 2016) a aussi

montré une grande opportunité d'habitats pour les invertébrés avec plus de 179 taxons identifiés au sein d'un ouvrage de type écopont.

**Les amphibiens et reptiles** étaient au cœur d'une étude (Woltz, Gibbs, Ducey 2008), faisant ressortir des préférences liées grandement à la morphologie et à l'anatomie de l'espèce. En effet, la grenouille verte préférait un tunnel de largeur supérieur à 0,5 m contrairement à la tortue peinte qui préférait les tunnels de taille avoisinant les 0,5 – 0,6 m. De manière générale, les tunnels de moins de 0,3 m de diamètre étaient évités. Cette préférence peut s'expliquer par le déplacement des grenouilles qui ont besoin d'espace vertical pour se mouvoir.

**Les oiseaux**, quant à eux, ont tendance à traverser autant au-dessus des ponts qu'en-dessous et traversent autant sur les passages faunes que sur les routes (Tremblay, St Clair 2009). Ainsi, ces derniers étant également impactés par la fragmentation, il serait judicieux de mettre en place des aménagements adaptés pour leur permettre de traverser les routes. L'écopont pourrait aussi servir de connecteur pour certaines espèces d'oiseaux. En effet, sur un écopont en Espagne, il a été observé 42 espèces d'oiseaux différentes dont 2 nichaient sur l'ouvrage (Rosell et al. 2016).

**Les chiroptères** ont tendance à emprunter davantage les passages inférieurs que supérieurs selon une étude (Abbott, Butler, Harrison 2012). Cependant, cette préférence ne serait pas partagée par toutes les espèces de chiroptères. En effet, le Murin de Daubenton préfère emprunter les passages inférieurs quand ceux-ci sont au-dessus d'une rivière, en revanche, les autres espèces présentes passent au-dessus du pont ou font demi-tour à l'approche de la route (Christensen et al. 2016). Il est donc envisageable que le choix des chiroptères dépende de leur écologie comme, par exemple, leur mode d'alimentation. En effet, un passage inférieur surmontant une rivière confère une zone de chasse particulièrement intéressante pour certaines espèces (Christensen et al. 2016; Abbott, Butler, Harrison 2012). Ainsi, même si globalement les passages inférieurs sont, à taille équivalente, plus efficaces pour les chiroptères que les passages supérieurs, leur efficacité dépend avant tout de leur écologie, du milieu dans lequel ils ont l'habitude d'évoluer et de la qualité de l'aménagement des abords et de la configuration de chaque site (Bhardwaj et al. 2017; Nowicki 2016). Les espèces occupant des milieux ouverts ont plus tendance à traverser au-dessus des ouvrages qu'en-dessous ou à ne pas traverser du tout (Bhardwaj et al. 2017; Boonman 2011). Au contraire, les espèces habituées à chasser en bordure de route ou près de la végétation et du sol, ayant un vol relativement bas et lent, préfèrent passer en-dessous des passages inférieurs larges (3 à 15 m de hauteur) mais au-dessus des buses (inférieur à 3 m).

La hauteur semble être un facteur important qui influence le passage des chauves-souris (Boonman 2011) : seul les rhinolophes et quelques murins empruntent des structures dont la hauteur est inférieure à 4m (Hacquart 2013). En revanche, ils étaient souvent observés traversant sur la route sans l'aide de structure de guidage (Bhardwaj et al. 2017; Kerth, Melber 2009; Abbott, Butler, Harrison 2012). L'écopont pourrait être un élément important pour connecter les populations de chauves-souris. En effet, une étude récente dénombre une richesse spécifique en chiroptères et un nombre de contact plus important lors de sessions d'écoutes sur l'écopont qu'aux alentours (ces inventaires montrent que ces structures peuvent être efficaces). Une étude récente montre que la localisation de ces écoponts au regard des routes de vol existantes des chauves-souris est déterminante pour assurer leur efficacité (Claireau et al. 2018).

**En résumé pour tous les groupes**, d'après une revue bibliographique des différentes études menées sur les passages à faune (Glista, DeVault, DeWoody 2009), les batrachoducs sont plus utilisés par les amphibiens et les reptiles ; les buses et dalots (petits et moyens) sont plus fréquentés par les reptiles, les amphibiens, les petits mammifères comme les marsupiaux, les rongeurs et quelques petits carnivores. Les larges passages inférieurs sont plus empruntés par les mammifères de moyenne et grande tailles (carnivores, lagomorphes, ongulés...) et enfin, les passages supérieurs sont fréquentés quasi-uniquement par la grande faune comme les grands carnivores et les grands ongulés.

Il reste évident que la structure du passage à faune doit aussi être dimensionnée en fonction de la morphologie et de l'anatomie des espèces cibles. Par exemple, mettre une trop grande marche à l'entrée d'un passage à petite faune peut largement contribuer à diminuer voire supprimer son efficacité. À cela s'ajoutent les autres facteurs liés à l'écologie et aux comportements de l'espèce. Une période d'habituatation pouvant aller de quelques mois à quelques années peut aussi influencer sur l'utilisation des passages à faune. Ainsi, l'élan, après quatre années d'habituatation, ne montre plus de préférence pour les passages à faune selon leur structure ou leur localisation. En revanche, le cerf quant à lui est toujours impacté par le critère structurel du passage à faune et préfère le passage à faune avec la plus grande ouverture, avec une vue dégagée sur l'autre bout du tunnel (Gagnon et al. 2011). Ainsi, la nécessité de prendre en compte les espèces les plus sensibles peut être soulignée.

En résumé, la structure de l'ouvrage impacte fortement le passage de la faune. Des facteurs physiques tels que le matériau du sol, la position du passage et ses dimensions impactent fortement la fréquentation d'un passage. En règle générale, les petits mammifères, amphibiens et reptiles utilisent plus souvent les petits passages comme les buses ou dalots, les moyens à grands mammifères les passages inférieurs de type ponts et les grands mammifères empruntent également les grands passages supérieurs. Les oiseaux ne traversent pas plus par les passages à faune que par la route. Les chiroptères ont tendance à davantage utiliser des passages inférieurs mais peuvent aussi traverser au-dessus de la route. Ainsi, les différentes études mettent en avant une grande variété des préférences structurelles du passage à faune dépendant de l'espèce qui l'emprunte et des conditions environnementales du passage.

### **2.6.3.2 *structure de la végétation au niveau de l'ouvrage de franchissement***

La végétation aux abords du passage à faune joue également un rôle important dans la fréquentation de ce dernier. Les animaux évoluant dans des milieux forestiers sont plus craintifs à l'approche des passages à faune situés dans des milieux ouverts, sans végétation aux abords de l'ouvrage (Clevenger, Chruszcz, Gunson 2001). Les rongeurs, espèces de petites tailles prédatées par les moyens et grands mammifères, ont une préférence marquée pour les passages à faune avec un couvert végétal présent à l'entrée (McDonald, St Clair 2004). Ainsi, les petits mammifères ont donc tendance à davantage emprunter un passage avec de la végétation qui permet de se cacher durant la traversée, conférant ainsi un sentiment de sécurité.

La présence de végétation est aussi un facteur décisif pour de nombreuses espèces d'oiseaux qui préfèrent traverser quand la continuité écologique est assurée par des arbres (Tremblay, St Clair 2009). En effet, comme mentionné précédemment les oiseaux sont impactés par les discontinuités écologiques. La présence d'arbres ou arbustes sur le terre-plein central d'une route ou sur un pont perpendiculaire pourrait être une aide à la traversée de certaines espèces.

Les chiroptères étant particulièrement impactés par la discontinuité créée par les routes, la structure paysagère est un facteur important pour ceux-ci. En effet, ils ont tendance à suivre un corridor créé par un alignement d'arbres, un massif forestier, une haie, une rivière (Fensome, Mathews 2016). Ainsi, comme nous l'avons vu précédemment, la discontinuité abrupte entre les bords de routes et les routes elles-mêmes augmente le taux de mortalité des chiroptères. Il est donc important pour les chauves-souris de recréer une continuité par la structure paysagère, voire d'augmenter la taille de la végétation à l'entrée et sortie des passages à faune pour créer un effet trampoline (voir paragraphe 4.2.3). En ce qui concerne les passages à faune inférieurs, la structure paysagère sert de guide pour amener l'individu au niveau du passage avec une diminution de la végétation au-dessus du passage, pour diminuer l'altitude du vol et permettre aux chiroptères de se diriger vers le passage (Wray et al. 2005).

La présence de végétation semble être un facteur important pour la petite et moyenne faune ainsi que pour les oiseaux et les chiroptères. En effet, elle peut procurer une sensation de protection avec une possibilité de se cacher d'éventuels prédateurs pour les mammifères terrestres, et une aide précieuse à la traversée pour les espèces volantes.

### **2.6.3.3 *Localisation de l'ouvrage de franchissement***

La localisation du passage à faune est un élément clé à prendre en compte pour toute nouvelle construction ou pour la restauration de certains ouvrages. En effet, plusieurs études ont rapporté l'importance de la localisation : l'ouvrage doit être situé près du domaine vital des individus (Claireau et al. 2018).

Que ce soit chez les grands ou petits mammifères, les animaux empruntent davantage un ouvrage si ce dernier est placé près de leur habitat (Clevenger, Waltho 2000; Gloyne, Clevenger 2001; McDonald, St Clair 2004; Ng et al. 2004; Gagnon et al. 2007; 2011). Certains auteurs (McDonald, St Clair 2004), ont mis en évidence la nécessité d'un nombre important de passages pour la petite faune. Leur étude porte sur plusieurs espèces de rongeurs et ces derniers sont moins aptes à utiliser les passages à faune lorsque ceux-ci sont situés loin de leur territoire. En effet, il peut être coûteux en énergie d'emprunter un passage à faune loin de son domaine vital pour des espèces de petite taille, effectuant de petits mouvements journaliers. La majorité des animaux sont limités dans leurs déplacements par leur anatomie ou par leur écologie, et cela explique donc l'importance de la proximité du passage à faune.



Il ressort donc des études sur l'espace des passages à faune qu'une moyenne d'un passage tous les 2-3 km est un ordre de grandeur à adopter. Cela peut être modulé en fonction des enjeux de continuités locaux. Si les enjeux sont faibles, un passage tous les 5 km peut être suffisant alors que s'ils sont forts, un passage tous les km peut parfois être requis (Cerema Est à paraître).

Une étude (Berthinussen, Altringham 2012) montre que malgré la pose de portique (cadran créant une continuité linéaire) au-dessus de la route et la création de deux passages à faune inférieurs, les chiroptères traversent toujours sur la route à l'endroit précis où ils ont toujours traversé. En effet, il semble difficile de dévier la trajectoire des chiroptères quand ils empruntent un corridor écologique routinier. En revanche, un passage inférieur stratégiquement établi dans un couloir de déplacement de chiroptères a rencontré un franc succès : 96 % des traversées étaient effectuées par le passage.

#### **2.6.3.4 Discontinuité des milieux naturels et artificiels (infrastructure à franchir ou ouvrage de franchissement)**

Ce critère étant valable à la fois pour le franchissement des infrastructures et les ouvrages de franchissement eux-mêmes il a été traité précédemment (voir paragraphe 2.6.1.3 ci-dessus).

#### **2.6.4 Critères transversaux : la prédation**

Le passage à faune intervient dans le fonctionnement des écosystèmes. Ce type d'ouvrage a un impact dans la dynamique des populations en avantageant certaines espèces au détriment d'autres, ou encore en modifiant les interactions inter- ou intraspécifiques (Mata Estacio et al. 2003a).

L'hypothèse de pièges à proie (Prey Trap Hypothesis : PTH) émet le postulat que les passages à faune agiraient comme des pièges augmentant le succès de prédation de certains prédateurs au détriment des proies. En effet, les passages à faune relativement exigus confinaient les proies, les rendant plus vulnérables à tout prédateur, en diminuant leur capacité à s'échapper (Little, Harcourt, Clevenger 2002). Une revue bibliographique (Little, Harcourt, Clevenger 2002) rapporte l'utilisation d'éléments anthropiques facilitant la chasse des prédateurs. Ainsi, certains exemples illustrent l'utilisation des clôtures par des prédateurs pour chasser les ongulés, ou encore le prélèvement d'animaux pris dans des pièges à faune utilisés par les scientifiques. Cependant, les preuves appuyant cette théorie sur les passages à faune sont minces (Dupuis-Desormeaux et al. 2015) et les preuves la soutenant sont souvent fondées sur des observations opportunistes (Little, Harcourt, Clevenger 2002).

Une étude (Dupuis-Desormeaux et al. 2015) sur les passages à faune à travers les grillages au Kenya montre au contraire une prédation faible aux alentours des passages. Autant spatialement que temporellement, aucune corrélation n'a été trouvée entre les prédatons, les proies et la proximité avec les ouvrages : la prédation est bien concentrée à certains points spécifiques, mais ces « hot spot » sont plus influencés par la présence de végétation et de sources d'eau. Au Canada aussi, cette hypothèse a été testée et aucune différence entre les différents lieux de prédation, avant et après la construction de passages à faune, n'a été rapportée. Ainsi, très peu de sites de prédation étaient situés près des ouvrages (Ford, Clevenger 2010). Une étude de l'intervalle de temps entre le passage d'une proie et celui de son prédateur a également été réalisée et pour ce point encore, aucune corrélation n'a été trouvée, la traversée des proies n'influence pas le passage des prédateurs (Ford, Clevenger 2010). La prédation peut aussi être exercée sur les plantes par des insectes, oiseaux et petits mammifères granivores. Ainsi, les oiseaux ne prélèvent pas plus de graines dans les aires contenant des passages à faune que dans les aires non connectées. En revanche, les rongeurs prélèvent plus de graines dans les zones connectées (avec passages à faune) que non connectées et inversement pour les invertébrés (Orrock et al. 2003).

Néanmoins, il est possible que l'utilisation des passages à faune reflète les interactions proies-prédateurs basiques : les proies évitant les passages utilisés par leurs prédateurs et les prédateurs incluant dans leur territoire certains passages fréquentés par leurs proies (Little, Harcourt, Clevenger 2002). Ainsi, certaines études montrent que les carnivores favorisent les passages empruntés par leurs proies (Gloyne, Clevenger 2001; Clevenger, Waltho 2000). Il a aussi été rapporté que plusieurs proies semblent éviter les lieux où l'odeur de leurs prédateurs est détectable (Little, Harcourt, Clevenger 2002).

#### **2.6.4.1 Prédation : la route, une zone à découvert**

Sans éléments pour se dissimuler, la route offre un milieu ouvert facilitant la prédation. Comme il l'est indiqué dans le guide sur la petite faune (Carsignol et al. 2005), la présence de lampadaires et les phares de voitures attirent les insectes la nuit. A cela peut s'ajouter la chaleur accumulée durant la journée dans la chaussée et libérée la nuit, rendant le milieu plus attractif pour l'entomofaune. Ainsi les insectivores, tels que les chauves-souris, seront par la suite attirés sur la route et vulnérables aux collisions avec les véhicules. De même, cette chaleur réémise par la chaussée attire également les reptiles. Ceux-ci, recherchant la chaleur, peuvent se tenir immobiles sur la route (Lebboroni, Corti 2006). La construction d'une route entraîne la création de milieux ouverts et de zones de lisières. Ces milieux sont rapidement colonisés par les micro-mammifères, mais représentent les terrains de chasses privilégiés des rapaces diurnes et nocturnes (Alsace Nature 2008).

#### **2.6.4.2 La perception d'un prédateur particulier : l'Homme**

L'activité humaine joue un rôle clé sur la fréquentation des passages à faune.

Le groupe le plus touché semble être les carnivores. En effet, ces derniers n'ont pas une préférence aussi marquée que les ongulés pour la structure des passages à faune, mais semblent très impactés par les facteurs d'origine humaine. Ainsi, il existe une corrélation positive entre leur utilisation des passages à faune avec la distance des villes, une corrélation négative avec l'activité humaine et la présence de randonneurs ou encore de cavaliers (Clevenger, Waltho 2000). En résumé, les carnivores préfèrent un passage à faune éloigné de la ville, avec une activité humaine et un passage d'humains réduits. Dans une autre étude, les traversées des lynx roux et des coyotes sont impactées négativement par la proximité avec une zone anthropisée (Ng et al. 2004).

Cependant, il est également envisageable que l'activité humaine ait un impact sur tous les groupes faunistiques. Dans une moindre mesure, les ongulés aussi préfèrent les passages à faune moins fréquentés par les randonneurs pédestres ou équestres (Clevenger, Waltho 2000).

Les grands mammifères, tels que les ours, les loups et les cerfs, s'adaptent à l'activité humaine par un changement de rythmicité aux abords des passages à faune avec une activité humaine importante (Barrueto, Ford, Clevenger 2014). En effet, ils régulent leur rythme biologique journalier afin de diminuer la possibilité de contact avec l'humain.

#### **Comparaison entre présence humaine et trafic routier**

Des auteurs ont étudié l'impact de la présence de voitures en comparaison de celle de l'humain (randonneurs et cyclistes) (Whittington, St. Clair, Mercer 2004). Les loups avaient davantage tendance à éviter les humains au comportement beaucoup plus aléatoire que celui des véhicules, pourtant plus dangereux. Ainsi, l'auteur a émis l'hypothèse que les animaux auraient du mal à évaluer la vitesse des véhicules, qui leur paraissent immobiles (pas de déplacement apparent) et qui n'ont pas d'odeur dite organique. Ce même phénomène a été observé chez le mouflon canadien qui évitait davantage les humains à pied qu'en véhicule (Papouchis, Singer, Sloan 2001). Ceci s'explique par la tendance des humains à tenter d'approcher la faune sauvage lors de randonnées, ou par le braconnage et la chasse dont certaines espèces sont victimes.

L'activité humaine, que ce soit par la présence de lumière, d'odeur, de bruit, de véhicule ou par la pratique de randonnée, est aussi un facteur affectant l'utilisation de passage à faune. Tous les groupes faunistiques sont impactés par la présence humaine, avec une sensibilité plus prononcée pour le groupe des grands carnivores qui cherche largement à éviter tout contact avec l'homme.

#### **2.6.5 Critères transversaux : interactions entre mêmes espèces (intraspécifique) ou entre espèces différentes (interspécifiques)**

Les interactions intra ou interspécifiques seront également différentes selon qu'un individu se trouve au sein de son domaine vital ou même de son territoire. Le domaine vital d'une espèce qui correspond à une zone de l'espace qui est plus ou moins familière à un animal et dans laquelle il est capable de localiser des points d'intérêt (abri, ressources alimentaires, points d'eau etc.) (Darmaillacq, Levy 2015). Le territoire d'un animal est à distinguer du domaine vital. Le territoire est une partie restreinte du domaine vital qui est défendu par l'animal, que ce soit contre



des individus de sa propre espèce ou d'autres espèces. Chez de nombreuses espèces, le territoire est saisonnier et se limite à la période de reproduction (Darmaillacq, Levy 2015).

En résumé, peu de preuves ont appuyé l'hypothèse du passage à faune servant de piège à proies (PTH). Néanmoins, un impact sur la dynamique des interactions proies-prédateurs semble possible.

## 3 Phase 2 : Guide méthodologique pour restaurer les continuités écologiques **Préambule**

Nous avons montré dans la bibliographie de cette étude, la nécessité de restaurer les continuités écologiques afin de préserver des écosystèmes viables dans lesquels la faune et la flore peuvent prospérer.

La restauration de continuités écologiques est essentiellement tournée vers la faune sauvage, néanmoins, de nombreuses conséquences vont en découler, dont différents règnes bénéficieront tous. Par exemple, la restauration contribue au bon dispersément de la flore, mais aussi des micro-organismes, et même au maintien de la qualité des sols. L'homme bénéficie également du bon fonctionnement des écosystèmes par le biais de ce qui est communément appelé « services écosystémiques » (Méral, Pesche 2016). Ainsi, plus un écosystème fonctionne de manière optimale, plus le panel des services écosystémiques qui lui sont associés est varié (bois, végétaux comestibles, nappe phréatique...).

La restauration des continuités écologiques peut passer par la mise en place de passages à faune afin de reconnecter les populations animales et végétales. Cependant, la construction de passages à faune restant coûteuse, la rénovation d'ouvrages de franchissement d'infrastructures déjà existants semble être un bon compromis. Afin de rénover ces ouvrages de franchissement existants de manière efficace, il est nécessaire d'avoir une idée précise de son efficacité actuelle, c'est-à-dire de comprendre ses points forts et ses points faibles. Cependant, l'efficacité d'un ouvrage de franchissement d'infrastructures est difficile à mesurer. En effet, avoir une idée précise de la connectivité des populations, du maintien global de la diversité spécifique ou encore de la stabilité génétique nécessaire reste une tâche ardue (Clevenger 2005).

Aussi, il est difficile d'étudier cette efficacité pour toutes les espèces, et ce sont souvent des espèces cibles qui sont visées, au détriment d'autres (Clevenger 2005). Le cas des invertébrés est évocateur : très peu de publications étudient le cas du passage des invertébrés, pourtant promoteurs du bon fonctionnement des écosystèmes. Beaucoup d'études sont focalisées sur la fréquentation d'ouvrages de franchissement, mais peu d'auteurs étudient vraiment leur impact au sein de l'écosystème (Clevenger 2005).

L'analyse de l'efficacité se fait généralement par un suivi de la faune utilisant le passage pendant plusieurs années. Par exemple, l'activité de sept espèces de grands mammifères dans un parc national au Canada a été enregistrée. L'étude a permis la comparaison de l'activité journalière entre les zones fragmentées et celles qui ne le sont pas. Sur ces 7 espèces, l'ours, le cougar, le cerf, le grizzly, l'élan et le loup exprimaient tous un modèle d'activité identique quelle que soit la zone. Ainsi, cela confirme l'efficacité des passages à faune en ce qui concerne l'atténuation des dérangements dus à l'activité humaine (Barrueto, Ford, Clevenger 2014). Les passages à faune augmentent donc la connectivité spatialement et temporellement (Sawaya, Clevenger, Kalinowski 2013). Il est aussi admis que les populations sont démographiquement connectées s'il y a un minimum de 10 % de migrations entre les différentes populations (Hastings, 1993, In (Sawaya, Clevenger, Kalinowski 2013)).

Cependant, ce suivi nécessite du temps et des moyens souvent difficiles à mettre en œuvre pour chaque passage. Ainsi, une méthode plus simple doit être mise en place. Pour Jackson (2000), étudier l'efficacité des passages à faune signifie prendre en compte différents critères tels que les dimensions de l'ouvrage, sa localisation, le substrat du sol, sa végétation, sa position par rapport à la route, le taux d'humidité, de luminosité ainsi que l'activité humaine. Il serait alors possible, en relevant un grand nombre de critères, d'estimer la fonctionnalité d'un ouvrage de franchissement d'infrastructures et d'émettre des conseils de restauration et de rénovation pour le rendre utilisable en tant que passage à faune. Ce guide est donc né de la nécessité de lister ces critères de façon simple et de proposer des solutions à mettre en œuvre pour améliorer la fonctionnalité écologique des ouvrages de franchissement d'infrastructures existants.

### 3.2 Périmètre du guide méthodologique

Ce guide concerne la région **Hauts-de-France**, mais il peut également être une aide pour les autres régions puisque beaucoup d'aménagements cités ici sont généralistes. Il en est de même pour la faune prise en compte. Le

guide méthodologique se concentre sur des groupes communément répartis sur le territoire français, en revanche, la partie spécifique à la restauration par espèce regroupe uniquement des espèces vivant dans la région Hauts-de-France. Si la plupart des mesures proposées sont utiles pour plusieurs groupes d'espèces, il peut également être utile en fonction des enjeux de rechercher les solutions à un groupe d'espèce particulier voire même à une espèce en particulier. Des exemples sont présentés en ce sens au paragraphe 4.2.

Ce document s'adresse donc aux gestionnaires d'infrastructures de transports désireux de restaurer un passage à faune en prenant en compte les contraintes éco-éthologiques afin de développer un mode de gestion durable.

Ce guide se veut complémentaire avec d'autres guides du Cerema, en particulier les deux documents techniques du SETRA : « Passage pour la grande faune » (Sétra 1993), « Aménagements et mesures pour la petite faune » (Carsignol et al. 2005) et également "Chiroptères et infrastructures de transport" (Nowicki 2016). L'actualisation du guide du SETRA de 1993 est également en cours de rédaction. Ce nouveau guide à paraître sera intitulé "*Préservation et restauration des continuités écologiques impactées par les infrastructures de transport - guide technique des passages à faune*" (Cerema Est à paraître). Ces guides sont davantage orientés vers la conception d'ouvrages nouveaux mais il existe également de nombreux conseils pour améliorer des ouvrages existants. Ces guides permettent d'obtenir un grand nombre d'informations sur les caractéristiques structurelles (dimensionnement, matériaux de construction ou autres).

Le présent guide reprend les principales solutions des guides susmentionnés et les plus simples d'entre elles pour faciliter à moindre coût l'amélioration de la fonctionnalité écologique des ouvrages de franchissement d'infrastructures existants.

### 3.3 Objectifs du guide méthodologique

Ce guide méthodologique a pour but premier de faciliter l'aménagement des ouvrages de franchissement d'infrastructures existants au regard de critères éco-éthologiques afin d'améliorer les continuités écologiques. Pour ce faire, le document a pour vocation :

- l'analyse facile et rapide des points forts et points faibles des ouvrages de franchissement d'infrastructures existants afin d'orienter au mieux leurs aménagements ;
- de proposer un choix d'aménagements simples et adaptés à chaque situation et à chaque ouvrage de franchissement, et dans la mesure du possible peu coûteux ;
- de proposer aux gestionnaires souhaitant aller plus loin, la possibilité de passer d'une gestion généraliste à une gestion par espèce ou groupe d'espèces en prenant en compte le cas de certaines espèces cibles des Hauts-de-France.

### 3.4 Limites et perspectives

Lors de tout aménagement d'ouvrage de franchissement d'infrastructures en faveur de la biodiversité, il faut garder à l'esprit qu'aucun passage à faune n'est généraliste : chaque espèce animale a une préférence pour des passages à faune différents (Mata Estacio et al. 2003b). Ainsi, il convient de maintenir une diversité de passages à faune et de corridors écologiques afin de favoriser le plus d'espèces possibles.

Cependant, il convient également de veiller à ne pas favoriser la présence et la dispersion d'espèces dites invasives. En effet, une espèce invasive est une espèce exotique, dont l'introduction par l'homme, volontaire ou fortuite, sur un territoire menace les écosystèmes, les habitats naturels ou les espèces locales avec des conséquences écologiques, économiques et sanitaires négatives. Ces espèces sont tout d'abord favorisées par la présence d'infrastructures de transports (Ascensão, Capinha 2017), c'est-à-dire par les véhicules eux-mêmes (bateau, trains,

voiture...), mais également par les continuités écologiques linéaires qu'elles offrent (bas-côtés de voies ferrées, bord de route...). De ce fait, restaurer les continuités écologiques peut être un facteur de dispersion d'espèces invasives involontaire. Pour cette raison, il est important de s'informer sur la présence d'espèces invasives dans le milieu, et le cas échéant, sur les démarches à mettre en place pour les éradiquer.

Par ailleurs, toute rénovation renvoie au devenir du site en question. Il est intéressant de comprendre et de maîtriser l'évolution du site après les travaux. En effet, si le site est susceptible d'évoluer (prairie laissée à l'abandon puis transformée, par exemple), il est normal de se questionner sur le type de passage à utiliser et le type de rénovation à faire. Les espèces végétales d'aujourd'hui seront-elles celles de demain ? Les aménagements mis en place pour un type de faune seront-ils utiles plus tard ? Pour répondre à ces questions, il est possible de connaître l'évolution végétale d'un site grâce à des outils comme le tableau de Mendeleiev (disponible sur le site de Tela-Botanica). Connaissant le devenir potentiel du site, de ses sols et de sa végétation, il est possible d'anticiper la faune à venir afin d'orienter au mieux les rénovations et surtout de les orienter durablement.

Il est aussi primordial de se poser quelques questions avant de commencer une restauration : que veut-on restaurer ? Que veut-on connecter ? En effet, le passage à faune va rendre perméable la route et servir de pont de connexion entre les populations présentes. Pour cela, il faut qu'il y ait des « sources d'espèces », c'est-à-dire, des réservoirs de biodiversité à connecter mais aussi, des corridors écologiques fonctionnels pour les connecter. Il est donc préférable de mobiliser des moyens en priorité pour des passages qui représentent un enjeu environnemental (fragmentation de deux massifs forestiers, présence de mare de reproduction, présence d'une zone humide...). Si ce n'est pas le cas, il est conseillé de mener d'autres travaux de restauration en parallèle (pose de haies, restauration d'habitats...) afin d'optimiser au maximum la présence de l'ouvrage de franchissement d'infrastructures.

Par ailleurs, pour évaluer les effets des aménagements sur l'utilisation d'un passage par la faune, il est conseillé d'effectuer un suivi de ce dernier (pièges photographiques, pièges à trace...), le plus pertinent étant d'effectuer des contrôles avant et après les aménagements.

En tant que projet d'aménagement, la restauration de continuités écologiques peut entraîner des impacts environnementaux pendant la phase travaux. A ce titre, une procédure d'autorisation environnementale (ou autre procédure réglementaire requise) doit être enclenchée lorsque cela est nécessaire. Des bonnes pratiques doivent être mises en œuvre pour limiter le dérangement de la faune lors des travaux en tenant compte notamment des périodes de reproduction. Il est important d'avoir toujours à l'esprit la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » avant d'entreprendre un chantier. L'évitement doit systématiquement être préféré.

Ce guide s'adressant à des gestionnaires n'ayant pas forcément de culture naturaliste, les espèces et les termes choisis pour l'utilisation de la clé d'identification des obstacles à la continuité écologique seront les plus simples possibles de façon à permettre une utilisation facilitée de la clé d'identification des critères éco-éthologiques impliqués dans la fragmentation et des solutions pour remédier à cette fragmentation.

Même si par la suite il y a des références aux documents SRCE des anciennes régions Nord – Pas-de-Calais et Picardie, l'objectif n'est pas de se focaliser sur les espèces de la Trame Verte et Bleue (TVB) spécifiquement. En effet, ce document vise à rétablir les continuités écologiques pour des espèces patrimoniales mais également pour des espèces dites plus « banales », dans un objectif de prise en compte aussi de la biodiversité ordinaire.

## 3.5 Identification des enjeux et solutions au bureau

Avant de se rendre sur le site devant faire l'objet d'un diagnostic quant à la continuité écologique, il est nécessaire de recueillir des informations sur l'intensité du trafic, la répartition des milieux naturels autour du site à étudier et enfin l'identification d'éléments fragmentant.

### 3.5.1 Intensité du trafic

Pour connaître le nombre de véhicules par jour sur une voie, il est nécessaire de s'adresser au gestionnaire de la voirie concernée.

- Pour les routes départementales, il faut contacter le service de la voirie conseil départemental concerné. Pour le département de l'Oise, les données sont disponibles sur <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/trafic-sur-rd-oise/> ;

- pour les routes nationales, il faut contacter la DIR Nord pour les Hauts-de-France : <http://www.dir-nord.developpement-durable.gouv.fr/contactez-nous-r133.html>

- pour les autoroutes, il s'agit exclusivement de la SANEF en Hauts-de-France : <https://www.sanef.com>.

Tel qu'indiqué dans la partie bibliographie (paragraphe 2.6.1.5), le nombre de véhicules/jour au-delà duquel la mortalité devient significative est variable selon les groupes d'espèces. Nous considérerons qu'en deçà de 500 véhicules / jours, l'incidence du trafic automobile sur la mortalité animale n'est pas significative. A l'inverse, nous considérons que l'impact est le plus fort entre 2 500 et 10 000 véhicules/jours et qu'au-delà de 10 000 véhicules/jours, la route devient quasi infranchissable.

### 3.5.2 Identification d'éléments fragmentants

#### 3.5.2.1 Méthodologie au bureau

Plusieurs outils cartographiques sont aujourd'hui disponibles pour contribuer au diagnostic rapide de la franchissabilité d'un ouvrage, il s'agit essentiellement de Google Maps® et le service IGN Géoportail®. L'analyse de l'un de ces deux outils ou mieux encore ces deux outils combinés permettent en quelques minutes depuis le bureau de disposer d'informations précieuses sur le type d'ouvrage de franchissement, son environnement, sur les ruptures de continuités écologiques etc.

##### *3.5.2.1.1 1<sup>ère</sup> étape : identifier les ruptures structurelles de continuités écologiques*

Comme présenté dans la partie bibliographie, les principaux facteurs de fragmentations structurels sont les suivants :

- Type d'infrastructure ;
- largeur de l'infrastructure ;
- infrastructure en déblai ou remblai ;
- cumul d'infrastructures ;
- nature du revêtement de la voie ;
- présence anthropique et de véhicules ;
- intensité du trafic ;
- présence d'obstacles infranchissables.

La quasi-totalité de ces facteurs sont identifiables assez simplement depuis son bureau en utilisant les services Google Maps® et le service IGN Géoportail®. Google maps sera opportun pour se rendre virtuellement sur l'infrastructure grâce à Google street View® tandis que Géoportail sera davantage adapté pour prendre des mesures

au sol à partir de la photographie aérienne. Parfois, le croisement des photos aériennes de ces deux portails géographiques permettra également de disposer d'informations précieuses.

Nous allons voir ci-dessous comment utiliser ces deux outils

#### 3.5.2.1.1.1 Google Maps

Une fois sur Google Maps (<https://maps.google.fr/>), il suffit de taper le nom de la commune sur laquelle nous souhaitons faire la recherche, lorsque cette commune est affichée, il faut cliquer sur le "petit bonhomme" jaune en bas à droite de l'écran (voir figure 14). Ensuite, il suffit de cliquer sur l'infrastructure sur laquelle on souhaite se rendre virtuellement.

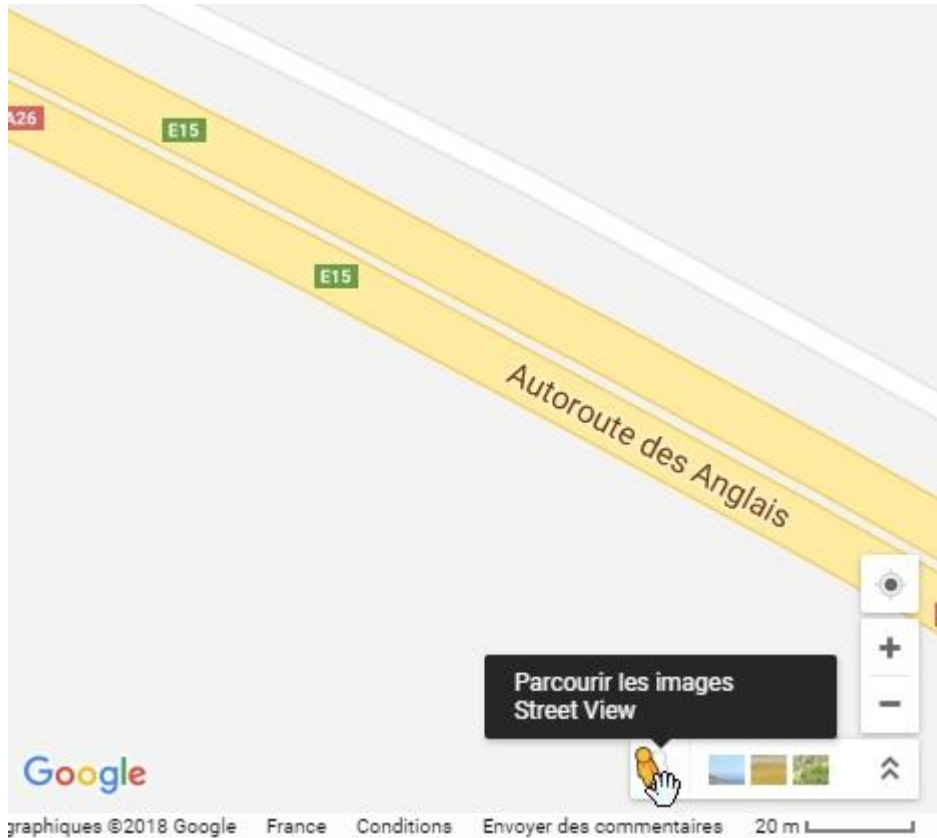


Figure 14 : endroit où cliquer pour activer la vue « Street view » (Source : Google maps).

En cliquant sur l'image, il est possible de se déplacer sur l'infrastructure, de changer l'angle de vue sur 360 ° etc.

Les informations sont multiples à cette étape :

- Possibilité de visualiser les milieux naturels bordant l'infrastructure ;
- déterminer si l'infrastructure est clôturée ou non (cf. figure 15 et 16) ;
- déterminer s'il y a présence d'un séparateur de voie béton ou non (cf. figure 16) ;
- identifier la nature du revêtement (lorsque l'infrastructure a été parcourue par la Google Maps car !)





Figure 15 : Vue depuis Google Maps en mode Street view. Cette vue permet de voir que l'autoroute est grillagée. Autoroute A26, Fouquières-lès-Béthune, Hauts-de-France (Source : Street View – Date de l'image : août. 2015 ©2018 Google).



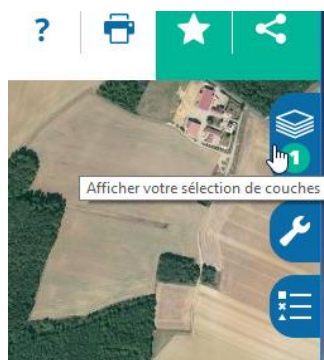
Figure 16 : Vue depuis Google Maps en mode Street view. Cette vue permet de voir que l'autoroute n'est pas grillagée et qu'il y a présence d'un séparateur de voie béton central infranchissable. Autoroute A16, Vieille-Eglise, Hauts-de-France (Source : Street View – Date de l'image : sept. 2017 ©2018 Google).

### 3.5.2.1.1.2 IGN Géoportail

Géoportail est particulièrement intéressant pour effectuer des mesures (distance, surface) mais aussi pour visualiser facilement les communes ainsi que toutes les informations délivrées par les cartes « IGN » au 1/25 000 et parfois à une échelle plus précise encore.

Pour cela il faut :

- Aller à l'adresse suivante : <https://www.geoportail.gouv.fr/> ;
- Taper le nom de la commune sur laquelle on souhaite faire une recherche ;
- Ajouter les couches de votre choix en cliquant en haut à droite à cet endroit :



- Puis :

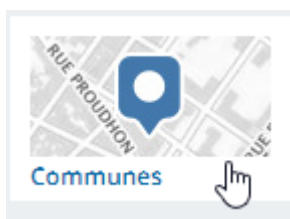


- Ajouter ensuite la couche « carte IGN » (ou au choix « Carte topographique IGN » qui apporte parfois davantage d'informations comme les zones de marais ou les sentiers de randonnées) dans la rubrique des fonds de carte

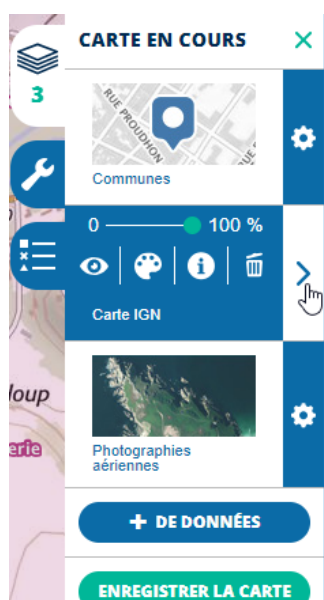




- Dans la rubrique des données thématiques, choisir « Territoires et transports » et dans « description du territoire, cliquer sur « communes » :



- Bien qu'il existe des couches pour les routes et le réseau ferroviaire, elles n'apportent pas d'informations utiles pour le présent guide.
- En cliquant sur la roue dentée à droite de la couche « carte IGN », il est possible de l'afficher ou de la masquer mais aussi de régler son niveau de transparence (un réglage de l'ordre de 20 % est un bon compromis pour bien voir la photographie aérienne tout en visualisant les informations complémentaires de la carte IGN) :



Une fois ces réglages effectués, il est possible de :

- Mesurer une distance entre ouvrages de franchissement :



- Mesurer une distance sur une grande longueur en cliquant une fois pour incrémenter la distance et cliquer/glisser pour déplacer la carte. Par exemple, on peut mesurer une distance de 15,29 Km entre deux passages faune dédiés sur la ligne du TGV Est entre le passage faune inférieur de la commune d'Essomes-sur-Marne (cf. figure 20) et le passage faune supérieur de la commune "Le Charmel" (cf. figure 21).

- Estimer au moins la largeur du passage inférieur ou supérieur en utilisant l'utilitaire de mesure de distance présenté ci-dessus.

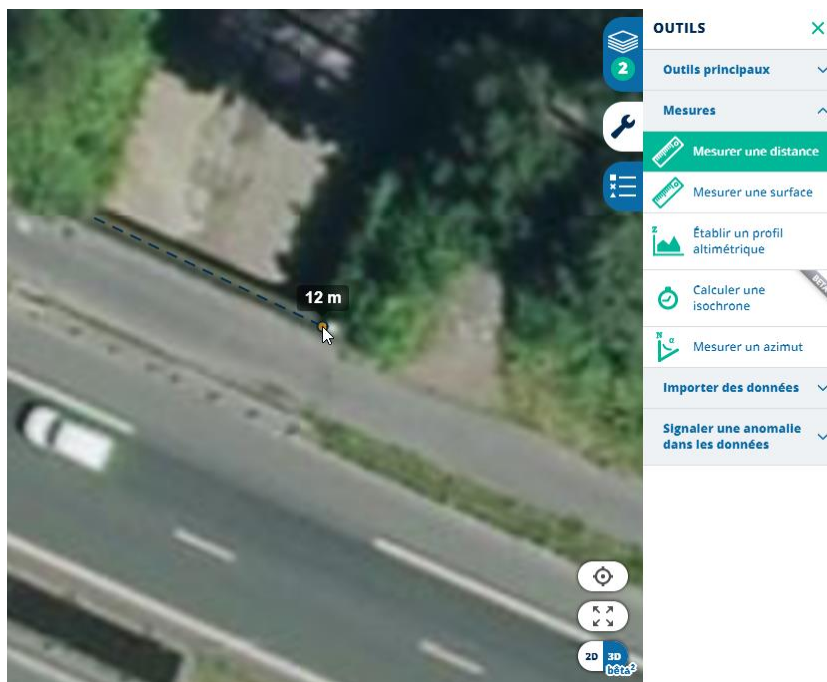


Figure 17 : Mesure de la largeur d'un passage inférieur sur l'A23 au niveau de la drève de Bassy en forêt de St Amand (59). La mesure s'avère relativement précise. (source Géoportail. Données cartographiques : © IGN 2017, EPF [www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales](http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales)).

#### 3.5.2.1.1.3 Possibilités communes à Google maps et Géoportail

Il est possible de faire apparaître la photographie aérienne tant sur Google Maps que Géoportail, cela permet d'apporter les informations suivantes :

- Présence de passages inférieurs (ex. figure 19) et/ou supérieurs (ex. figure 21) au droit d'une infrastructure ;
- Parfois, il est possible de déterminer avec précision s'il s'agit d'un passage faune dédié (ex. figure 19) ou un passage mixte ou même un passage dédié mais utilisé exceptionnellement par des véhicules (ex. figure 21), la présence d'une piste ou d'empreintes de roues est un élément bien visible en photographie aérienne ;
- Déterminer le cumul d'impact par la proximité d'infrastructures de même nature ou de nature différentes (cf. figure 18)

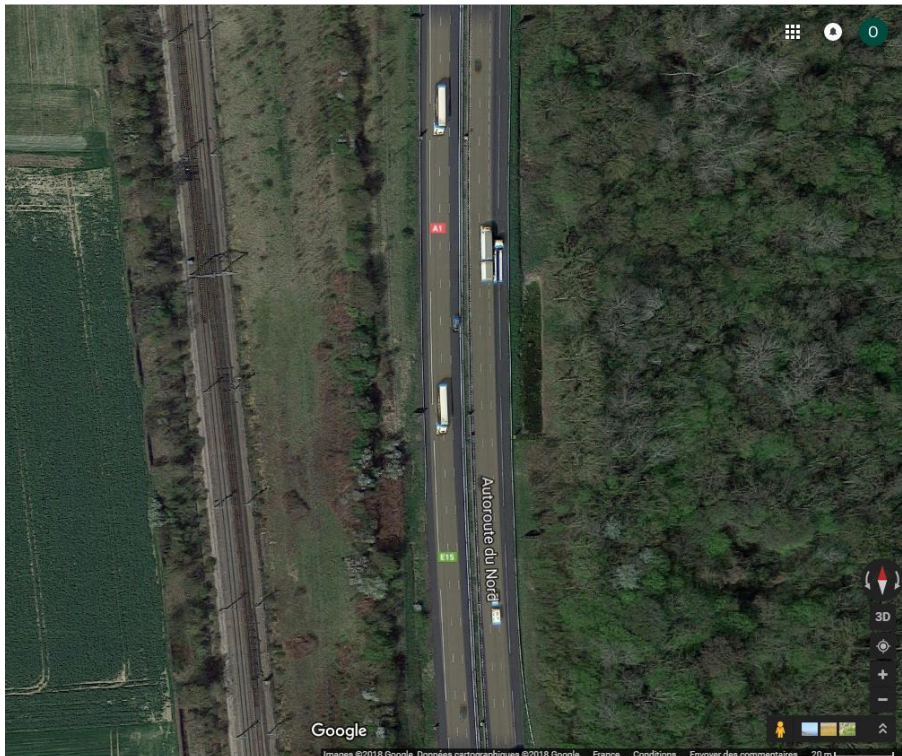


Figure 18 : illustration du cumul de la fragmentation en raison de la proximité d'une autoroute et d'une ligne TGV (source source Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).



Figure 19 : Présence d'un passage à faune spécifique inférieur sur la ligne du TGV Est sur la commune d'Essomes-sur-Marne (02) (source Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).





Figure 20 : Idem à figure 19 mais avec l'outil Géoportail (source Géoportail. Données cartographiques : © IGN 2017, FEDER, Région Grand-Est, Région Hauts-de-France [www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales](http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales)).



Figure 21 : Présence d'un passage à faune supérieur sur la ligne du TGV Est sur la commune de Le Charmel (02). La présence d'empreintes de roues de véhicules, observables sur géoportail également montre qu'il s'agit d'un passage utilisé par ceux-ci mais a priori rarement (source Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).

### 3.5.2.1.1.4 Informations supplémentaires en comparant les photographies aériennes Google maps et Géoportail

La comparaison des photographies aériennes de Google maps et Géoportail sont intéressantes car elles sont généralement prises à des années différentes, à une période de l'année différente également et à une heure de la journée différente. S'il est possible d'obtenir l'information de l'année de prise de vue, il n'est pas possible d'avoir d'informations plus précises. Sur Google maps, l'information est précisée en bas de la carte, pour Géoportail, il faut cliquer sur la couche de la photographie aérienne et cliquer sur "Consulter les dates de prises de vues aériennes" comme ceci :

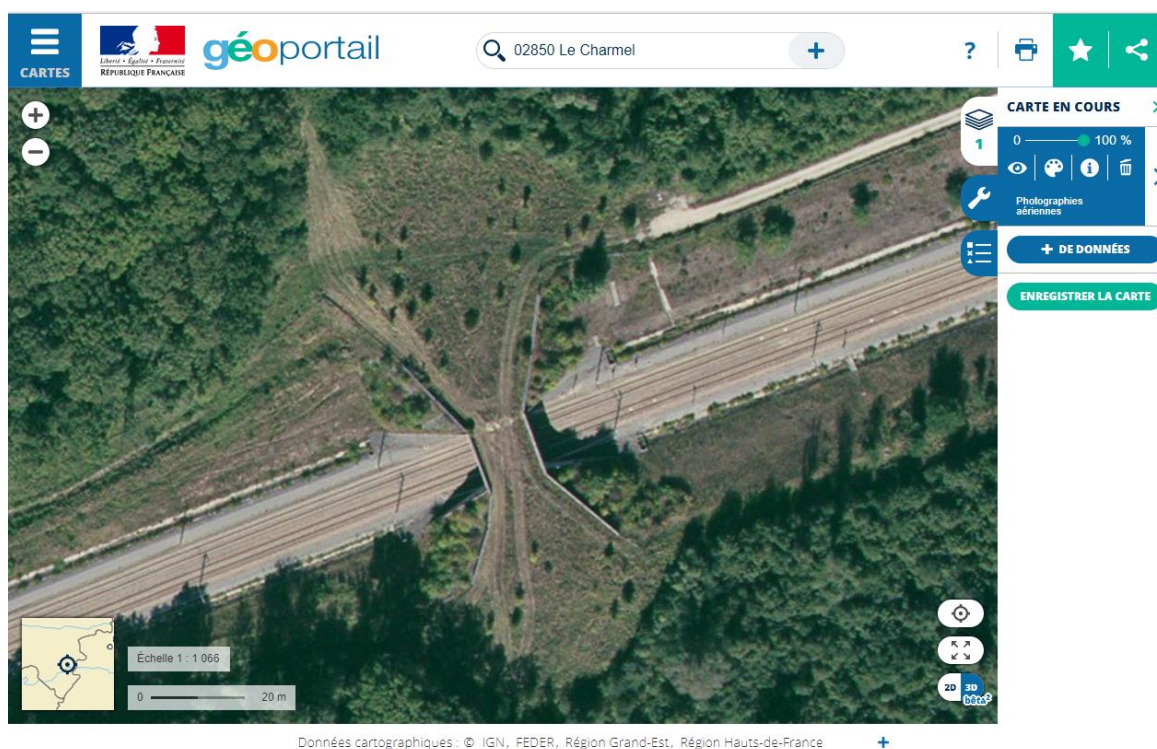
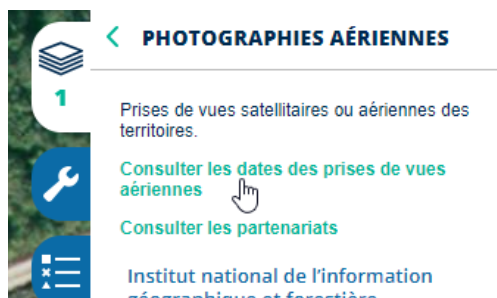


Figure 22 : Idem à figure 21 mais avec l'outil Géoportail (source Géoportail. Données cartographiques : © IGN 2017, FEDER, Région Grand-Est, Région Hauts-de-France [www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales](http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales)).

Dans les exemples ci-dessus, la comparaison des photos du passage inférieur sur la commune d'Essomes-sur-Marne entre Géoportail (figure 20) et Google Maps (figure 19) permet de remarquer les choses suivantes :



- L'ombre portée de la voie ferrée au niveau du passage inférieur montre qu'il existe une **grande hauteur sous l'ouvrage** puisque tant sur la photographie de Google Maps (figure 19) que celle de Géoportail (figure 20), nous voyons que le soleil est présent sur une grande partie de la surface située sous l'ouvrage. Ce point est important car il permet aux végétaux de profiter de suffisamment de lumière pour bien se développer et d'assurer ainsi une meilleure continuité écologique.

- Des informations sur le **type de végétation** peuvent être apportées en comparant les deux clichés : le cliché pris en 2013 pour Géoportail montre une végétation sèche correspondant à une période de sécheresse et/ou une prise de vue estivale contrairement au cliché de 2018 pour Google Maps où la végétation est bien verte. La comparaison des deux montre que les zones de couleur brune correspondent à des végétations rases de type pelousaires et ce qui est resté vert correspond à des arbres et arbustes.

- Concernant l'**utilisation du passage inférieur par des véhicules motorisés**, la figure 19 montre une utilisation de la partie nord de l'infrastructure par des véhicules motorisés, cela est confirmé par la figure 20 qui montre également une utilisation en bordure ouest du ru des Rochets et donc une utilisation de ce passage inférieur par des véhicules. Toutefois, cette utilisation semble a priori assez exceptionnelle.

La comparaison de deux clichés Google Maps (figure 21) et Géoportail (figure 22) au niveau du passage supérieur sur la commune de "Le Charmel" (02) permet également d'avoir des informations sur la fréquentation du site par les véhicules. Dans le premier cas une seule trace de véhicule est visible sur le passage, dans le second, deux traces sont visibles. Le fait qu'il n'y ait pas de divagations dans les traces laissées par les roues dans la figure 9 et très peu dans la figure 10 semble indiquer que l'utilisation de ce passage par des véhicules à moteur reste rare.

### 3.5.3 Analyser l'enjeu du site au regard des documents issus des Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique ou de leurs projets.

Il existe une ressource documentaire importante concernant les continuités écologiques : le centre de ressources "trame verte et bleue" mis en place par le ministère de la Transition écologique et solidaire et l'agence française de biodiversité. Il est consultable à cette adresse :

<http://www.trameverteetbleue.fr/>

Un travail important d'identification des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques a été effectué en Nord-Pas-de-Calais et en Picardie au début des années 2010 afin d'élaborer le schéma régional de cohérence écologique (SRCE). Le SRCE est un document cadre élaboré dans chaque région, mis à jour et suivi conjointement par la région (Conseil régional) et l'État (préfet de région) en association avec un comité régional Trame verte et bleue.

■ **Les réservoirs de biodiversité** sont des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement, en ayant notamment une taille suffisante.

■ **Les corridors écologiques** assurent des connexions entre des réservoirs de biodiversité, offrant aux espèces des conditions favorables à leur déplacement et à l'accomplissement de leur cycle de vie.

Il est important de préciser qu'un corridor n'a pas d'épaisseur et constitue en théorie un lieu privilégié dans lequel les espèces peuvent se déplacer, ce corridor pouvant en réalité être fonctionnel ailleurs qu'à l'endroit où il a été cartographié, à moins de mener des études approfondies sur chaque portion de corridor potentiel, ce qui ne constitue pas l'objet du SRCE-TVB.

La largeur de ce corridor doit être considérée comme floue, car en réalité ce corridor peut nécessiter, selon les espèces et les biotopes considérés, des largeurs comprises entre quelques décimètres et plusieurs kilomètres. Dans bien des cas de figure, la notion de corridor présente vite des limites car c'est l'ensemble de la matrice paysagère qui peut faire office de corridor (cas de certains corridors en « pas japonais »).

Le contenu des SRCE est fixé par le code de l'environnement aux articles L. 371-3 et R. 371-25 à 31 et précisé dans les orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques (partie 2). Les SRCE comprennent :

- un diagnostic du territoire régional portant sur la biodiversité et ses interactions avec les activités humaines et une présentation des enjeux relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques à l'échelle régionale,
- un volet présentant les continuités écologiques retenues pour constituer la TVB régionale et qui identifie les réservoirs de biodiversité et les corridors écologiques qui les constituent ainsi que les objectifs de préservation/remise en bon état associés,
- un plan d'action stratégique, qui présente les outils de mise en œuvre mobilisables pour atteindre les objectifs du SRCE et précise des actions prioritaires et hiérarchisées,
- un atlas cartographique, qui identifie notamment les éléments de TVB retenus et leurs objectifs associés,
- un dispositif de suivi et d'évaluation de la mise en œuvre du schéma et des résultats obtenus, sur les éléments de la TVB, la fragmentation,
- un résumé non technique, pour faciliter l'appropriation du document par les territoires.

La consultation de l'atlas des composantes pour les deux territoires de Picardie et du Nord-Pas-de-Calais permet d'obtenir de nombreuses informations sur les milieux naturels à proximité de l'ouvrage de franchissement et sur les corridors écologiques existants ainsi que sur le niveau d'enjeux de ceux-ci.

### **3.5.3.1 Comment utiliser les informations des SRCE (en projet ou annulés) ?**

Les SRCE-TV B (en projet pour le territoire picard et annulé pour le territoire du Nord-Pas-de-Calais) sont une source d'informations précieuses car ils synthétisent au sein des réservoirs de biodiversité l'ensemble des informations d'inventaire, protections, connaissances sur l'intérêt des milieux naturels etc. En outre, ils précisent les corridors reliant ces réservoirs de biodiversité. Il s'agit donc d'un outil de choix pour l'identification du rôle d'un ouvrage de franchissement d'infrastructure dans sa contribution à assurer une continuité écologique satisfaisante.

Si un ouvrage de franchissement se trouve au sein d'un réservoir de biodiversité ou à proximité d'un corridor identifié, alors un soin tout particulier devra être apporté à l'identification des obstacles à la continuité écologique et aux solutions qui peuvent être mises en œuvre pour y remédier. Compte tenu de l'importance des SRCE pour hiérarchiser les enjeux, nous délivrons ci-dessous les principales informations à connaître en fonction du territoire, Nord-Pas-de-Calais ou Picardie car les schémas ont été rédigés au moment où ces régions n'étaient pas encore fusionnées.

### **3.5.3.2 Le SRCE du territoire du Nord-Pas-de-Calais**

En Nord-Pas-de-Calais, le SRCE a été approuvé par le Préfet le 16/07/2014. Cette approbation a été annulée par le tribunal administratif de Lille dans un jugement du 26 janvier 2017 n°1409305 et 1500282. Toutefois, les informations contenues dans ce document restent pertinentes. Il n'existe quoi qu'il en soit aucun autre document de substitution à ce jour. À chaque milieu correspond une ou plusieurs sous-trame(s) du SRCE-TV B :

- Les coteaux calcaires
- Les zones humides

- Les cours d'eau
- Les prairies et le bocage
- Les falaises et les estrans rocheux
- Les dunes et les estrans sableux
- Les terrils et autres milieux anthropiques
- Les landes et les pelouses acidiphiles
- Les forêts
- Les estuaires

Pour ce qui est des corridors écologiques du Nord-Pas-de-Calais, ils ont été distingués à partir de sous-trames principales définies au sein des réservoirs de biodiversité. Ils s'appuient notamment sur les « espaces naturels relais », déjà définis en 2006 sur la base d'une lecture attentive de l'occupation du sol de 1998, au motif que ceux-ci remplissent déjà de fait certaines fonctions écologiques propres aux corridors. Ils peuvent aussi s'appuyer sur d'autres espaces semi-naturels visibles dans la cartographie de l'occupation du sol de 2009.

Les corridors suivants ont été retenus :

- Corridors fluviaux ;
- Corridors de zones humides ;
- Corridors forestiers ;
- Corridors de prairies/bocage ;
- Corridors de pelouses calcicoles ;
- Corridors de landes et de pelouses acidiphiles ;
- Corridors littoraux ;
  - corridors d'estuaire ;
  - corridors de falaises ;
  - corridors de dunes ;
  - Corridors miniers.

Les réservoirs de biodiversité ont également été identifiés et les ruptures de continuités écologiques cartographiées.

Les documents du SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais peuvent être téléchargés sur le site de la DREAL Hauts-de-France :

<http://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/Telechargement-du-SRCE-TVB>

L'atlas cartographique est disponible à cette adresse :

[http://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/atlas\\_carto\\_srce-tvb\\_juillet\\_2014.pdf](http://www.hauts-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/atlas_carto_srce-tvb_juillet_2014.pdf)

Pour plus de facilité pour rechercher les informations dans l'atlas cartographie, il est possible de faire une recherche sur le nom de la commune à partir du logiciel permettant de lire le format PDF.

### **3.5.3.3      *Le SRCE du territoire de la Picardie***

En Picardie, 4 grandes sous-trames ont été définies :

- la sous-trame arborée ;
- la sous-trame herbacée ;



- la sous-trame littorale ;
- la sous-trame humide & aquatique

Les corridors suivants ont ainsi été tracés :

- Corridors littoraux ;
- Corridors des milieux ouverts calcicoles ;
- Corridors herbacés humides ;
- Corridors herbacés ;
- Corridors arborés ;
- Corridors des milieux aquatiques ;
- Corridors valléens multitrames correspondant aux cours d'eau qui présentent des bandes rivulaires herbacées et/ou boisées.

La hiérarchisation des réservoirs de biodiversité s'est basée sur l'analyse du nombre d'espèces menacées présentes au sein de chacun des réservoirs. Sont ainsi distingués :

- Les réservoirs contenant au moins 25 espèces menacées en Picardie et considérés de valeur écologique exceptionnelle ;
- Les réservoirs accueillant de 6 à 24 espèces menacées en Picardie et présentant une valeur écologique très élevée ;
- Ceux présentant 1 à 5 espèces menacées, correspondant à une valeur écologique élevée

La hiérarchisation des continuités écologiques a pris en compte les critères d'intérêts supra-régionaux (international, européen, national) et interrégionaux. Ce travail a identifié 21 continuités écologiques majeures pour la Picardie réparties de la manière suivante :

- Des continuités écologiques de valeur internationale (3) ou nationale exceptionnelle (3) ;
- Des continuités écologiques de valeur nationale très élevée (3) ou de valeur interrégionale exceptionnelle (aucune) ;
- Des continuités écologiques de valeur nationale élevée (2) ou de valeur interrégionale très élevée (7) ;
- Des continuités écologiques de valeur interrégionale élevée (4).

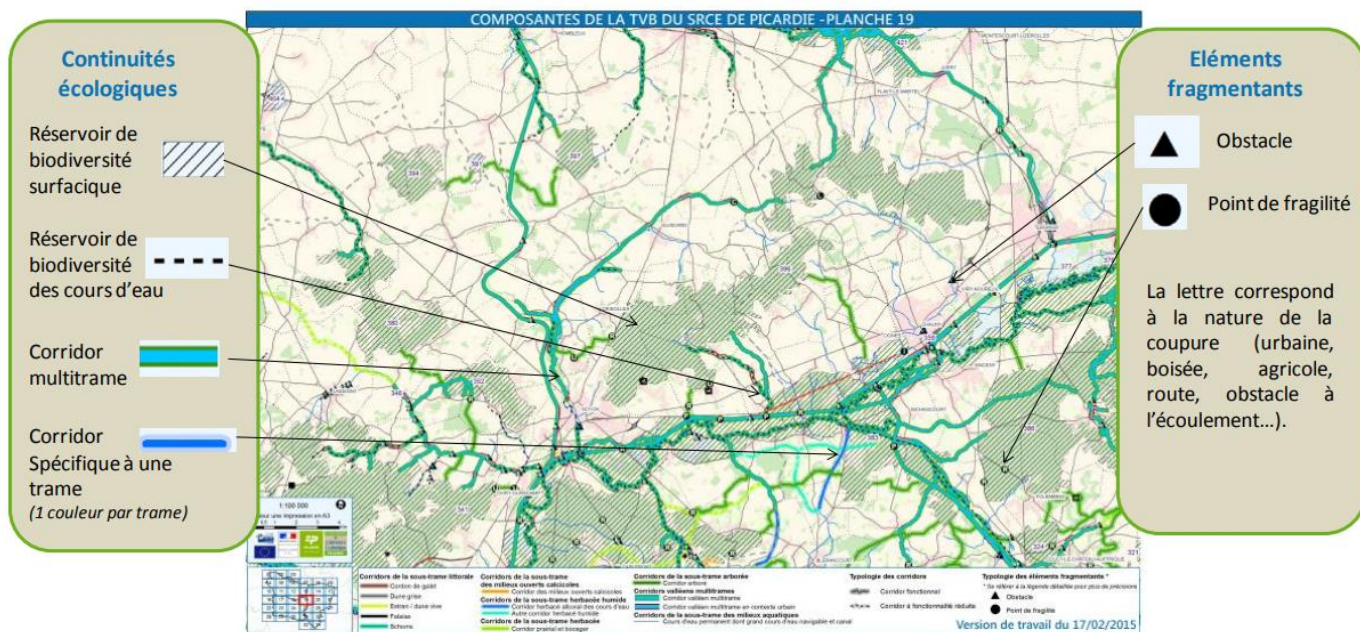


Figure 23 : carte des composantes de la Trame Verte et Bleue du SRCE de Picardie (source projet de SRCE Picardie, résumé non technique)

Les documents du projet de schéma régional de cohérence écologique de Picardie et notamment l'atlas des composantes par planche (tome 5), sont disponibles sur le site internet dédié :

<http://www.tvb-picardie.fr/>

### 3.5.4 La consultation des bases de données régionales sur la faune

Afin d'identifier des solutions par une approche « espèce », il sera utile de consulter les bases de données faunes locales. La consultation de la base de données nationale du site de l'inventaire du patrimoine naturel national (<https://inpn.mnhn.fr>) gérée par le MNHN peut être complémentaire mais les informations ne sont généralement pas délivrées à la commune. Pour le territoire des Hauts-de-France, deux bases de données sont à consulter. Pour le territoire picard, il s'agit de la base de données clicnat ([www.clicnat.fr](http://www.clicnat.fr)) gérée par l'association Picardie nature. Pour le Nord-Pas-de-Calais, il s'agit de SIRF ([www.sirf.eu](http://www.sirf.eu)) qui est gérée par l'association groupe ornithologique et naturaliste du Nord-Pas-de-Calais (GON). Pour le territoire picard, il est également possible de consulter la liste des espèces par commune, en filtrant par niveau de patrimonialité et avec une fonction permettant de lister les espèces sur les communes situées à 1, 5 et 10 km autour de la commune concernée par l'ouvrage de franchissement. Pour cela, il faut consulter ce site internet :

<http://www.donnees.picardie.developpement-durable.gouv.fr/patnat/>

Il est ainsi possible de disposer d'une information synthétique au sujet de la rareté et du niveau de menace de chaque espèce inventoriée sur la commune. Malheureusement, sur le territoire picard, cette base de données mais également les informations issues de clicnat.fr ne permettent pas de lister certaines espèces patrimoniales, dites "sensibles" par interrogation à la commune. La liste des espèces sensibles est consultable à cette adresse :

<http://www.clicnat.fr/?page=ls>

Si l'interrogation communale mentionne la présence d'espèce sensible par groupe, il est souhaitable de rechercher si une espèce sensible appartenant à la liste des espèces devant faire l'objet d'une attention particulière

(paragraphe 3.5.4.1 ci-dessous) est présente sur la maille de 5\*5 km correspondant au site étudié. Pour cela il faut donc rechercher sur le site clicnat.fr par espèce puis cliquer sur l'onglet "répartition géographique".

Sur le territoire du Nord-Pas-de-Calais, il est possible de rechercher toutes espèces observées sur une commune, en revanche, il faut préciser la période : une période de 15 ans est suffisante (Figure 24 ci-dessous).



Figure 24 : exemple du champ de recherche par commune sur sirf.eu. Source : www.sirf.eu

Pour faciliter l'analyse, il est plus simple de choisir le regroupement par « espèces » et de filtrer par « amphibiens », « mammifères » et « reptiles » en cliquant sur les symboles de ces groupes (Figure 25 ci-dessous).



Figure 25 : exemple de filtres à sélectionner pour faciliter l'analyse sur sirf.eu. Source : www.sirf.eu

Il est souhaitable de faire une recherche sur toutes les communes situées au minimum à 1 km du site étudié, idéalement 2 km.

La mention d'une espèce de mammifère terrestre, de batracien ou de reptile au moins rare à exceptionnelle et/ou menacée (vulnérable, en danger, en danger critique) devra conduire à s'interroger spécifiquement sur les capacités de déplacement de cette espèce afin d'agir au plus près de ses exigences écologiques.

**Avertissement : S'il n'y a pas d'espèces à enjeux recensées sur une commune dans les bases de données clicnat et sirf, cela n'est pas une preuve qu'il n'y en a pas mais simplement que les inventaires réalisés sur la commune, qui parfois sont encore très lacunaires selon les communes, n'ont pas permis d'avoir de contacts d'espèces à enjeux.**

**Enfin pour obtenir des données de localisation plus précises qu'à la commune, il est possible de faire une demande directement au GON pour le territoire Nord-Pas-de-Calais et à Picardie-Nature pour le territoire picard.**

### 3.5.4.1 Liste des espèces devant faire l'objet d'une attention particulière

A la date de rédaction de ce document (été 2018), les espèces devant faire l'objet d'une attention toute particulière quant aux mesures à prendre pour la restauration de la continuité écologique sont les suivantes :

Sur le territoire Nord-Pas-de-Calais :

Nom commun	Nom scientifique	Rareté	Menace
Cerf élaphe	<i>Cervus elaphus</i>	AR	-
Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>	AR	EN
Martre	<i>Martes martes</i>	R	-
Vipère péliade	<i>Coluber berus</i>	NE	EN
Coronelle lisse	<i>Coronella austriaca</i>	NE	DD
Grenouille des champs	<i>Rana arvalis</i>	NE	CR
Crapaud calamite	<i>Bufo calamita</i>	NE	NT
Rainette verte	<i>Hyla arborea</i>	NE	VU
Pelodyte ponctué	<i>Pelodytes punctatus</i>	NE	NT
Triton crêté	<i>Triturus cristatus</i>	NE	NT

Sur le territoire Picardie :

Nom commun	Nom scientifique	Rareté	Menace
Cerf élaphe (retenu en raison de ses exigences particulières)	<i>Cervus elaphus</i>	PC	LC
Campagnol amphibie	<i>Arvicola sapidus</i>	AR	EN
Chat sauvage	<i>Felis silvestris</i>	AR	EN
Vipère péliade	<i>Coluber berus</i>	AR	EN
Coronelle lisse	<i>Coronella austriaca</i>	PC	VU
Lézard agile ou des souches	<i>Lacerta agilis</i>	PC	VU
Lézard vert	<i>Lacerta viridis</i>	AR	VU
Grenouille des champs	<i>Rana arvalis</i>	EX	CR
Sonneur à ventre jaune	<i>Bombina variegata</i>	R	EN
<i>Crapaud calamite (Population hors littoral)</i>	<i>Bufo calamita (Population hors littoral)</i>		<i>EN (Population hors littoral)</i>
Crapaud calamite	<i>Bufo calamita</i>	AR	VU
<i>Rainette verte (Population hors littoral)</i>	<i>Hyla arborea (Population hors littoral)</i>		<i>EN (Population hors littoral)</i>
Rainette verte	<i>Hyla arborea</i>	PC	VU
<i>Pelodyte ponctué (Population hors littoral)</i>	<i>Pelodytes punctatus (Population hors littoral)</i>		<i>EN (Population hors littoral)</i>
Pelodyte ponctué	<i>Pelodytes punctatus</i>	R	VU
Triton crêté	<i>Triturus cristatus</i>	PC	VU

Tableau 3 : liste des espèces à enjeux de continuité écologique devant faire l'objet d'une attention particulière. Niveau de rareté et menace d'après (Collectif faunistique du référentiel 2014)

Des espèces d'oiseaux ou de chiroptères ne sont pas listées ci-dessus car s'agissant d'espèces volantes, leur prise en compte pour les ouvrages de franchissement est plus complexe au sens où elles peuvent potentiellement franchir les infrastructures à n'importe quel endroit. Néanmoins, comme nous l'avons vu précédemment, les infrastructures de transport peuvent avoir un impact très important pour ces groupes. Il est donc souhaitable d'être vigilant si des espèces menacées (vulnérable, en danger, ou en danger critique) sont inventoriées sur la commune. En raison de leur mode de déplacement proche du sol, une attention particulière sera portée aux espèces suivantes de chauves-souris : grand rhinolophe, petit rhinolophe et murin à oreilles échancrées.

Pour ces espèces listées ci-dessus, il est préférable d'approfondir la réflexion en prenant connaissance des exigences écologiques de chacune d'elle afin d'aborder la question de leur capacité à franchir une infrastructure de manière globale en analysant les principaux paramètres suivants :

- quel est l'état de la population de l'espèce en question au niveau du site étudié ?
- quelles sont les principales exigences écologiques de cette espèce tout au long de son cycle biologique ?
- quels sont les principaux critères éco-éthologique qui empêchent cette espèce de franchir une infrastructure ?
- quelles sont les caractéristiques de l'ouvrage de franchissement à étudier et répondent-ils aux exigences de l'espèce.

Bien que l'application du présent guide méthodologique soit possible pour les espèces listées ci-dessus, il est préférable de s'entourer de personnes compétentes ou structures spécialisées (bureaux d'études, associations, établissements publics...) qui seront à même de conseiller au mieux tout maître d'ouvrage sur la conduite à tenir vis-à-vis de la présence de ces espèces.

### 3.5.5 Répartition des milieux naturels autour du site à étudier

Il est possible d'aller plus loin que l'analyse des documents SRCE-TVB des territoires Picardie et Nord-Pas-de-Calais en analysant la répartition des types de milieux naturels autour de l'ouvrage de franchissement. Pour cela deux outils différents sont disponibles en fonction du territoire, la cartographie ARCH pour le Nord-Pas-de-Calais et la carte de l'occupation du sol pour la Picardie.

Toutefois ces documents nécessitent des connaissances approfondies sur la dénomination des habitats naturels utilisés dans ces deux outils. De même, la continuité écologique pour un cortège d'espèces ou une espèce en particulier nécessite également une expertise qui serait trop complexe à détailler ici. Aussi il a été **fait le choix de ne pas faire appel à ces outils de cartographie des habitats naturels dans le cadre du présent guide** mais ils sont néanmoins cités pour mémoire ou au cas où le lecteur de ce document disposerait de compétences en écologie. De même, on peut citer les zones naturelles d'intérêt écologique et floristique (ZNIEFF) qui constituent l'inventaire des sites à enjeux ou encore les réserves naturelles, arrêtés de protection de biotope etc. Ces outils n'ont pas été pris en compte individuellement car ils ont été insérés dans les documents SRCE-RVB qui constituent un document intégrateur permettant de simplifier l'analyse tout en étant parfaitement adapté à la problématique des continuités écologiques dont le thème est central dans cette étude.

#### 3.5.5.1 Cartographie ARCH pour le territoire Nord-Pas-de-Calais

Pour le Nord-Pas-de-Calais, le projet ARCH (Assessing Régional Habitat Change) permet de disposer d'informations assez précises pour connaître le type d'habitat naturel présent sur l'ensemble de ce territoire. Il s'agit d'un projet qui s'inscrit dans le cadre du programme européen INTERREG IV A 2 MERS. D'un budget total de 2,46 millions d'euros, ARCH vise à cartographier les habitats naturels sur le territoire du comté de Kent pour le Royaume-Uni et du Nord-Pas-de-Calais pour la France regroupant un total de 17 000 km<sup>2</sup>.

La méthodologie de cette photo-interprétation repose sur le travail d'un groupe transfrontalier réunissant des administrations, des organismes scientifiques et techniques tels que le Conservatoire Botanique National de Bailleul.

L'ensemble de la méthodologie est disponible sur le site internet français du projet ARCH :

<http://www.arch.nordpasdecalais.fr/>, onglet "Ressources".

La typologie des habitats utilisée par ARCH est compatible avec la typologie européenne CORINE Biotopes niveau 3, et transposable dans la nouvelle typologie européenne EUNIS. Certains postes de la typologie CORINE biotope ont été fusionnés et d'autres ont été scindés en plusieurs postes différents.

La base de données ARCH a fait l'objet d'une échelle de saisie au 1/2000 (et même au 1/1000 dans certains cas pour la révision automne 2016) et une restitution maximale au 1/5000, et au 1/10000 pour une exploitation optimale. Ce niveau de détail est suffisant pour évaluer le niveau de fragmentation des milieux naturels à proximité d'un ouvrage de franchissement.

Les couches SIG du projet ARCH sont accessibles à cette adresse :

<http://arch.hautsdefrance.fr/>

### **3.5.5.2 Cartographie de l'occupation du sol pour le territoire Picardie**

Le fond d'occupation du sol de base le plus classiquement utilisé est Corine Land Cover (MEDDTL / SOeS - 2006) mais son échelle de validité, environ le 1/150000e, représente une véritable limite dans des travaux où comme ici, il est utile de disposer d'informations sur la fragmentation des milieux naturels.

A l'instar d'autres régions (Ile-de-France ou Nord Pas-de-Calais par exemple) des travaux de réalisation d'une occupation des sols plus précise ont été entrepris en Picardie, et ce, dès 1990. Après une évolution en 2002, cette couche d'information géographique a été mise à jour en 2012/2013 à partir d'images et d'orthophotoplans de 2010. Ces données cartographiques ont été par ailleurs affinées par le bureau d'études Ecothème dans le cadre de la réalisation du SRCE/TVB de Picardie.

L'échelle de représentation de l'occupation du sol de Picardie était conçue pour visualiser la cartographie au 1/25 000 ce qui rend cette cartographie moins précise que celle du territoire du Nord-Pas-de-Calais. Néanmoins, ce document apporte des informations utiles pour évaluer la fragmentation des milieux naturels et évaluer l'adéquation de la surface et de la répartition d'un milieu naturel favorable à une espèce donnée.

La couche d'occupation du sol est disponible en saisissant « couche occupation du sol picardie » dans un moteur de recherche. A ce jour cette couche SIG est disponible sur le serveur [geo.data.gouv.fr](http://geo.data.gouv.fr) à cette adresse :

<https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/e3bbdf2d6963e88929c691a5a463f0e64c8f4dff>

### **3.5.5.3 Utilisation des photographies aériennes de Google Maps ou Géoportail**

En se connectant à Google Maps (<https://maps.google.fr/>) ou Géoportail (<https://www.geoportail.gouv.fr/>), il est possible de faire apparaître la couche montrant une photographie aérienne. Le terme est "satellite" pour Google Maps et "photographies aériennes" pour Géoportail. Pour savoir comment afficher ces couches, se reporter au paragraphe 3.5.2.1.1.2 ci-dessus pour Géoportail et au paragraphe 3.5.2.1.1.1 ci-dessus pour Google Maps.







### 3.5.5.3.1 L'apport de la photographie aérienne infrarouge

Géoportail offre depuis le printemps 2018 sur toute la France, la possibilité d'afficher des photographies aériennes par infrarouge. Toutes les informations sont disponibles ici :

<https://www.geoportail.gouv.fr/actualites/decouvrez-la-photographie-aerienne-infrarouge>.

Tel que le précise ce site internet " *Ce domaine du spectre est très utilisé pour différencier les surfaces naturelles. Il permet notamment de distinguer les surfaces végétalisées des surfaces minérales car les surfaces couvertes par la végétation réfléchissent fortement les longueurs d'onde du proche infrarouge, alors qu'elles réfléchissent peu le rayonnement dans la partie visible.*

*L'image infrarouge couleur (ou IRC) est l'image la plus appropriée pour l'étude détaillée de la végétation. Elle est ainsi particulièrement utile aux travaux d'inventaire forestier. Grâce à la photographie infrarouge, il est possible de distinguer les feuillus (en rouge), les conifères (en sombre), voire de différencier entre elles certaines espèces".*

Sans rechercher à distinguer les espèces d'arbres forestiers, cette cartographie infrarouge permet de distinguer plus facilement les zones végétalisées et en particulier les forêts.

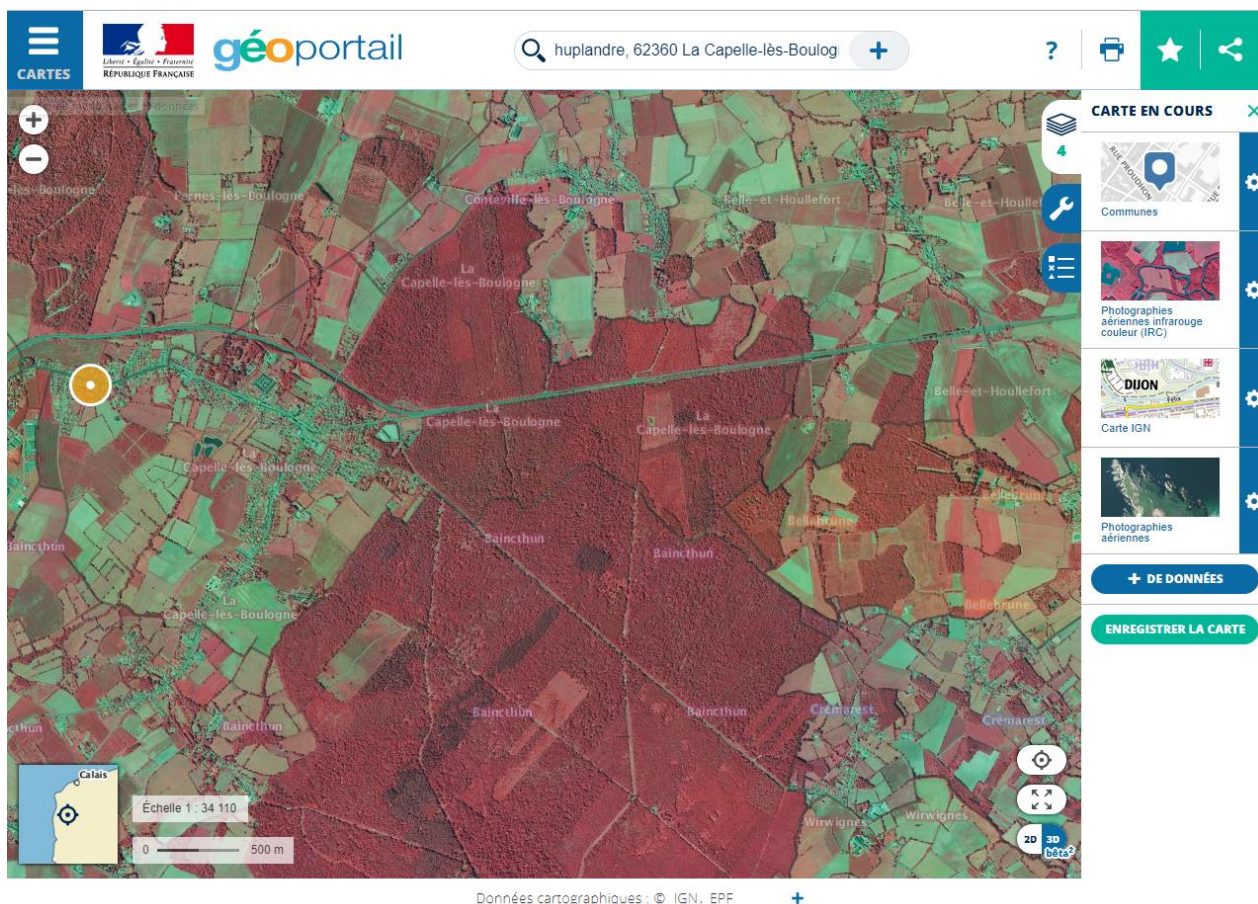


Figure 27 : Affichage de la photographie aérienne infrarouge couleur avec Géoportail sur la commune de La-capelle-lès-Boulogne. (source : Images ©2018 Google, Données cartographiques ©2018 Google).

## 3.6 Clé d'identification des enjeux et des solutions

Cette clé d'identification des enjeux et solutions a pour objectif de poser les questions essentielles permettant de déterminer les principaux facteurs impactant la continuité écologique. Elle doit permettre au gestionnaire de déterminer rapidement, en profitant de tous les outils disponibles à son bureau et si besoin en effectuant une visite de terrain, si des aménagements pourraient être entrepris pour améliorer la fonctionnalité d'ouvrages de franchissement d'infrastructures de transport existants dont il a la gestion.

Chaque paragraphe dont certains correspondent à des critères éco-éthologiques doivent être étudiés séparément. En fonction des conclusions de chaque rubrique, le gestionnaire doit être en mesure de déterminer quelles mesures sont favorables à la restauration de la continuité écologique. Toute mesure prise pour la restauration des continuités écologiques sera de façon globale favorable à la biodiversité. C'est avant tout le rapport coût/ bénéfice qui apportera des informations sur la priorisation des interventions.

Si d'autres ouvrages de franchissement sont présents à moins de 2 km de celui étudié, il est souhaitable d'appliquer cette clé à tous ces ouvrages afin de déterminer celui où les mesures à prendre seront les plus efficaces.

### 3.6.1 Pré-analyse au bureau

#### 3.6.1.1 *Utilité de la clé d'identification des enjeux et solutions*

Sans critère simple de seuil d'utilité pour les infrastructures ferroviaires et fluviales, nous considérons que l'application de cette clé est potentiellement utile pour tout ouvrage de franchissement de ce type d'infrastructure (passer directement au paragraphe 3.6.1.2)

A	La voie à franchir compte moins de 500 véhicules jours et ne comporte ni clôtures ni séparateur de voie béton (penser à évaluer le franchissement d'une autre infrastructure si elle est très proche)	A1
	La voie à franchir compte plus de 500 véhicules jours ou comporte une clôture ou un séparateur de voie béton (penser à évaluer si besoin une autre infrastructure qui serait parallèle à celle-ci et très proche (cumul d'effets))	A2
A1	Sauf cas particuliers, la voie à franchir ne constitue pas un obstacle à la continuité écologique, aucune mesure à prévoir	
A2	Le présente guide est adapté à ce type de situation, passer au critère suivant	3.6.1.2

#### 3.6.1.2 *Fonction de l'ouvrage de franchissement*

B	Sur la photographie aérienne Google Maps ou Géoportail (voir utilisation paragraphe 3.5.2.1.1 ci-dessus), l'ouvrage de franchissement passe au-dessus de l'infrastructure à franchir	B1
	Sur la photographie aérienne Google Maps ou Géoportail (voir utilisation paragraphe 3.5.2.1.1 ci-dessus), l'ouvrage de franchissement passe en dessous de l'infrastructure à franchir	B3
B1	Sur la photographie aérienne, l'ouvrage apparaît entièrement végétalisé et sans empreintes de roues de véhicules	B2
	Sur la photographie aérienne, l'ouvrage apparaît revêtu d'un enrobé ou de béton au moins sur une partie de sa surface	B3
B2	Élément favorable à la continuité écologique sur ce critère. Il est probable que cet ouvrage soit un passage à faune spécifique. Les critères à évaluer sur le terrain seront analysés afin d'évaluer la fonctionnalité écologique de l'ouvrage.	3.6.1.3

B3	Depuis Google Maps, l'ouvrage (ou ses entrées et sortie s'il s'agit d'un passage inférieur) apparaît en surbrillance en cliquant sur la figurine jaune en bas à droite de l'écran	B4
	Depuis Google Maps, l'ouvrage de franchissement n'apparaît pas en surbrillance en cliquant sur la figurine jaune en bas à droite de l'écran	B5
B4	Il s'agit donc d'une route ouverte à la circulation publique des véhicules à moteur. Cliquer alors sur l'ouvrage pour s'y rendre virtuellement et recueillir d'ores et déjà le maximum d'informations possibles qui sont détaillées dans la rubrique "à recueillir sur le terrain" (paragraphe 3.6.2 ci-dessous)	3.6.1.3
B5	De part et d'autre de l'ouvrage de franchissement la carte Géoportail avec le fond carte IGN en zoomant suffisamment (25 000 au 5 000ème) montre les éléments suivants : - un double trait à l'intérieur duquel est imprimé un bleu soutenu (fleuves, canaux et rivières permanents) ; - un poncif (motif répété dans une surface) sable ou gravier (fleuves et rivières temporaires) ; - un trait bleu continu (cours d'eau permanents les canaux d'irrigation de faible largeur) ; - un trait bleu tireté (cours d'eau temporaires). En zoomant et en parcourant le linéaire, il est souvent indiqué s'il s'agit d'un ruisseau, rivière, chenal, canal, fleuve ou autre, suivi de son nom	B6
	Aucun des éléments ci-dessus ne figure sur la carte Géoportail de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement	B7
B6	Il s'agit donc d'un ouvrage hydraulique de taille variable, une vérification terrain est alors nécessaire pour prendre connaissance des caractéristiques de l'ouvrage (paragraphe 3.6.2 ci-dessous)	3.6.1.3
B7	Il est très probable que l'ouvrage de franchissement ne soit pas une route ouverte à la circulation publique des véhicules à moteur, une vérification terrain est alors nécessaire (paragraphe 3.6.2 ci-dessous)	3.6.1.3

### 3.6.1.3 *Vérification de la présence d'espèces à enjeux de continuité écologique dans les bases de données*

C	Après consultation des bases de données faune régionales, clicnat.fr pour le territoire picard et sirf.eu pour le territoire Nord-Pas-de-Calais, au moins une des espèces listées au paragraphe 3.5.4.1 ci-dessus devant faire l'objet d'une attention particulière est présente sur la ou les communes situées dans un rayon de 1 km autour de l'ouvrage de franchissement.	C1
	Après consultation des bases de données faune régionales, clicnat.fr pour le territoire picard et sirf.eu pour le territoire Nord-Pas-de-Calais,, aucune des espèces listées au paragraphe 3.5.4.1 ci-dessus devant faire l'objet d'une attention particulière n'est présente sur la ou les communes situées dans un rayon de 1 km autour de l'ouvrage de franchissement.	3.6.1.4
C1	L'ouvrage de franchissement présente potentiellement un rôle important vis à vis de la présence des espèces recensées. Considérant le niveau d'enjeux important, il est souhaitable de faire appel à des personnes compétentes en écologie de la restauration pour définir les mesures pertinentes à mettre en place.	3.6.1.4

### 3.6.1.4 Des enjeux de continuité écologique sont-ils déjà identifiés

D	La consultation des atlas issus du SRCE/TVB (ou SRADDETT) ne montre aucune continuité écologique ou réservoir de biodiversité sur ou à proximité (moins de 2 km) de l'ouvrage de franchissement à évaluer	D1
	La consultation des atlas issus du SRCE/TVB (ou SRADDETT) indique la présence d'une continuité écologique ou réservoir de biodiversité au niveau de l'ouvrage de franchissement à évaluer ou à moins de 2 km	D2
D1	Présence d'un habitat forestier ou prairial de plus de 1 ha à moins de 500 mètres de l'ouvrage de franchissement et ce de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement	D3
	Absence d'habitat forestier ou prairial de plus de 1 ha à moins de 500 mètres de l'ouvrage de franchissement de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement	D4
D2	L'ouvrage de franchissement est potentiellement d'intérêt régional, une attention particulière doit être apportée à l'étude de sa fonctionnalité. Consulter le type de corridor identifié dans le SRCE/TVB. Voir paragraphe 3.5.3 ci-dessus	3.6.2
D3	L'ouvrage de franchissement présente un intérêt potentiel, au moins local, une attention particulière doit être apportée à l'étude de sa fonctionnalité	3.6.2
D4	une analyse de l'occupation du sol de part et d'autre de l'ouvrage est souhaitable, voir paragraphe 3.5.5.3 ci-dessus. Sauf si l'ouvrage est entouré uniquement de grandes cultures dans un rayon de 3 km, d'autres milieux naturels peuvent héberger des espèces sensibles à la fragmentation.	3.6.2

**Pour aller plus loin, il est souhaitable si possible de contacter les acteurs susceptibles d'apporter des informations sur les espèces fréquentant le site : Fédération des chasseurs, parcs naturels régionaux si le site se trouve au sein d'un PNR, associations Picardie Nature pour le territoire picard et le Groupe Ornithologique et Naturaliste du Nord-Pas-de-Calais pour le territoire du même nom.**

### 3.6.2 Identification des enjeux sur le terrain

A cette étape, nous considérons que l'analyse de la situation au bureau a permis de mettre en évidence un intérêt potentiel de l'ouvrage de franchissement pour la faune. Chaque critère présenté ci-dessous doit faire l'objet d'une analyse indépendamment les uns des autres. Les critères ci-dessous sont focalisés sur les critères éco-éthologiques importants pour la traversée d'un ouvrage de franchissement d'infrastructure par les animaux. Le paramètre de dimensionnement de l'ouvrage n'est volontairement pas pris en compte car les paramètres ci-dessous sont applicables tant à la petite qu'à la grande faune et aussi bien pour des buses hydrauliques en passage inférieur que pour des passages supérieurs de toutes largeurs. Néanmoins, au cas où une, plusieurs, ou un groupe d'espèce(s) était à privilégier, les caractéristiques de l'ouvrage (largeur, ouverture... ) sont bien entendu un élément primordial à prendre en considération ; tel que nous l'avons vu au paragraphe 2.6.1 ci-dessus, pour s'assurer de la bonne fonctionnalité de l'ouvrage de franchissement.

#### 3.6.2.1 Critère visuel : la covisibilité-

I	En se plaçant à 2-3 m de distance d'une extrémité du garde-corps de l'ouvrage de franchissement, et à une hauteur d'yeux entre 0 et 1 m de hauteur, Il est possible de voir l'autre extrémité du passage	I1
	En se plaçant à 2-3 m de distance d'une extrémité du garde-corps de l'ouvrage de franchissement, et à une hauteur d'yeux entre 0 et 1 m de hauteur, il n'est pas possible de voir l'autre extrémité du passage	I2
I1	Elément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.2
I2	Toutes les solutions possibles pour restaurer la covisibilité doivent être prises : taille de la végétation, suppression d'obstacles visuels, retalutage si possible etc...	3.6.2.2

#### 3.6.2.2 Critère visuel : la lumière

II	De nuit, des éclairages (phares de voiture, lampadaires...) sont visibles depuis l'ouvrage de franchissement	II1
	De nuit, des éclairages (phares de voiture, lampadaires...) ne sont pas visibles depuis l'ouvrage de franchissement	II2
II1	Des améliorations méritent d'être apportées. Voir fiche lumière paragraphe 4.1.4.1 ci-dessous	3.6.2.3
II2	Elément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.3

#### 3.6.2.3 Critère auditif : le bruit

III	La principale source de bruit dominante provient de l'infrastructure routière	III1
	La principale source de bruit dominante ne provient pas de l'infrastructure routière	III2
III1	Le nombre de véhicules/jour est supérieur à 6000	III3
	Le nombre de véhicules/jour est inférieur à 6000	III4



III2	Le niveau sonore est à peu près équivalent ou supérieur à une rue à gros trafic	III3
	Le niveau sonore est à peu près équivalent ou inférieur à une rue d'un quartier résidentiel	III4
III3	Des améliorations méritent d'être apportées. Voir fiche bruit paragraphe 4.1.3.1 ci-dessous	3.6.2.4
III4	Élément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.4

#### 3.6.2.4 Critère de continuité du substrat (olfactive et tactile)

IV	L'ouvrage de franchissement est revêtu sur plus de la moitié de sa largeur d'un enrobé, de béton, de pavés ou de cailloux	IV 1
	L'ouvrage de franchissement est revêtu sur au moins la moitié de sa largeur de terre végétale, végétalisée ou non ou d'un revêtement équivalent permettant une infiltration de l'eau (stabilisé par exemple)	IV 2
IV 1	Voir la fiche sur l'amélioration de la continuité écologique du substrat (paragraphe 4.1.5.2 ci-dessous)	3.6.2.5
IV 2	Élément a priori favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.5

#### 3.6.2.5 Critère de continuité physique au niveau de l'ouvrage de franchissement

V	L'ouvrage de franchissement présente au moins une des caractéristiques suivantes : - seuil (= marche quasi verticale) à franchir de plus de 10 cm de hauteur (vers le haut ou le bas) - passage submersible au moins une partie de l'année pendant plus de une semaine	V1
	L'ouvrage de franchissement <b>ne présente aucune</b> des caractéristiques suivantes : - seuil (= marche quasi verticale) à franchir de plus de 10 cm de hauteur (vers le haut ou le bas) - passage submersible au moins une partie de l'année pendant plus de une semaine	V2
V1	Il est nécessaire de gommer le plus possible toute discontinuité physique. Voir la fiche sur l'amélioration de la continuité physique paragraphe 4.1.2.1 ci-dessous	3.6.2.6
V2	Élément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.6

#### 3.6.2.6 Critère de continuité végétale ou structurelle au niveau de l'ouvrage de franchissement

VI	L'ouvrage de franchissement présente au moins une rangée d'arbustes presque continue sur l'ensemble de sa traversée	VI1
	L'ouvrage de franchissement ne présente pas de rangée d'arbustes presque continue sur l'ensemble de sa traversée.	VI2

VI1	Elément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.7
VI2	Dans ce cas même s'il s'agit d'un ouvrage inférieur ne recevant ni eau ni lumière, il existe des solutions pour améliorer la continuité structurelle avec les milieux naturels situés de part et d'autre de l'ouvrage (voir fiche 4.1.2.4 ci-dessous)	3.6.2.7

### **3.6.2.7 Critère de continuité physique : présence de clôture ou de murets sur l'infrastructure à franchir**

Attention pour ce critère, il s'agit d'observer non pas l'ouvrage de franchissement en tant que tel mais l'infrastructure à franchir

VIII	L'infrastructure à franchir comporte d'un côté, de l'autre ou des deux, un dispositif de clôture empêchant la faune de la traverser (grillage, mur en béton, clôture etc...). Une clôture agricole de type "3 fils" ne peut être considérée comme une clôture infranchissable pour la faune sauvage.	VIII 1
	L'infrastructure à franchir ne comporte pas d'un côté, de l'autre ou des deux, de dispositif de clôture empêchant la faune de la traverser (grillage, mur en béton, clôture etc...)	VIII 2
VIII 1	La clôture est dans la continuité avec les gardes corps de l'ouvrage de franchissement	VIII 3
	La clôture n'est pas dans la continuité avec les gardes corps de l'ouvrage de franchissement	VIII 9
VIII 3	La hauteur de la clôture est supérieure à 1,80 m	VIII 6
	La hauteur de la clôture est inférieure à 1,80 m	VIII 7
VIII 6	Présence d'un grillage ou autre structure à maille inférieure à 6,5*6,5 mm sur une hauteur d'au moins 1 mètre de hauteur	VIII 8
	Dans sa partie inférieure à 1 mètre, la clôture présente des ouvertures de plus de 6,5*6,5 mm	VIII 10
VIII 8	Elément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	3.6.2.8
VIII 10	La clôture est efficace pour guider cerfs, chevreuils, renards et sanglier vers l'ouvrage de franchissement mais l'opportunité de rajouter un grillage supplémentaire pour guider les animaux de plus petite taille doit être étudiée	VIII 9
VIII 7	Présence d'un grillage ou autre structure à maille inférieure à 6,5*6,5 mm sur une hauteur d'au moins 1 mètre de hauteur	VIII 11
	Dans sa partie inférieure à 1 mètre, la clôture présente des ouvertures de plus de 6,5*6,5 mm	VIII 12
VIII 11	La clôture manque d'efficacité pour guider : - les cerfs ; - en deçà d'1,60 pour les chevreuils ; - en deçà d' 1,40 pour le Renard ou le blaireau En revanche elle est efficace pour les autres animaux de taille inférieure.	VIII 9
VIII 12	La clôture manque d'efficacité pour guider les animaux vers l'ouvrage de franchissement	VIII 9
VIII 2	Le nombre de véhicule/jour sur la voie à franchir est supérieur à 10 000 ou il y a présence d'un séparateur de voie béton	VIII 13
	Le nombre de véhicule/jour sur la voie à franchir est inférieur à 10 000 et il n' y a pas de séparateur de voie béton	VIII 14
VIII 13	Même en l'absence de clôture de guidage, l'ouvrage de franchissement présente un intérêt compte-tenu de l'infranchissabilité de l'ouvrage à franchir.	3.6.2.8
VIII 14	Le nombre de véhicule/jour sur la voie à franchir est compris entre 2 500 et 10 000 et il n' y a pas de séparateur de voie béton	VIII 15
	Le nombre de véhicule/jour sur la voie à franchir est inférieur à 2 500 et il n' y a pas de séparateur de voie béton	VIII 16

VIII 15	L'opportunité de mettre en place des structures de guidage vers des ouvrages de franchissement d'infrastructure est à étudier suivant les enjeux existants et la fonctionnalité de l'ouvrage de franchissement dont il est question	4.1.2.3
VIII 16	L'intérêt de l'ouvrage de franchissement pour la faune est discutable car les animaux peuvent passer facilement en dehors de celui-ci. Il convient d'analyser plus finement pour quels types d'animaux l'ouvrage de franchissement peut avoir une utilité	3.6.2.8
VIII 9	A condition que l'ouvrage de franchissement présente un intérêt pour la traversée de la faune, le dispositif de guidage des animaux vers l'ouvrage de franchissement peut être amélioré. Voir paragraphe 4.1.2.3 ci-dessous	3.6.2.8

### 3.6.2.8 Critère combiné : risque de prédation, dérangement

IX	L'ouvrage de franchissement est peu fréquenté par l'homme (voitures, randonneurs, cyclistes...)	IX 1
	L'ouvrage de franchissement connaît une fréquentation anthropique importante (voitures, randonneurs, cyclistes...)	IX 2
IX 1	L'ouvrage de franchissement ne dispose pas ou de très peu d'endroits permettant aux petits mammifères de se cacher sous des pierres, andains de bois ou végétaux.	IX 3
	L'ouvrage de franchissement dispose de nombreux endroits permettant aux petits mammifères de se cacher sous des pierres, andains de bois ou végétaux lors du franchissement (espacement de ses cachettes à moins de 5m les unes des autres)	IX 4
IX 2	Si un enjeu de continuité écologique est identifié, il est souhaitable de limiter dans la mesure du possible la fréquentation humaine. Voir paragraphe 4.1.6.1 ci-dessous	IX 9
IX 3	Voir le paragraphe 4.1.2.2 ci-dessous sur l'aménagement de zone refuges pour les animaux	IX 9
IX 4	Élément favorable à la continuité écologique sur ce critère, analyser également les autres critères	IX 9
IX 9	Une analyse combinée de tous les critères précédents est nécessaire pour conclure sur l'opportunité des aménagements et actions à entreprendre	

### 3.6.2.9 Recommandations par groupe d'espèce ou espèce cible

Certains aménagements utiles peuvent être spécifiques pour un groupe d'espèces (chauves-souris par exemple). Parfois une espèce cible comme le cerf par exemple requiert également des conditions bien spécifiques pour qu'un ouvrage de franchissement d'infrastructure soit fonctionnel. Quelques fiches exemples ont été rédigées en ce sens. Ces recommandations par espèces dépassent les objectifs de cette étude mais mériteraient d'être approfondies et développées pour disposer d'un recueil complet des connaissances sur l'écologie et l'éthologie animal d'un maximum d'espèces pour lesquels la fragmentation des habitats naturels leur est préjudiciable. Ces fiches devraient consigner l'ensemble des connaissances relatives à leur capacité de franchir des infrastructures de transport terrestre.

Une première version de ces fiches a été rédigée. Ces fiches peuvent être utilisées si le diagnostic des enjeux de l'ouvrage de franchissement fait ressortir la présence d'espèces listées ou faisant partie des groupes d'espèces ci-dessous :

- fiche amphibiens (paragraphe 4.2.1) ;
- fiche oiseaux (paragraphe 4.2.2) ;
- fiche chauves-souris (paragraphe 4.2.3) ;
- fiche cerfs et chevreuils (paragraphe 4.2.4) ;
- fiche renard roux (paragraphe 4.2.5) ;
- fiche blaireau européen (paragraphe 4.2.6) ;
- fiche fouine (paragraphe 4.2.7) .



## 4 Phase 2 (suite) : fiches actions

### 4.1 Possibilités d'aménagements des ouvrages pour faciliter le passage de la faune

Les aménagements décrits ci-après répondent à un type de fragmentation identifié plus haut dans ce document. Chaque possibilité est donc mentionnée en fonction du facteur d'influence qu'elle concerne. Dans le cas de certaines espèces cibles (oiseaux, chiroptères...), un paragraphe complémentaire et indépendant recense les possibilités d'aménagement par groupe d'espèce voire par espèce.

Chaque possibilité est présentée sous forme d'un paragraphe listant la faune concernée, les conséquences si le critère n'est pas rempli, ainsi que les moyens d'y remédier.

Les types d'ouvrages de franchissement correspondent à ceux illustrés en Figure 28 ci-dessous









Type de passage		
Passage simple		Type I : buse ou dalot
Passage spécialisé (amphibiens)		Type II : passage à batraciens
Passage mixte		Type III : passage hydraulique mixte de petite dimension
Passage agricole ou forestier		Type IV : passage agricole ou forestier dimensions minimales
Passage inférieur grande faune		Type V : passage inférieur grande faune
Passage supérieur grande faune		type VI : écopont, pont vert, pont végétalisés
Viaduc		Type VII : passage sous viaduc
Pont écologique (faux tunnel, tranchée couverte)		Type VIII : couloir écologique

Figure 28 : principaux types d'ouvrages de franchissement d'infrastructure (Carsignol et al. 2005)

#### 4.1.1.1 Ressources documentaires utiles

Ces fiches doivent permettre au gestionnaire de trouver des solutions simples à mettre en œuvre. Les informations sont volontairement succinctes. Pour des informations plus détaillées sur les caractéristiques d'aménagements importants à réaliser, il est utile de se reporter aux documents suivants :

- guide technique SETRA aménagements et mesures pour la petite faune (Carsignol et al. 2005) ;
- bilan d'expériences routes et passages à faune (SETRA 2006) ;
- guide à paraître " Préservation et restauration des continuités écologiques impactées par les infrastructures de transport" (Cerema Est à paraître).

#### 4.1.2 Aménagements en fonction de critères structurels

##### 4.1.2.1 Critère de continuité physique : présence d'un seuil à franchir d'au moins 10 cm de hauteur

- *Faune concernée* : Espèces de petite taille (amphibiens, reptiles, insectes, rongeurs...) mais également de plus grande taille sur le seuil est important.

- *Conséquence(s) si critère non rempli* : Impossibilité d'entrée ou de sortir du passage en raison de la petite taille de l'animal et/ou de son mode de déplacement.

- *Aménagement(s) possible(s)* :

Tous types d'ouvrage de franchissement : Ne pas surélever ou bloquer l'entrée et la sortie du passage (marche d'au moins 5 – 10 cm, fossé...). Il est important de rechercher toute solution permettant de gommer durablement ces marches infranchissables (Figure 29) ou de créer des ouvertures dans ceux-ci (Figure 30). Veiller toujours à favoriser une continuité sans risque de submersion, même temporaire, du point bas de l'ouvrage de franchissement. Parfois ces obstacles sont installés volontairement pour conduire la faune vers des ouvrages de franchissement adaptés, c'est un point à vérifier.

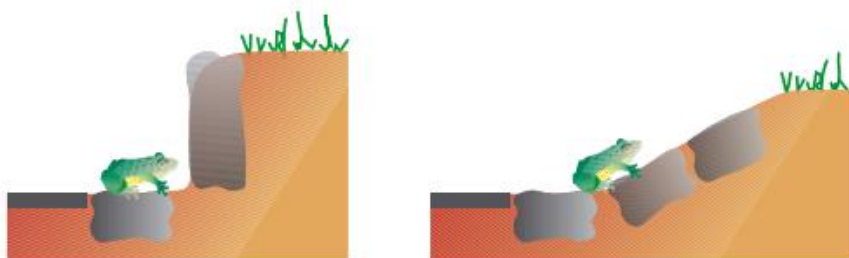


Figure 29 : Entrées de passage avec marche (à gauche) ne permettant pas à certains animaux d'utiliser le passage. A droite, une pente douce le permet (Carsignol et al. 2005)



*Figure 30 : Entaille réalisée dans des palplanches métalliques le long d'un canal pour permettre à la faune de s'échapper en évitant la noyade (source : VNF direction territoriale Centre Bourgogne)*

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.

#### 4.1.2.2 Critère de continuité physique : maintien d'un passage à « pied sec » pour les animaux

- *Faune concernée* : Petite à moyenne faune.
- *Conséquence(s)* : De nombreux ouvrages de franchissement inférieurs ne sont pas adaptés à la petite et moyenne faune souvent parce que l'ouvrage est submergé en partie ou dans son intégralité une partie de l'année.
- *Aménagement(s) possible(s)* :
  - Types de passages I, II, III, IV, V : Prévoir une légère pente pour permettre à l'eau de sortir en cas de fortes pluies et faire attention à l'effet cuvette qui rend les passages à faune facilement inondables.



Figure 31 : Passage submergé pendant de fortes pluies à Cubry empêchant la faune terrestre d'emprunter le passage inférieur (Source : RFF – LGV Rhin Rhône)

- Types de passages I et III : Création de banquettes solides (différentes formes et matériaux). Ces banquettes permettent de maintenir la fonction hydraulique tout en maintenant la plupart du temps une zone à sec sur laquelle la petite faune peut se déplacer (Figure 33, Figure 34 et Figure 35 ci-dessous).

Lorsque des banquettes sont envisagées dans des buses hydrauliques ou des dalots, il est important de connaître la fonction exacte de ces ouvrages pour ne pas gêner la libre circulation des eaux et ce à tout moment de l'année. Si l'ouvrage de rétablissement hydraulique concerne un cours d'eau, la hauteur de la banquette doit être déterminée en se basant sur le débit de pleins bords (sur le sommet des berges) correspondant au débit de crue de retour d'environ deux ans. Au-delà de 5 ans, c'est généralement la totalité du fond de la vallée qui est inondée et la banquette n'aurait dans ce cas pas d'intérêt (Cerema Est à paraître).

Si la buse ou le dalot peuvent être mis hors d'eau temporairement, il peut être envisagé de maçonner l'ouvrage de façon à créer une banquette solidaire à celui-ci (Figure 32 ci-dessous) :





Figure 32 : différents types de banquettes à créer en maçonnant des ouvrages existants soit sur demande en usine à la fabrication (Source Cerema Est)



Figure 33 : Passage à faune équipé d'une banquette en bois à Frocourt (Hauts-de-France)



Figure 34 : Aménagement du dalot du ruisseau « la couture » : à gauche avant travaux, à droite après travaux, création d'une banquette avec sol naturel reconstitué. RN 42 section Hautmon-Beaufort (59) source : Cerema Nord-Picardie



*Figure 35 : Buse hydraulique aménagée : en haut à gauche état initial, en bas à gauche création d'une banquette en encorbellement, en bas à droite banquette prolongée pour rester hors inondation sur toute sa longueur. Ouvrage OH46 sur RN42 section Hautmont-Beaufort (59) lieu-dit « sur le bois ». Source Cerema Nord-Picardie*

Il existe donc différentes possibilités d'aménagements de passages inférieurs hydrauliques, l'essentiel étant de rechercher une continuité de support à « pied sec », idéalement en matériau naturel, sans qu'il y ait de marches de plus de 5 à 10 cm en entrée ou sortie.

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.



#### 4.1.2.3 Critère de continuité physique : améliorer un dispositif de guidage des animaux vers l'ouvrage de franchissement

- *Faune concernée* : Tous les taxons (en fonction de la taille de maille).
- *Conséquence(s)* : Augmentation des collisions et non utilisation du passage à faune.
- *Aménagement(s) possible(s)* : (tous types de passages)
- Utilisation de clôture afin de guider vers le passage à faune. La clôture est posée de manière à empêcher la faune de traverser la route, et également pour rabattre la faune vers le passage avec une forme d'entonnoir.



Figure 36 : clôture permettant de guider les animaux vers un batrachoduc sur l'autoroute A 7 à St Barthelemy-de-Vals. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard

Pour la petite faune comme les amphibiens, peuvent également être utilisés des murets ou cornières installés le long de l'infrastructure de part et d'autre de l'ouvrage à franchir (Figure 37 ci-dessus).

La pose d'un dispositif de guidage comme une clôture ou des murets bétons doit être envisagée en particulier dans les zones « points noirs » (zones à fortes collisions). Il est vivement recommandé d'établir un diagnostic complet avant de poser les clôtures ou murets de guidage pour déterminer le plus précisément quelles espèces sont concernées, sur quelle longueur poser ces dispositifs, quelle hauteur, quelle maille de grillage etc.

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.



Figure 37 : système de guidage fait d'un muret béton pour diriger des amphibiens vers un batrachoduc. Source : Maibach.com

- Création de zones de refuge pendant la traversée. Il est souhaitable de guider les animaux vers l'ouvrage de franchissement ou dans celui-ci en mettant en place des andains. Les andains sont des amas de blocs de pierre, souches, bois, disposés de façon linéaire sur l'ouvrage sur environ 50 cm de hauteur et 1 m de large ou davantage selon l'espace disponible. Ils offrent à la fois des habitats pour la petite faune, des espaces refuges lors de la traversée et une structure permettant de guider les animaux de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement (Figure 38 ci-dessous).
- une continuité végétale peut aussi favoriser le guidage des animaux vers un ouvrage de franchissement (voir paragraphe 4.1.2.4 ci-dessous).



Figure 38 : Mise en place d'andains de bois mort servant d'habitat et de zones refuges pour la petite faune. Autoroute A 7, commune de Beausemblant – Photo cc-by-sa-3 O. Pichard



#### 4.1.2.4 Critère de continuité physique : Ajout d'une continuité végétale au niveau de l'ouvrage de franchissement

- *Faune concernée* : Tous les taxons.
- *Conséquence(s)* : L'absence de continuité végétale crée une barrière physique ou sensorielle plus ou moins franchissable en fonction de l'espèce.
- *Aménagement(s) possible(s)* :
  - Types VI et VIII et ouvrages de franchissement supérieurs :
  - Ajout d'un continuum végétalisé au niveau de l'ouvrage de franchissement. La recolonisation naturelle par une végétation spontanée est à favoriser autant que possible. Il est souhaitable d'ajouter également si possible une continuité d'arbustes voire d'arbres afin de guider les animaux durant la traversée, qu'il s'agisse de mammifères ou d'espèces volantes. De plus, cet aménagement peut également servir d'habitat aux invertébrés et aux oiseaux. Si des plantations arbustives sont possibles, privilégier des essences locales de même nature que l'environnement immédiat de l'ouvrage de franchissement.



Figure 39 : Passage à faune avec un couloir végétal traversant le passage et de la végétation à l'entrée et sortie du passage. source Cerema Nord-Picardie

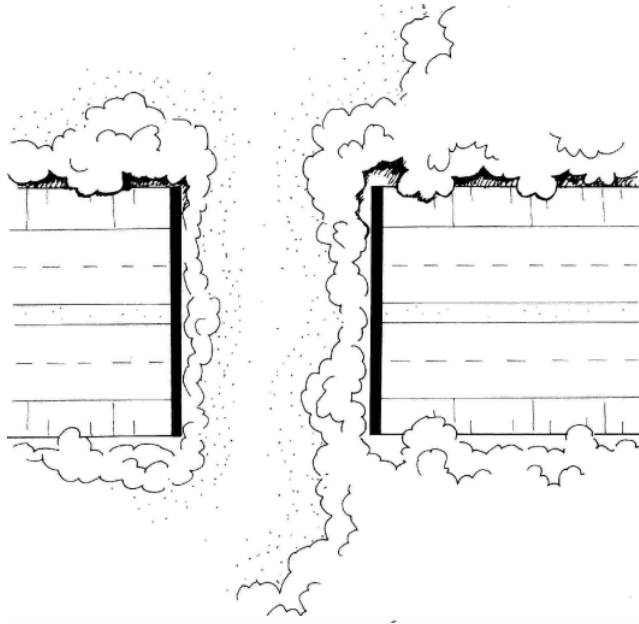


Figure 40 : Continuité végétale guidant les animaux vers l'intérieur du passage et facilitant la traversée

- L'entretien de la végétation naturelle de part et d'autre du passage est important pour éviter un développement trop conséquent qui pourrait créer une barrière visuelle. Au cas où des plantations d'arbustes étaient nécessaires, on privilégiera également des espèces demandant peu d'entretien.
- Ajout d'autres éléments que de la végétation, mais pouvant servir de continuité et de cachette : bois mort, pierres, amas de terre (voir Figure 38 ci-dessus).

Ces aménagements permettent donc d'assurer une continuité d'habitats naturels avec les milieux environnants, d'offrir des habitats naturels à plusieurs espèces et de guider les animaux vers l'ouvrage de franchissement.

▪ Situation d'ouvrages de franchissement en passage inférieur :

- Dans la mesure du possible, il est souhaitable de végétaliser l'ouvrage de franchissement mais la lumière et l'eau sont les facteurs limitant des passages inférieurs. Pour plus d'information sur la végétalisation des passages inférieurs, on consultera une étude de 10 ouvrages relative à la colonisation par la végétation sous les infrastructures (Mazuer 2018). Néanmoins, on recherchera à créer de la diversité structurale dans ces passages inférieurs à la fois pour créer des microhabitats, des zones de refuge mais également pour simuler au maximum un environnement naturel. Par ailleurs, des espèces comme les chauves-souris profitent d'éléments en relief pour mieux se localiser dans l'espace leur facilitant ainsi la traverser d'ouvrage en les suivant.

Si des ensemencements d'herbacées ou des plantations d'arbustes sont nécessaires, il est souhaitable de consulter la liste des végétaux recommandés sur le site "plantons le décor" (<https://www.plantonsledecor.fr/>) géré par "Espaces Naturels Régionaux". Il peut également être fait recours à la marque "Végétal local", créée en 2015 et portée par la Fédération des Conservatoires botaniques nationaux, l'AFAC-Agroforesterie et Plante & Cité qui permet de garantir l'origine géographique de plants et de semences (arbres, arbustes et herbacées) :

<https://www.cbnbl.org/marque-vegetal-local-outil-protger-et-conserver-patrimoine-naturel-vegetal-notre-region>

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.

### 4.1.3 Aménagements en fonction de critères auditifs

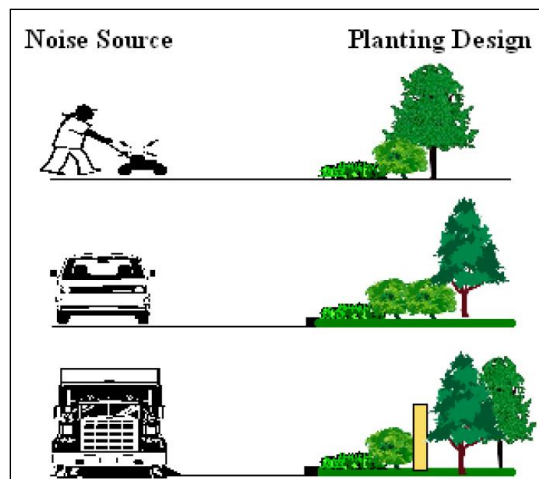
#### 4.1.3.1 critère Bruit

- *Faune concernée* : Tous les taxons.
- *Conséquence(s)* : Non utilisation du passage à faune si le trafic est supérieur à 6000 véhicules/jour pour l'herpétofaune, 10 000 véhicules/jour pour les mammifères et les oiseaux.
- *Aménagement(s) possible(s)* : (tous types de passages)
- Mur anti-bruit classique : les murs anti-bruit permettent de réduire les nuisances sonores mais aussi lumineuses. Ainsi, pour une raison de confort mais aussi de sécurité, il est préférable d'éviter les écrans transparents. En effet, des collisions avec la faune volante sont avérées.



Figure 41 : Mise en place de murs anti-bruit pour réduire le bruit provenant de la route  
(Source : CC-BY-SA, Frettie)

- Mur anti-bruit végétal : certaines plantes ont des capacités isolantes permettant de lutter contre le bruit du trafic tout en œuvrant pour les continuités écologiques (guide pour les oiseaux et chauves-souris, clôture pour limiter les collisions, diminution des discontinuités infrastructure/écosystème). Souvent peu coûteux, les murs de bambous (secs car les plantations de bambous sont à proscrire en raison de leur caractère invasif) ont notamment obtenu de bon résultat concernant l'isolation sonore.



Structure végétale efficace pour lutter contre le bruit en fonction de l'intensité sonore (Source (Georgia forestry commission 2008))

- Mise en place d'une signalisation adaptée (panneau A15b) et réduction de la vitesse des voitures, d'au moins 5km/h dans les zones « points noirs » ou en période dite sensible (reproduction, nidification...).



*Figure 42 : panneau de signalisation A15b indiquant la proximité de passage d'animaux sauvages – photo cc-by-sa-3 Roulex\_45*

- En cas de mortalité importante pendant des périodes sensibles (migration d'amphibiens en particulier), la fermeture provisoire des routes et la mise en place d'une déviation est à envisager. Dans ce cas, il faut étudier la mise en place d'un batrachoduc sur le long terme.

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.

#### 4.1.4 Aménagements en fonction de critères visuels

##### 4.1.4.1 Critère lumière (éclairage artificiel à proximité du passage)

• *Faune concernée* : Tous les taxons.

• *Conséquence(s)* :

- Mammifères : évitement des zones éclairées, changement des cycles biologiques.
- Chiroptères : attraction en bord de route comme zones de chasse, changement de répartition des espèces, évitement du passage.
- Oiseaux : perturbation des migrations, diminution du succès reproducteur.
- Amphibiens et reptiles : attraction près des zones lumineuses comme zones de chasse, diminution de la reproduction et des vocalisations, évitement du passage.
- Invertébrés : attraction de certains invertébrés près des sources lumineuses nocturnes, entraînant une augmentation de la mortalité due à la prédation (amphibien, mammifères nocturnes, chiroptères...), évitement du passage.



Figure 43 : Passage supérieur pollué par la lumière des phares provenant de la route  
(Source : CC-BY-SA, Jamie Hall, The Guardian)

• *Aménagement(s) possible(s)* : (tous types de passages)

- Éclairage réduit et/ou éclairage redirigé afin de diminuer les dérangements de la faune.
- Utilisation d'un capuchon réflecteur ou déflecteur sur les lampadaires pour réduire le cône (angle  $<10^\circ$ ) de la lumière émise et la réorienter vers le sol.



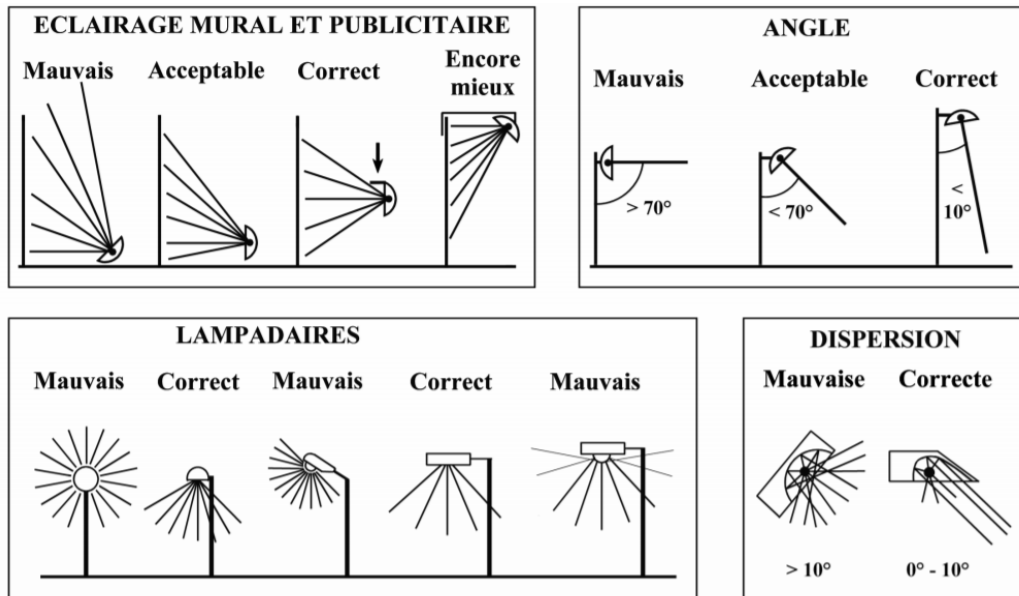


Figure 44 : Exemple de bon et mauvais éclairage : angle, dispersion et orientation  
 Source : Demoulin & Jehin, 2005 in (Siblet 2008)

- Éclairage des structures (ponts...) au lieu de la route directement, afin de minimiser les zones de milieux naturels éclairés inutilement.
- Diminution/suppression des sources de lumière artificielle nocturne à proximité de zones de sites naturels hébergeant des sites de reproduction d'espèces sensibles (amphibiens, oiseaux, chiroptères...)



Figure 45 : zone de reproduction d'amphibiens à protéger de la lumière et du bruit, St Etienne la Thillaye (Source : CC-BY-SA JPL14950)

- Restriction de la durée de l'éclairage et des zones éclairées au strict minimum.
- Restriction des enseignes lumineuses en contexte urbain pendant la nuit. La Suisse, par exemple, a négocié un arrêt des enseignes lumineuses de 2h00 à 6h00 du matin. En France, un arrêté du 25 janvier 2013 réglemente également les éclairages nocturnes.

Longueurs d'ondes (nm)	UV							IR	Lampes les « moins néfastes »	Lampes néfastes mais aux impacts plus « modérés »	
	<400	400 - 420	420 - 500	500 - 575	575 - 585	585 - 605	605 - 700				
Poissons d'eau douce	x	x	x	x	x	x	x		- Sodium Basse Pression - LEDs Ambrées à spectre étroit	- Sodium Haute Pression	
Amphibiens et reptiles	x	x	x	< à 500 et > à 550	x	x	x	x		- Sodium Basse Pression	- Sodium Haute Pression
Oiseaux	x	x	x	x		x	x	x	- Sodium Basse Pression - LEDs Ambrées à spectre étroit	- Sodium Haute Pression - Tube Fluorescent (Blanc le plus chaud < 2700°K)	
Mammifères (hors chiroptères)	x	x	x	x				x	- Sodium Basse Pression - LEDs Ambrées à spectre étroit	- Sodium Haute Pression - Fluo compacte (Blanc le plus chaud < 2700°K) - Tube Fluorescent (Blanc le plus chaud < 2700°K)	
Chiroptères	x	x	x	x					- Sodium Basse Pression - Sodium Haute Pression	- Fluo compacte (Blanc le plus chaud < 2700°K)	
Insectes	x	x	x	x					- LEDs Ambrées à spectre étroit - LEDs Rouges	- Tube Fluorescent (Blanc le plus chaud < 2700°K)	

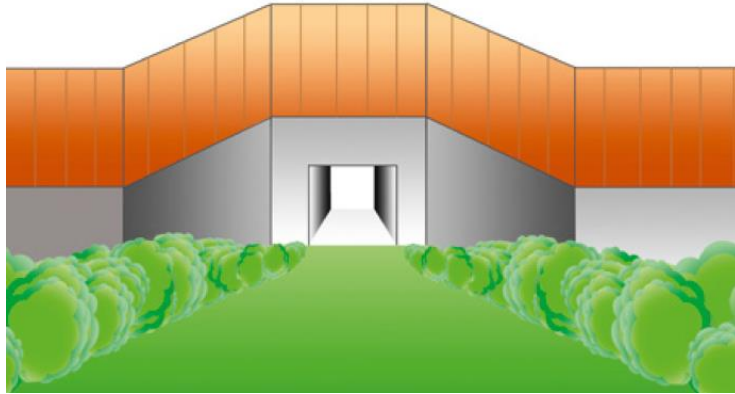
Figure 46 : Lampes à éviter et à privilégier. Les croix indiquent un impact important pour la gamme de longueur d'onde précisée. Source : (Wallonie service public 2016)

- placer des écrans occultants de façons à atténuer voire supprimer les lumières visibles depuis l'entrée de l'ouvrage de franchissement et sur celui-ci s'il s'agit de passage supérieur.



Figure 47 : Ecran visuel permettant d'éviter l'éclairage de l'ouvrage de franchissement par les phares des véhicules. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard

Les écrans d'occultation sont également utiles pour limiter le bruit et les lumières incidentes au droit des ouvrages inférieur. Les animaux se sentent ainsi davantage en sécurité et peuvent plus facilement utiliser le passage inférieur.



*Figure 48 : principe d'écran d'occultation sur un ouvrage inférieur (Nowicki 2016)*

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.

#### 4.1.5 Aménagements en fonction de critères de continuité du substrat (olfactive et tractile)

##### 4.1.5.1 Favoriser la continuité olfactive

- *Faune concernée* : Mammifères.
- *Conséquence(s)* : Non utilisation du passage à faune par certaines espèces.
- *Aménagement(s) possible(s)* : (tous types de passages)
  - Placement de ressources alimentaires appétissantes pour attirer les espèces : par exemple, il est possible de mettre des végétaux locaux susceptibles d'attirer certaines espèces herbivores ou habitants dans les végétaux (invertébrés, rongeurs...).
  - Disposition de fèces d'une espèce donnée autour et à l'intérieur du passage à faune. Il suffit de prélever les fèces trouvées dans les environs et de les déposer de manière la plus naturelle possible au niveau du passage. Les fèces d'ongulés fonctionnent particulièrement bien puisque cette méthode a réussi à augmenter les traversées du passage de la Bête (Île-de-France) (Vignon, Walczak 1999).
  - Pour ce type de mesure il est particulièrement conseillé de s'entourer d'un écologue spécialisé dans ce domaine.



Figure 49 : Passage de la bête (Île-de-France) où des fèces de cerf ont été déposés afin de les attirer vers le passage (Vignon, Walczak 1999)

##### 4.1.5.2 Améliorer la continuité du substrat

- *Faune concernée* : potentiellement tous les taxons
- *Conséquence(s)* : Non utilisation du passage à faune par certaines espèces sensibles aux substrats artificiels
- *Aménagement(s) possible(s)* : (tous types de passages)
  - Assurer une continuité de substrat entre l'ouvrage de franchissement et le milieu alentour ;
  - Disposer sur l'ouvrage de franchissement des matériaux naturels tels que terre végétale, graviers, stabilisé...
  - Choisir un revêtement permettant de retenir au mieux l'humidité. Par exemple, éviter les éléments noirs qui pourraient chauffer au soleil.



- Création de banquettes de terre pour tous les passages : une banquette en terre ou enherbée peut permettre à la faune de traverser mais peut également conférer un sentiment de sécurité en créant un espace naturel. Ces banquettes d'au moins 30 cm pour avoir une efficacité doivent être les plus larges possibles selon la largeur disponible sur l'ouvrage. Une hauteur de substrat, de nature proche à celui environnant, d'au moins 10 cm est souhaitable pour permettre une végétalisation naturelle. Si l'épaisseur de terre peut être plus importante, il est même envisageable de planter des arbustes si cela est pertinent avec la végétation environnante. Si la largeur est d'au moins 1 mètre, il est même envisageable de placer quelques blocs ou tas de bois pour permettre aux animaux d'y trouver refuge et de créer des habitats naturels favorables à la petite faune.



Figure 50 : trottoir rehaussé de 50 cm de haut permettant d'apporter du substrat naturel et de favoriser une végétalisation naturelle. Source : Ecologistes de l'Euzière in (Nowicki 2016)

Lorsque il n'y a aucune place sur l'ouvrage pour créer de tels aménagements, il est possible de fixer une structure métallique contre le tablier de l'ouvrage de franchissement, à l'extérieur de celui-ci :



Figure 51 : structure métallique de marque animex fixée contre le tablier d'un ouvrage de franchissement d'une infrastructure. Ce type de structure a montré son efficacité pour le passage du muscardin et de l'écureuil roux (source Animex)

Au niveau des ouvrages hydrauliques, il est souhaitable que le fond de ceux-ci ne soit pas en béton mais en substrat naturel de type sable, graviers, voire des blocs de pierre. L'idéal est de concevoir cela dès la mise en œuvre des cas ouvrages hydrauliques mais il est encore possible, si le diamètre est suffisant pour intervenir, de placer ces matériaux dans des ouvrages existants. Des blocs de pierre peuvent être maçonnés et fixés à l'ouvrage.

La réflexion sera différente selon qu'il s'agit d'un rétablissement de cours d'eau, à écoulement pendant au moins une grande partie de l'année ou alors un ouvrage d'évacuation du ruissellement d'eau de pluie qui sera en eau de manière intermittente pendant les épisodes pluvieux.

S'il s'agit d'un cours d'eau, il est possible de placer des "barrettes" en béton de 10 cm pour créer des seuils permettant de retenir les sédiments (Durllet et al. 2009) (Figure 54). Des seuils métalliques pour buse béton peuvent aussi être utilisés (Figure 52). S'il ne s'agit pas d'un cours d'eau, il sera préférable de placer les seuils en quinconce de façon à ne pas créer d'obstacles pour des espèces d'amphibiens au stade juvénile par exemple (Figure 53).

Ces éléments évitent ainsi un "tout béton" et peuvent aussi constituer des zones de refuge lors de la traversée. Les dimensions des barrettes (hauteur, longueur) et leur disposition au sein du dalot doivent s'appuyer sur des simulations hydrauliques afin d'être parfaitement adaptée à l'ouvrage et aux enjeux hydrauliques. Des blocs de matériaux grossiers peuvent également être apportés afin de compléter l'aménagement.



Figure 52 Exemple de seuils métalliques pour buse béton (à gauche) et exemple de mise en œuvre dans une buse hydraulique (source (Durllet et al. 2009))

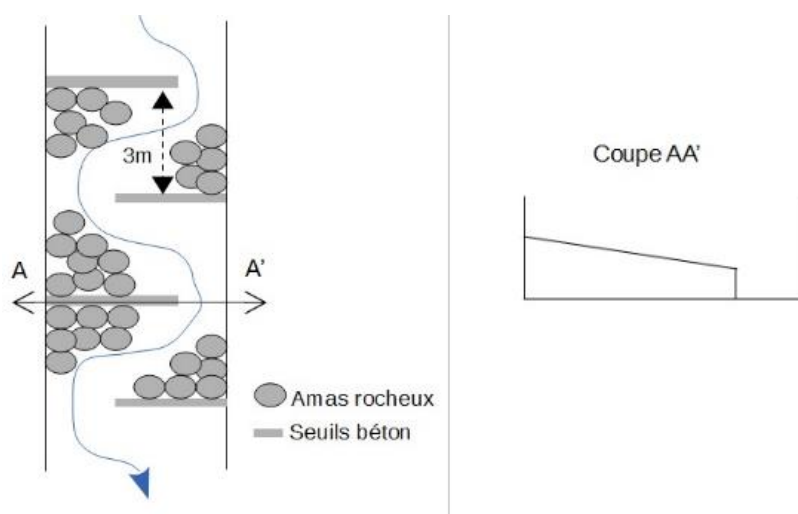


Figure 53 : Exemple d'aménagement de buse ou dalot de façon à retenir des sédiments tout en maintenant une continuité physique (source Cerema Nord-Picardie)





*Figure 54 : Exemple de mise en place de seuils béton de 10 cm de haut dans un dalot.  
Source (Durllet et al. 2009)*

Pour des informations complémentaires sur ce sujet, veuillez-vous reporter aux ressources documentaires utiles citées au paragraphe 4.1.1.1 ci-dessus.

#### 4.1.6 Critère combiné : risque de prédation, dérangement

##### 4.1.6.1 *Limiter la fréquentation humaine aux abords de l'ouvrage de franchissement*

- *Faune concernée* : Mammifères, amphibiens, reptiles.
- *Conséquence(s)* : Non utilisation de l'ouvrage de franchissement par de trop nombreux dérangements d'origine humaine
- *Aménagement(s) possible(s)* : (tous types de passages)
  - Dans la mesure du possible, placer des blocs de pierre à chaque entrée de l'ouvrage de franchissement pour éviter son utilisation par des véhicules à deux ou quatre roues. Les blocs devront être suffisamment gros pour ne pas pouvoir être déplacé « à la main » mais pas trop imposants pour ne pas entraver la visibilité de part et d'autre du passage. La faune terrestre doit également pouvoir passer de part et d'autre des blocs de pierre.
  - Favoriser un cheminement pédestre évitant l'ouvrage de franchissement le plus largement possible.

## 4.2 Restaurer la fonctionnalité écologique pour des espèces ou des groupes d'espèces cibles

Comme expliqué plus haut dans ce rapport, il est difficile de créer un passage à faune généraliste, remplissant les exigences de toutes les espèces. Néanmoins, en complément des mesures décrites précédemment, il est possible d'utiliser une autre méthode, dite « bottom-up », qui va chercher les informations à la base (ici, la faune) pour effectuer des changements sur le passage à faune. Elle est à mettre en œuvre dans le cas de la protection d'une espèce (ou un groupe d'espèces) en particulier. En effet, dans certaines zones à fort enjeu, il est parfois nécessaire de mettre en place des corridors écologiques afin de conserver une espèce particulière (par exemple le cerf en Nord-Pas-de-Calais). Il est donc important de prendre en compte pour chaque espèce ses habitudes, ses déplacements, son comportement, le milieu dans lequel elle évolue...

Il est également envisageable de vouloir restaurer le passage pour une espèce dite parapluie, c'est-à-dire l'espèce ayant le plus d'exigences, garantissant ainsi que si le passage est assuré pour elle, il le sera pour d'autres espèces moins exigeantes.

Cette méthode de restauration spécifique nécessite donc une connaissance préalable des espèces occupant les habitats dans un périmètre plus ou moins restreint. En effet, si les déplacements journaliers de certains micromammifères sont restreints à quelques mètres, ceux des grands mammifères peuvent dépasser une dizaine de kilomètres.

Nous présentons ici un exemple de quelques groupes d'espèces ou espèces en danger, « parapluie » ou bien encore emblématique des Hauts-de-France.

## 4.2.1 Les amphibiens : passages spécialisés (batrachoduc)

Les amphibiens ont des besoins spécifiques relatifs à leur morphologie et physiologie. Ce groupe comporte des espèces poïkilothermes, c'est-à-dire que leur température varie selon les lieux dans lesquels elles se trouvent. De ce fait, il est par exemple nécessaire qu'une certaine humidité, ainsi que des plans d'eau, soient présents dans leur habitat afin d'assurer leur cycle de reproduction. En revanche, malgré les idées reçues, les amphibiens n'utilisent pas de passage submergé pour traverser une infrastructure lors de leurs déplacements entre leurs aires d'hivernage et de reproduction.

### 4.2.1.1 Critère de localisation : Importance de l'habitat

La localisation de l'ouvrage de franchissement est un élément clé à prendre en compte puisqu'elle détermine quelles espèces vont l'utiliser. Il est important de prendre en compte l'impossibilité de restaurer une continuité écologique dans un habitat qui n'est pas propice au développement des amphibiens.

Étapes :

- (1) Rechercher les zones propices à la réalisation de toute ou d'une partie du cycle de vie des amphibiens (mares pour la reproduction, corridors pour migration...).
- (2) Évaluer la présence d'amphibiens.
- (3) Axer la restauration ou la construction de batrachoducs près des zones définies.

### 4.2.1.2 Critère structurel : Matériau de construction du passage et matériau du sol

Voir également ce paramètre dans les fiches adaptées à tout groupe (paragraphe 4.1.5.2)

Les amphibiens ont besoin de conserver leur peau humide et certains matériaux vont donc entraîner une répulsion ou un évitement.

Il faut donc adapter le choix des matériaux de construction :

- Choisir un matériau au sol permettant de conserver une certaine humidité durant la traversée (terre, herbe, sable...).
- Choisir un matériau de construction du passage adapté aux caractéristiques principales de l'amphibien. Par exemple, éviter les éléments en métal qui pourraient chauffer au soleil.
- Permettre un flux d'air continu afin de limiter la température au sein du passage (ex. : grille d'aération sur le plafond).



Figure 55 : Construction d'un batrachoduc à travers route aux États Unis  
Source : (Glista, DeVault, DeWoody 2009)

#### 4.2.1.3 Critère structurel : Pente du passage spécialisé

Il est souvent admis, à tort, que les amphibiens se déplacent dans l'eau : un passage submergé rebutera batraciens et reptiles.

- Adapter la structure en laissant la pluie humidifier le passage, mais en empêchant une stagnation de l'eau. La pente du passage doit permettre l'écoulement des eaux de pluie.

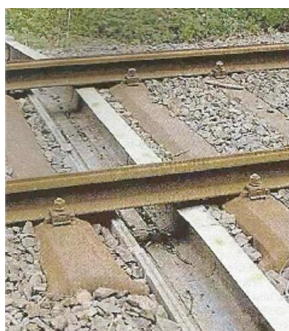
#### 4.2.1.4 Critère visuel : Éclairage naturel du passage

Les amphibiens ont plus tendance à traverser si le passage laisse passer une lumière naturelle.

- Créer des ouvertures sur le plafonnier du passage afin de laisser passer une lumière naturelle.



Figure 56 : Batrachoduc avec plafonnier ouvert, (Source : CC-BY-SA : Nabu Oberberg)



*Figure 57 : exemple d'aménagement pour permettre le passage des amphibiens sous une voie ferrée*



## 4.2.2 Les oiseaux

Le groupe des oiseaux comprenant, pour la plupart, des espèces volantes, il n'est pas évident de lier fragmentation et oiseaux. Pourtant, pouvant parcourir des dizaines à des centaines de kilomètres, les oiseaux vont forcément croiser des infrastructures de transports sur leur trajet et être confrontés à leur traversée. Malgré leur mode de déplacement, les oiseaux rencontrent une forte mortalité due aux collisions. Ainsi, il est nécessaire de mettre en place des structures adaptées pour ces espèces.

Se reporter à la section passage supérieur pour les informations relatives aux aménagements supplémentaires de passages à faune existants et pour les éléments concernant les critères sensoriels (bruit, luminosité, localisation...). Dans cette section ne sont disponibles que des exemples de cas spécifiques aux oiseaux ce qui inclut des aménagements sans ouvrage de franchissement existants.

### 4.2.2.1 Critère visuel : Utilisation de filtres dans un contexte urbain

- Mise en place de lumière verte ou bleue autant que possible : Ajout de filtres pour annuler ou diminuer la couleur rouge ou blanche des lampes, particulièrement nocive pour la migration des oiseaux (Poot et al. 2008). Cet aménagement diminue donc la distraction des oiseaux lors de leur migration. Partout où il y a des enjeux de sécurité, il n'est toutefois pas possible de choisir des lumières bleues uniquement car l'homme perçoit mal son environnement dans ce cas (Poot et al. 2008).



Figure 58 : lampe LED philips de couleur bleu-vert spécialement adapté pour ne pas perturber les déplacements des oiseaux à Ameland aux Pays-Bas (Source [www.ledinside.com](http://www.ledinside.com))

### 4.2.2.2 Critère structurel : Présence de végétation sur les bas-côtés et le terre-plein central des infrastructures de transport

- Végétation en bord d'infrastructure : Permettre aux oiseaux de traverser en atténuant le manque de sécurité procuré par la discontinuité écologique et en leur permettant de faire des pauses pour traverser au moment opportun. Ainsi, il est possible de placer des haies d'arbres en bord d'infrastructure et sur le terre-plein central des routes larges [Tremblay, 2009].



*Figure 59 : exemple de végétalisation des abords et du terre-plein central d'une autoroute allemande (Source © marlon\_75/flickr.com)*

#### **4.2.2.3 Critère structurel : Présence de végétation sur les passages supérieurs**

Ce critère a déjà été présenté au paragraphe 4.1.2.4 ci-dessus. Pour les oiseaux, l'importance d'une continuité arbustive doit être d'autant plus recherchée.

### 4.2.3 Les Chiroptères

Les chauves-souris regroupent des espèces particulièrement impactées par les collisions à la traversée des infrastructures de transport présentes sur leur axe de déplacement. Ainsi, à cause de la vitesse des véhicules et du faible poids des chauves-souris, des mortalités peuvent survenir même sans véritable collision, simplement avec l'aspiration. Les chauves-souris ont tendance à suivre les continuités écologiques (arbres, haies,...), ainsi, une coupure brutale créée dans ces continuités par la route peut entraîner une chute brutale de la hauteur de vol et favoriser les collisions.

Dans cette section, ne sont disponibles que des exemples de cas spécifiques au franchissement de routes sans passage par les chiroptères.

#### 4.2.3.1 Critère de localisation : Importance de l'habitat

Les chauves-souris ont des axes de déplacement routinier qu'il est difficile de dévier.

- Réaliser les aménagements dans une zone de déplacements déjà connue. Plusieurs études ont montré que des structures, pourtant spécialisées qui avaient été installées hors des zones de transit des chauves-souris, n'étaient pas utilisées par celles-ci (Claireau et al. 2018).

#### 4.2.3.2 Critère structurel : Présence de tremplin vert

- Mise en place de végétation haute et/ou de murs de part et d'autre de la route afin de permettre aux chauves-souris d'augmenter ou de maintenir leur hauteur de vol : cette méthode permet d'éviter les collisions dues à la perte d'altitude des chauves-souris quand elles traversent une route. Il est important de bien étudier la hauteur de végétation afin de ne pas guider les chauves-souris vers la route par erreur. Cette méthode appelée également « hop over » est toutefois controversée, car il a été démontré qu'elle était inefficace pour les espèces se déplaçant près du sol. L'intérêt de cette méthode est à évaluer en fonction des espèces présentes au droit de l'infrastructure. Pour ce type de structure il semble que le facteur déterminant de réussite soit avant tout sa localisation au sein de l'écopaysage.

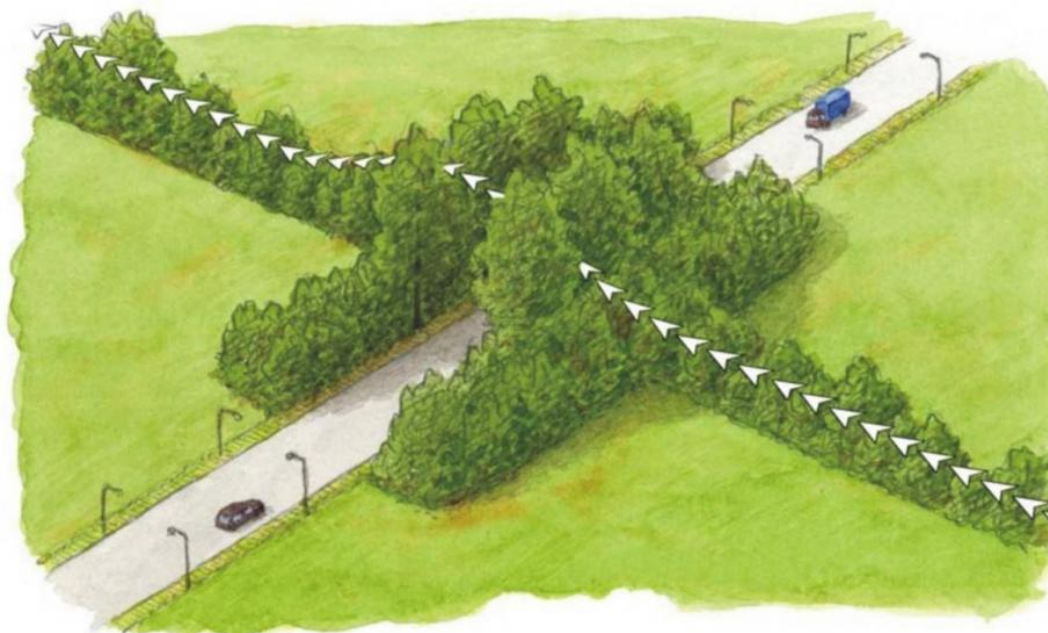


Figure 60 : Tremplin vert avec arbres hauts augmentant la hauteur de vol des chiroptères (Source : Eiffage)

#### 4.2.3.3 Critère structurel : Présence de passage supérieur (ou chiroptéroduc) ou de portique

• Mise en place de tunnels à chauves-souris (chiroptéroduc) : Permettre une traversée au-dessus de l'infrastructure en toute sécurité. Cela nécessite une construction spéciale et il faut apporter une attention particulière au diamètre du tunnel, un diamètre trop petit (<4 m) ne permettra qu'à certaines espèces de traverser (rhinolophes et quelques murins). L'efficacité de ces chiroptéroduc dépend essentiellement de leur localisation vis à vis des habitats favorables aux chauves-souris à proximité et de leurs habitudes de vol mais également de leur structure qui doit présenter des aspérités ou du relief pour permettre un meilleur rebond des cris des chauves-souris, leur permettant ainsi de se repérer plus facilement.

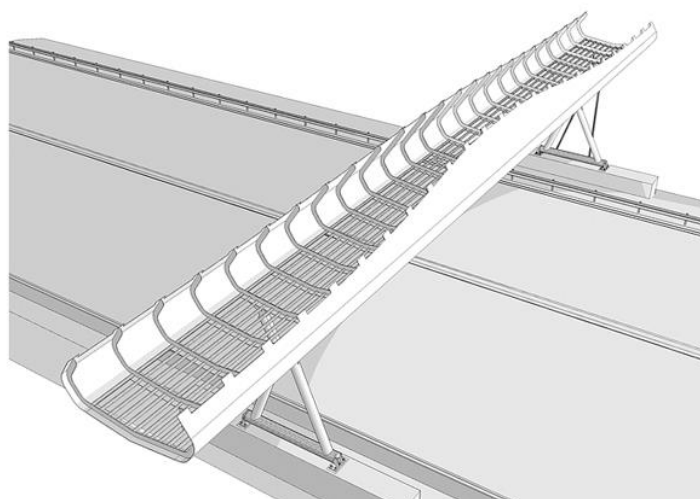


Figure 61 : Passerelle à chauves-souris de Balbigny (A89), ouverte sur le dessus et grillagée au-dessous (Source : Kevin Kristen)

- Portique : Création de structure au-dessus de la route afin de guider les chauves-souris à traverser à une hauteur convenable. Un équivalent existe avec des boules de polystyrène blanches disposées à un intervalle de 2 m sur un câble tendu (testé avec succès sur la déviation de Troissereux dans l'Oise). Il est très important de choisir une hauteur de structure adéquate. La présence d'éclairage artificiel peut perturber la faune avoisinante (oiseaux, invertébrés, amphibiens...).





Figure 62 : Portique pour chauves-souris (Source : CC-BY-SA, Jaqquery)

#### 4.2.3.4 Critère structurel : Présence de sites de refuge

- Ajout de sites artificiels pouvant servir à la nidification des chauves-souris dans les passages à faune. Cela apporte une action de compensation de la destruction et dégradation des habitats. Cependant, cela peut augmenter le risque de collision en incitant les chauves-souris à s'approcher des infrastructures de transport. Si les nichoirs temporaires sont en général peu efficaces pour contribuer à la préservation des chauves-souris, les aménagements durables conçus dès la conception des ouvrages s'avèrent davantage utilisés (Figure 63).

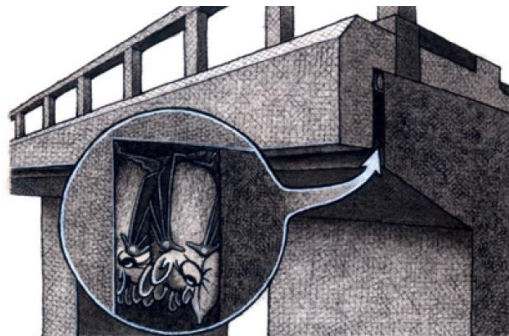


Figure 63 : exemple d'espace de la corniche d'un ouvrage d'art souvent colonisé par les chiroptères (source : Philippe Penicaud in (Nowicki 2016))

Toutefois, il est possible de rajouter des structures maçonnées à un ouvrage existant dès lors qu'il s'agit de solution pérennes et parfaitement solidaires à celui-ci.



Figure 64 : parpaing fixé solidaire d'un ouvrage existant et colonisé par des chauves-souris (Source : L. Malclair in (Nowicki 2016))

#### 4.2.3.5 Critère structurel : Présence de végétation à l'entrée du passage

- Passages supérieurs : Guider le vol des chauves-souris vers l'entrée du passage supérieur afin de les inciter à suivre la structure.
- Passages inférieurs : Afin de guider les chauves-souris à traverser via un passage à faune, la végétation peut être utilisée. Cette dernière, placée à quelques mètres du passage, s'éclaircit et devient moins haute jusqu'à l'entrée du passage afin d'inciter les chauves-souris à diminuer leur hauteur de vol et entrer dans le passage. Les passages inférieurs restent peu utilisés par les chauves-souris à part si le passage inférieur surplombe une source d'eau. A l'intérieur du passage, il est souhaitable de disposer des andains de bois en continuité avec la végétation pour faciliter le guidage des individus.
- Cet aménagement est délicat à mettre en place puisqu'il est nécessaire de contrôler la hauteur de la végétation pour ne pas inciter les chauves-souris à conserver une hauteur de vol trop importante et traverser au-dessus du passage, au ras de la route.

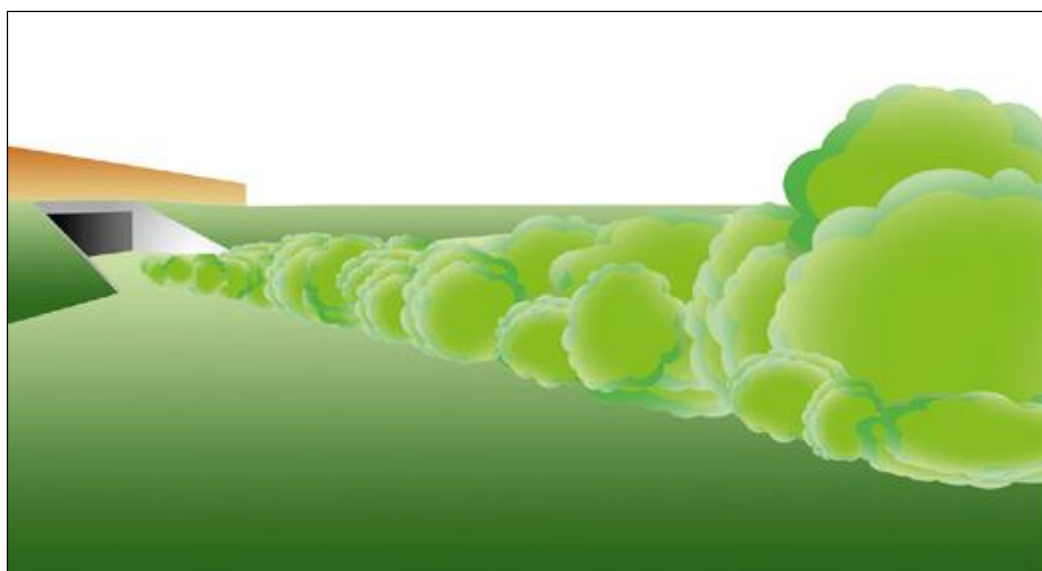


Figure 65 : Végétation descendante incitant les chauves-souris à utiliser le passage inférieur (Source : Cerema Est)



#### 4.2.3.6 Critère structurel : Présence de végétation sur le passage

- Passage supérieur : Afin de guider les chauves-souris pendant la traversée de la route, il est possible de rajouter une continuité végétale sur le passage supérieur.

Cela peut également servir à de nombreux taxons (oiseaux, mammifères, invertébrés...)

#### 4.2.3.7 Critère structurel : Présence d'une haie de guidage

Les haies, continuités végétales, sont particulièrement utilisées par les chauves-souris pour se diriger avec leur sonar. Ainsi, plusieurs méthodes découlent de ce comportement :

- Des haies peuvent être utilisées pour guider les chauves-souris vers un passage sécurisé. En effet, certaines haies vont servir de barrière végétale pour empêcher les chauves-souris de traverser et des haies discontinues vont être utilisées pour les guider vers le passage. Ainsi, lorsqu'il y a une coupure dans les haies, les chauves-souris seront incitées à traverser.
- Les haies déjà existantes, servant de guide aux chauves-souris, peuvent également être déplacées de quelques mètres (dizaine de mètres maximum) afin de rediriger les chauves-souris vers un passage sécurisé.

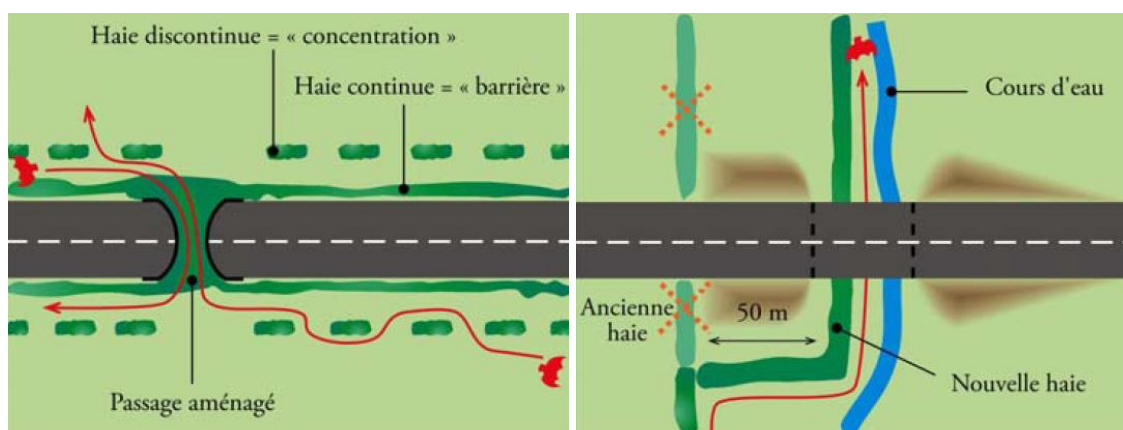


Figure 66 : Couplage de haies continues et discontinues (à gauche) et déplacement de haies existantes (à droite) pour guider les chauves-souris vers le passage . Source : (SETRA, CETE de l'Est, CETE Normandie-Centre 2009)

#### 4.2.4 Le cerf et le chevreuil

Le cerf est une espèce clé dans un écosystème. En effet, il peut parcourir des dizaines de kilomètres et peut se déplacer sur de longues distances lors de migrations saisonnières ou pour la reproduction. Ainsi, lui assurer un corridor écologique avec une bonne continuité peut être profitable à d'autres espèces. De plus, comme nous l'avons vu précédemment, le cerf est une espèce qui transporte une multitude de graines, favorisant les continuités écologiques végétales.

Ainsi, le cerf peut être considéré comme une espèce dite « parapluie » dans les écosystèmes du Nord de la France. Le chevreuil, quant à lui, est une espèce discrète et craintive, il peut être difficile de l'observer bien qu'il soit répandu dans toute l'Europe.

Le paragraphe suivant décrit, sous forme de questionnaire, les étapes à réaliser pour augmenter la fréquentation du cerf et/ou du chevreuil dans un passage à faune. En revanche, il est important de garder en mémoire que les mesures de restauration doivent être pensées de manière globale. Il est inutile de restaurer uniquement un passage à faune alors que les corridors écologiques, qui sont reliés, sont altérés ou si les réservoirs biologiques reliés sont dégradés. Ainsi, la conservation du cerf et du chevreuil passe par une coopération entre différents acteurs qui vont mettre en place simultanément plusieurs mesures de restauration.

##### 4.2.4.1 Le passage à faune est-il situé dans une zone « Cerf » et/ou à chevreuil ?

- Oui : Cela a été confirmé par un spécialiste, des associations naturalistes...
- Non : sauf si leur absence est avérée unanimement, il est alors important de faire appel à un écologue ou rechercher des indices de présence du cerf aux environs du passage à faune, ce peut être par le biais de pièges à traces, de pièges photographiques ou encore de relevés d'indices de présence (féces, écorçage, souilles dans la boue...). Ne pas oublier de prendre en compte que l'utilisation d'un passage change au cours des saisons et qu'il existe donc des variations importantes à prendre en compte lors de la surveillance.

##### 4.2.4.2 Le passage à faune est-il situé dans un corridor écologique intact ?

Il est important de connaître le contexte dans lequel le passage à faune est placé. En effet, si les alentours de ce dernier sont envahis par des aménagements de nature anthropique et prévoient des sites de construction, l'axe de déplacement du cerf est peut-être amené à être soit supprimé, soit modifié.

Ainsi, il est nécessaire de reporter le passage à faune sur une carte afin de voir ce qu'il relie. Pour cela, les cartes produites dans le cadre des SRCE peuvent être d'une grande utilité afin de comprendre l'enjeu écologique du site (voir le paragraphe 3.5.5 pour connaître la méthodologie d'identification des milieux naturels aux alentours).

##### 4.2.4.3 Le passage est-il adapté structurellement pour le cerf/chevreuil ?

Pour le cerf, il était recommandé en 2011 (Carsignol 2011), une largeur de 12 à 25 m minimum pour les passages supérieurs et pour les passages inférieurs, une hauteur minimale de 4 m, une longueur maximale de 40 m et une largeur minimale de 8 m.

Désormais, il est conseillé de concevoir les caractéristiques de l'ouvrage en prenant en compte le niveau d'enjeu local (taille de la population, corridor d'enjeu national, site Natura 2000, présence de zonage d'inventaire de sites patrimoniaux (ZNIEFF)). La largeur minimum en passage inférieur ou supérieur est désormais de 15 mètres mais la largeur recommandée peut atteindre 60 mètres pour des enjeux exceptionnels. De nouvelles recommandations sur la conception des ouvrages adaptés aux cerfs seront prochainement disponibles dans le guide "Préservation et restauration des continuités écologiques impactées par les infrastructures de transport" (Cerema Est à paraître).

En raison de son mode de déplacement pendant la fuite (sprint et bond), le chevreuil ne fréquente pas les passages étroits, il est donc préférable d'opter pour un passage supérieur ou inférieur large.

#### **4.2.4.4 Des mesures concernant les critères sensoriels ont-elles été mises en place ?**

Le cerf et le chevreuil sont des animaux sensibles à toutes sortes de perturbations d'origine anthropique. Le chevreuil étant particulièrement craintif, il est important de prendre en compte les critères sensoriels mentionnés précédemment.

Par exemple, l'utilisation des ouvrages de franchissement d'infrastructures va diminuer avec le trafic, suggérant une forte perturbation due à la présence de voitures, de bruit et de lumière. Ainsi, les murs anti-bruit et les écrans visuels sont vivement souhaitable au droit des ouvrages de franchissement que ce soit sur les passages inférieurs ou supérieurs, pour diminuer la peur des animaux.

Au niveau de la végétation, les chevreuils ont l'habitude d'évoluer dans des espaces ouverts leur permettant de se déplacer rapidement. Ainsi, une structure étroite avec une vue peu dégagée sur la sortie aura tendance à diminuer les traversées. La végétation est indispensable pour la traversée des espèces, mais il est quand même important de garder une zone ouverte aux entrées/sorties du passage. Le cerf, quant à lui, a besoin d'espace vaste avec une continuité végétale. Le cerf empruntera rarement un passage de moins de 15 mètres pour traverser un ouvrage en passage inférieur ou supérieur étroit. Toutefois, lorsqu'un enjeu vital est présent (période de rut, de famine etc.), le cerf a déjà été observé en train d'emprunter des passages très étroits même en dehors de son milieu naturel habituel (Vignon, comm. pers.).

Cependant, il est important de prendre en compte la localisation du passage. En effet, la restauration d'un ouvrage de franchissement d'infrastructure pour faciliter la connexion des populations de cerf aura davantage de chance d'être pleinement efficace s'il se trouve dans un axe de déplacement historique ou actuel de cerfs (Vignon 1999).

#### 4.2.5 le Renard, un modèle d'adaptation

Le renard est une espèce commune en France métropolitaine. Cet animal est un maître de l'adaptation puisqu'on peut le retrouver dans une multitude d'habitats : de la forêt à la campagne aux zones fortement urbanisées. Malgré une espèce parfois classée comme « nuisible », le renard est un véritable régulateur de rongeurs au sein d'un écosystème.

La population de renards en France métropolitaine est globalement stable voire légèrement en hausse depuis une dizaine d'années [ONCFS, 2015]. Ainsi, favoriser la transparence écologique pour cette espèce permet de contribuer à la prise en compte de la biodiversité "ordinaire".

##### 4.2.5.1 Critère structurel : Type de passage

Le renard étant une espèce peu exigeante et très opportuniste, il ne nécessite pas de structure particulière. Il peut même emprunter des banquettes aménagées dans des dalots. Cependant, le passage qui lui correspondrait le plus est un passage inférieur large de type III, IV, V et VII. Ainsi, la mise en place d'aménagements pour des espèces plus sensibles comme le cerf ou le chevreuil assure également la conservation du renard en France.



Figure 67 : Renard photographié en sortie d'un passage de type dalot (Nord-pas-de-Calais) (Source : Cerema Nord-Picardie)

##### 4.2.5.2 Critère éco-éthologique

Le renard étant peu exigeant hormis les critères de continuité physique et de dérangement, il est opportun de rechercher les autres espèces pouvant utiliser l'ouvrage de franchissement afin de retenir les critères les plus discriminants pour adapter le passage à faune.

## 4.2.6 Le blaireau européen

Le blaireau est une espèce nocturne omnivore, malgré sa classification dans la famille des carnivores. Cette espèce, vivant en famille dans des terriers, évolue dans des habitats divers allant de la forêt aux bocages. Le blaireau est une espèce relativement commune, s'accoutumant facilement aux passages à faune.

### 4.2.6.1 Critère structurel : Type de passage et aménagements

Les buses larges (>1m de diamètre) sont à privilégier puisque c'est le type de passage fréquemment utilisé par l'espèce. Cependant, l'espèce peut emprunter une multitude de passages inférieurs si des adaptations ont été réalisées. Les passages supérieurs ne sont pas privilégiés.

L'aménagement des passages avec des banquettes solides peut aider le blaireau à circuler à travers les buses, dalots et passages hydrauliques. La banquette en terre et l'utilisation d'andains<sup>4</sup> dans des passages inférieurs et supérieurs peut aussi augmenter la fréquentation de ces passages par les blaireaux. Toutefois, il est possible que même sans ces aménagements certains individus utilisent tout de même les passages.

### 4.2.6.2 Critère éco-éthologique

Le blaireau est une espèce peu exigeante en ce qui concerne les critères sensoriels. Cependant, afin d'optimiser sa traversée, il peut être intéressant de réduire la pollution lumineuse et sonore et d'assurer une continuité végétale.

---

<sup>4</sup> dépôt en bande continu de bois mort et/ou de blocs de pierre pour créer des habitats favorables et des zones de refuge pour les micromammifères

## 4.2.7 Favoriser les continuités écologiques pour la fouine



Figure 68 : Fouine photographiée dans un passage à faune de type dalot équipé d'une banquette en bois (Nord-Pas-de-Calais) (Source : Cerema Nord-Picardie)

La fouine est un petit mustélide alternant entre un régime alimentaire carné et frugivore. Cette espèce est donc une régulatrice de rongeurs (souris, rats et même lapins). Les fouines vivent dans des endroits variés et peuvent même vivre près de l'homme, dans des granges ou des gîtes.

### 4.2.7.1 Critère de localisation : Prise en compte des déplacements journaliers

Les déplacements journaliers de la fouine étant limités par la taille de l'animal, il est important de mettre un passage à faune dans un habitat favorable à la fouine. Cependant, cela sera relativement facile puisque l'habitat de la fouine est varié.

### 4.2.7.2 Critère structurel : Type de passage et aménagements

Les buses sont les passages privilégiés par l'espèce. Elles y trouvent leurs proies et évitent la présence d'autres prédateurs plus grands.

Il est souhaitable d'aménager des buses avec des banquettes hors d'eau (voir paragraphe 4.1.2.2 ci-dessus) pour faciliter le passage des fouines mais aussi d'autres petits mammifères.

### 4.2.7.3 Critère structurel : Présence de végétation et d'andains

Afin de pouvoir se dissimuler, avant, pendant et après le passage, l'ajout de végétation et d'andains peut être un atout pour favoriser sa traversée par la fouine.

### 4.2.7.4 Critère éco-éthologique

La fouine pouvant vivre dans des habitats anthropisés, elle n'est pas aussi sensible à la présence humaine que les autres carnivores. Cependant, la présence d'un trafic routier intense peut affecter la fréquentation des passages par la fouine.



## 5 Phase 3 : Test du guide méthodologique sur 4 ouvrages

Tel que prévu lors de la réponse à l'appel d'offre le guide méthodologique sera testé sur 4 ouvrages de franchissement d'infrastructure existants afin d'identifier les solutions envisageables pour restaurer la continuité écologique. Les ouvrages choisis sont issus des échanges que nous avons pu avoir avec la direction interdépartementale des routes (DIR), les conseils départementaux, Voies navigables de France ou SNCF Réseaux. Plutôt que de choisir différents cas de figure sur les types d'infrastructures à franchir, nous avons privilégié différents types d'ouvrage de franchissement qui peuvent se trouver en franchissement de tout type d'infrastructure de transport. Ces ouvrages de franchissement sont les suivants :

passage inférieur de rétablissement hydraulique de fossé d'évacuation d'eaux pluviales : l'exemple de l' OA 1713 à Nielles-lès-Ardres (62) ;

passage supérieur routier : l'exemple du croisement entre la RD621 et la voie d'Esquerchin à Esquerchin (59) ;

passage inférieur pour animaux domestiques : l'exemple du passage inférieur sur la RN42 à Pernes-lès-Boulogne (62);

passage inférieur hydraulique de rétablissement de cours d'eau à Setques (62) sous la RN42.

Pour chacun de ces ouvrages, nous appliquerons la clé d'identification des enjeux et solutions disponible au paragraphe 3.6 ci-dessus.

## 5.1 Exemple de l'ouvrage de rétablissement hydraulique à Nielles-lès-Ardres (62)

### 5.1.1 Description du site

Cet ouvrage nous a été communiqué par le Conseil Départemental du Pas-de-Calais. Il se situe sur la commune de Nielles-lès-Ardres (Figure 69 ci-dessous).



Figure 69 : carte de localisation de l'ouvrage d'assainissement numéro 1713 à Nielles-lès-Ardres (62)

### 5.1.2 Pré-analyse au bureau

#### 5.1.2.1 Utilité de la clé d'identification des enjeux et solutions

Le nombre de véhicules/jours sur la D943 est de 6629 dont 449 poids-lourds. Tel que nous l'avons vu, ce trafic est dans la fourchette du maximum de mortalité pour la faune terrestre.

#### 5.1.2.2 Fonction de l'ouvrage de franchissement

La carte géoportail avec le fond IGN montre un trait bleu discontinu de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement de la RD943. Il s'agit donc d'un "cours d'eau temporaire" au sens de la légende IGN (Figure 70).

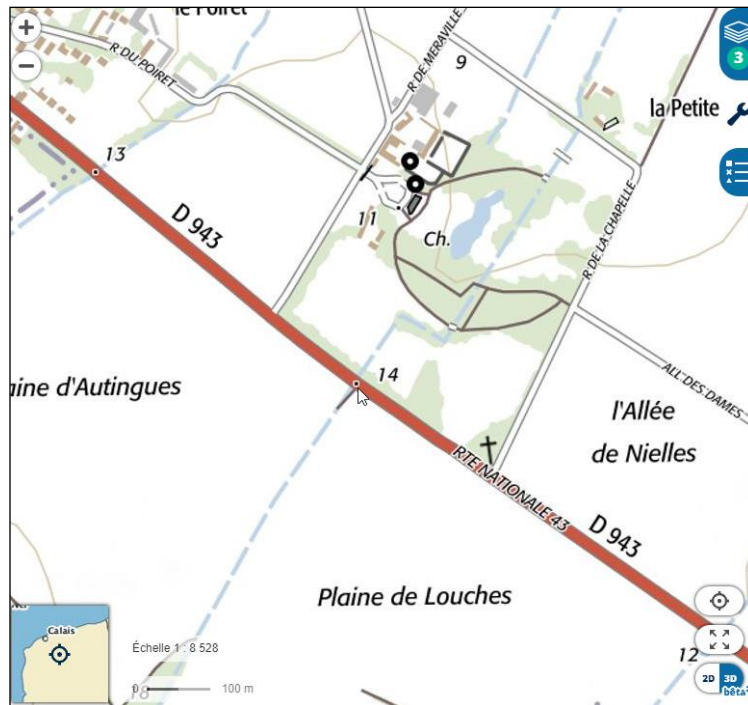


Figure 70 : un tireté bleu de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement (au centre au niveau de la flèche blanche) montre qu'il s'agit d'un ouvrage hydraulique d'un écoulement d'eau temporaire.  
Données cartographiques : © IGN 2018 [www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales](http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales).

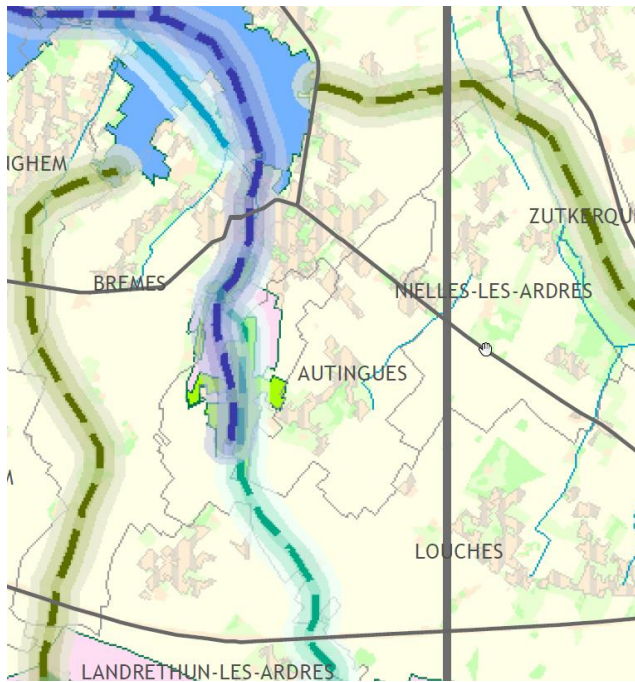
### 5.1.2.3 Vérification de la présence d'espèces à enjeux de continuité écologique dans les bases de données

Sachant qu'il est nécessaire de consulter la base de données pour les communes situées au minimum à 1 km du site d'étude, nous consulterons le SIRF ([sirf.eu](http://sirf.eu)) pour les communes de Nielles-les-Ardres, Louches et Autingues. Pour la commune de Nielles-les-Ardres, le SIRF mentionne 116 espèces tous groupes confondus sur la période 2002-2018 mais aucune des espèces, devant faire l'objet d'une attention particulière, listée au paragraphe 3.5.4.1 ci-dessus n'est mentionnée. Idem pour Autingue avec seulement 98 données. Cela n'est pas une preuve qu'il n'y a pas d'enjeux mais simplement qu'il n'y a pas d'espèce à enjeux qui a été recensée à ce jour. Par ailleurs, 116 et 98 données uniquement sur une période de 15 ans est la preuve que ces communes n'ont pas fait l'objet d'inventaires importants car ces chiffres sont faibles. En revanche pour la commune de Louches, située à seulement 650 mètres de l'ouvrage de franchissement, il apparaît que la vipère péliade a été observée en 2013, 2015 et 2018.

### 5.1.2.4 Des enjeux de continuité écologique sont-ils déjà identifiés

La consultation de l'atlas cartographique du SRCE-TVB de l'ex région Nord-Pas-de-Calais permet de voir que des continuités écologiques "potentiels à remettre en état" de type zones humides et de prairies-bocages sont à proximité de l'ouvrage de franchissement (Figure 71 ci-dessous). Par ailleurs, à 2 km à l'ouest de l'ouvrage de franchissement, la carte des "continuités écologiques et espaces à renaturer, sous-trame prairies-bocage" montre la présence d'un réservoir de biodiversité de type "prairies et/ou bocage" et "autres milieux" (Figure 72 ci-dessous). Enfin, la carte des ruptures de continuité écologique confirme que la RD943 est bien un obstacle important à la continuité écologique (Figure 73 ci-dessous).





### Corridors Ecologiques

*corridors avérés  
à remettre en bon état*

fluviaux

*corridors potentiels  
à remettre en bon état*

de zones humides

forestiers

de landes et pelouses  
acidiphiles

de côteaux calcaires

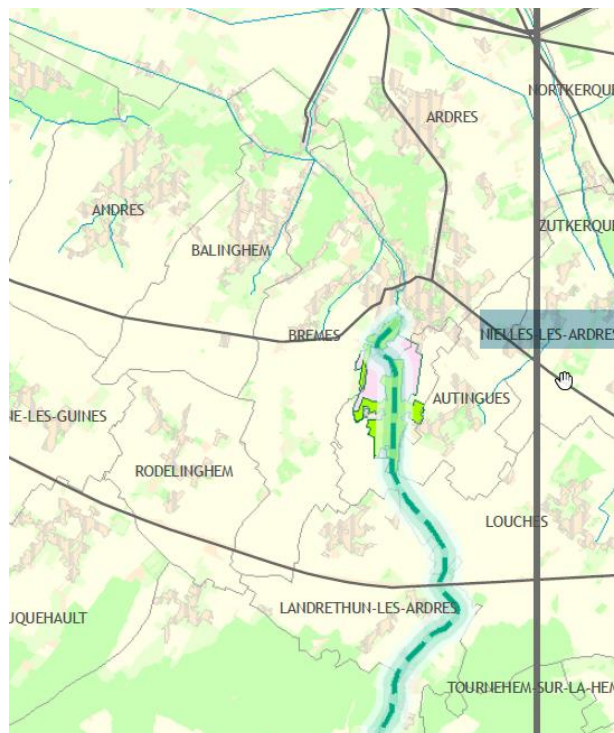
de prairies et/ou bocage

de falaises

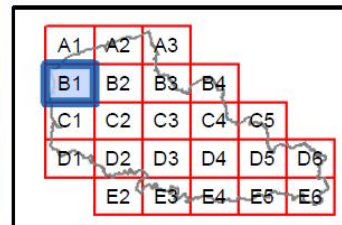
de dunes

miniers

Figure 71 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVb du Nord-Pas-de-Calais, 2014



### Sous-trame Prairies - Bocage



### CONTINUITES ECOLOGIQUES

#### Réservoirs de Biodiversité

Réservoirs de Biodiversité

#### Sous-trames des Réservoirs de Biodiversité

prairies et/ou bocage

autres milieux

#### Corridors Ecologiques

*corridors potentiels  
à remettre en bon état*

de prairies et/ou bocage

Figure 72 : extrait de la carte des continuités écologiques et espaces à renaturer, sous-trame prairies-bocage au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVb du Nord-Pas-de-Calais, 2014

## Rupture des continuités écologiques

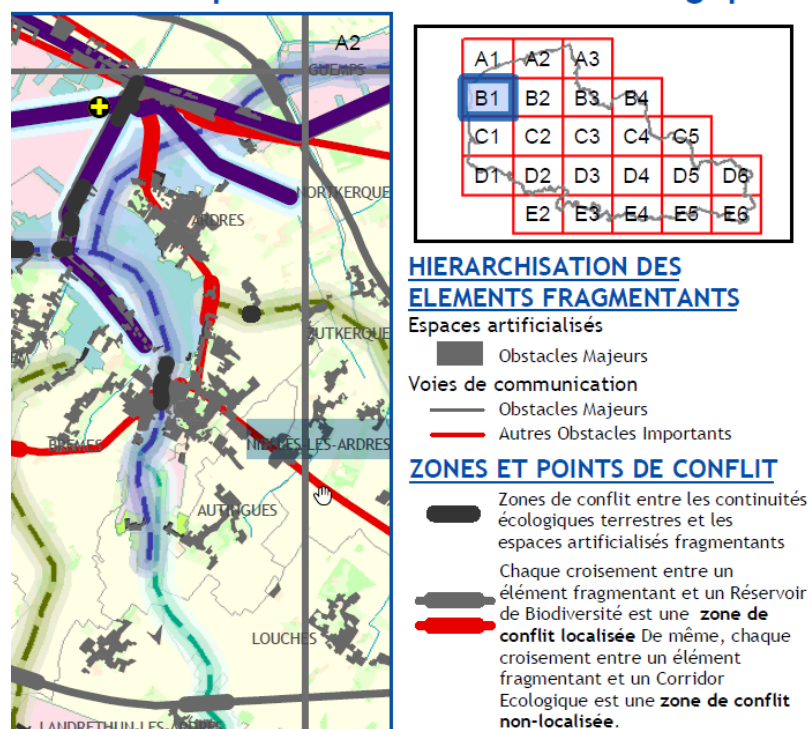


Figure 73 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014

### 5.1.3 Identification des enjeux sur le terrain

Il s'agit donc d'un ouvrage hydraulique permettant de restaurer l'écoulement des eaux de pluie recueillies dans le réseau d'assainissement de la route départementale (Figure 74 ci-dessous). Renseignement pris auprès du Conseil Départemental du Pas-de-Calais, il ne semble pas s'agir d'un cours d'eau au sens de la circulaire du 3 juin 2015 :

[http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2015/06/cir\\_39701.pdf](http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2015/06/cir_39701.pdf)

Mais une étude approfondie serait nécessaire pour le certifier.



Figure 74 : vue sur l'ouvrage de franchissement en passage inférieur. photo : J. Bacquaert, CD62

#### 5.1.3.1 Critère visuel : la covisibilité-

Il y a bien une covisibilité de part et d'autre (Figure 75 ci-dessous) mais le recul de 5 mètres n'est possible qu'au sud de l'ouvrage, sa partie nord débouche dans un fossé. Toutefois, il n'y a pas de tel recul sur la partie nord car il y a présence d'herbes hautes (Figure 76 ci-dessous). Sur ce point, une coupe des herbes hautes uniquement dans le prolongement de l'ouvrage de franchissement, serait souhaitable deux fois par an (mai-juin et septembre).



Figure 75 : vue de l'intérieur de l'ouvrage de franchissement en passage inférieur. photo : J. Bacquaert, CD62





Figure 76 : extrait de carte Google Street View montrant une végétation haute à la sortie nord de l'ouvrage  
(Source : Street View – Date de l'image : août 2015 ©2018 Google)

### 5.1.3.2 Critère visuel : la lumière

Il n'y a pas d'éclairage public aux alentours de l'ouvrage de franchissement en revanche la présence de 6000 véhicules/jours occasionne un éclairage important par les phares des véhicules. De plus, les phares de voitures sont visibles depuis les entrées / sorties de l'ouvrage de franchissement. Dans la mesure du possible, un écran visuel (végétation ou panneaux) est souhaitable.

### 5.1.3.3 Critère auditif : le bruit

Le seuil de 6000 véhicules/jours correspond au seuil au-delà duquel la route peut constituer une barrière sonore pour plusieurs espèces. Un aménagement permettant de réduire le bruit au niveau de l'ouvrage de franchissement est souhaitable également.

### 5.1.3.4 Critère de continuité du substrat (olfactive et tactile)

Le sol de l'ouvrage de franchissement est en terrain naturel (Figure 75 ci-dessus) ce qui est un élément favorable à la continuité écologique même si des améliorations sont toujours possibles.

### 5.1.3.5 Critère de continuité physique au niveau de l'ouvrage de franchissement

L'ouvrage de franchissement ne présente pas de seuil à franchir mais par rapport à la photo de la Figure 74 ci-dessus, les entrées / sorties ont été curées d'où un risque de stagnation d'eau dans la dépression créée. Une amélioration est souhaitable pour permettre à la petite faune de traverser à "pied sec". Il y a bien une clôture barbelée "3 fils" au nord de l'ouvrage (Figure 77 ci-dessous) mais qui ne constitue pas un obstacle au franchissement de la faune sauvage susceptible d'emprunter cet ouvrage inférieur.



Figure 77 : vue de la sortie de l'ouvrage au nord débouchant sur une clôture barbelée 3 fils. Photo : J. Bacquaert, CD62

### 5.1.3.6 Critère de continuité végétale ou structurelle au niveau de l'ouvrage de franchissement

S'agissant d'un passage inférieur de faible ouverture et de grande longueur, l'installation de végétation à l'intérieur est impossible. Néanmoins, il est possible d'ajouter quelques structures telles que des blocs de pierre sur un seul côté pour ne pas empêcher la libre circulation des eaux.

### 5.1.3.7 Critère de continuité physique : présence de clôture ou de murets sur l'infrastructure à franchir

L'observation de terrain montre qu'il y a une haie arbustive au nord de la RD943 et une bande herbacée fauchée régulièrement au sud. Il n'y a pas de structure de guidage tel que grillage ou muret mais la haie et la bande herbacée constituent dans une certaine mesure des structures linéaires permettant de conduire les animaux qui les suivent vers l'ouvrage inférieur.



Figure 78 : vue Google Street View montrant une haie arbustive au nord de l'infrastructure et une bande herbacée au sud. (Source : Street View – Date de l'image : août 2015 ©2018 Google)

### **5.1.3.8 Critère combiné : risque de prédation, dérangement**

L'ouvrage de franchissement n'est pas fréquenté par l'homme mais ne dispose d'aucune structure permettant aux animaux de trouver refuge ou micro-habitat. Cela peut donc être amélioré.

### **5.1.3.9 Recommandations par groupe d'espèce ou espèce cible**

Comme vu avant, il n'a pas été identifié de groupe ou d'espèces cibles. Néanmoins, les mesures à prendre à l'issu du diagnostic ci-dessus seront favorables à plusieurs espèces.

### **5.1.3.10 Conclusions générales sur l'analyse des enjeux et des solutions**

Au vu de différentes rubriques et critères éco-éthologiques analysés ci-dessous, nous pouvons retenir les points suivants :

- une route à fort trafic pouvant occasionner une importante mortalité de la faune sauvage ;
- la présence de vipère péliade, espèce en danger d'extinction sur la commune de Louches située à 650 mètres de l'ouvrage, espèce qui vit notamment dans les prairies humides ;
- la présence à proximité de l'ouvrage d'un réservoir de biodiversité "prairies et/ou bocage" et de corridors écologiques "potentiels à remettre en état" de type zones humides et de prairies-bocages ;
- une relative bonne covisibilité de part et d'autre de l'ouvrage inférieur ;
- la présence d'éclairage par les phares de voiture à l'entrée de l'ouvrage ;
- un niveau sonore relativement élevé dû au trafic important ;
- la présence d'un sol naturel mais très uniforme ;
- l'absence d'obstacle physique au niveau de l'ouvrage de franchissement ;
- une structure de guidage partielle de la faune (végétation) ;

**Dans la mesure du possible, les mesures à prendre pour cet ouvrage seraient les suivantes :**

- la coupe de la végétation herbacée (à l'occasion des fauches de bords de route) à la sortie de l'ouvrage inférieur au nord de celui-ci en mai-juin et septembre ;

- la mise en place d'un écran d'occultation sur environ 8 mètres de large au droit de chaque entrée/sortie de l'ouvrage, cela permet à la fois de réduire la lumière à proximité des ouvertures mais également de diminuer le bruit. Pour éviter les dégradations de l'écran bois par les courants d'air provoqués par le passage des camions, ils seront suffisamment épais, limités à une hauteur de 2 mètres et placés le plus près possible de l'ouverture du passage inférieur. Ils seront fixés solidement au sol ; si cette mesure est jugée trop coûteuse ou techniquement contraignante, une haie arbustive dense permettrait au moins de limiter l'impact de la lumière.

- la mise en place de haies au sud de la RD 943 dans la continuité de l'écran bois et revenant vers le fossé pour limiter la lumière incidente des phares de voiture à l'approche ;

- création d'une bande de terre ou de graviers depuis la sortie de l'ouvrage vers le talus pour permettre un franchissement "à pied sec" ;



- considérant la proximité d'enjeux « prairies » et la présence de vipères péliades sur la commune de Louches, les habitats prairiaux aux abords de l'ouvrage, notamment les bords de route et chemins fauchés régulièrement seront favorisés.

- afin de favoriser une diversité structurale et des zones de refuge, il est souhaitable de mettre en place des blocs rocheux à l'intérieur de l'ouvrage, soit d'un seul côté soit en quinconce pour permettre la libre circulation des eaux, espacés longitudinalement d'environ 50 cm.

L'essentiel de ces mesures est illustré sur la Figure 79 ci-dessous:

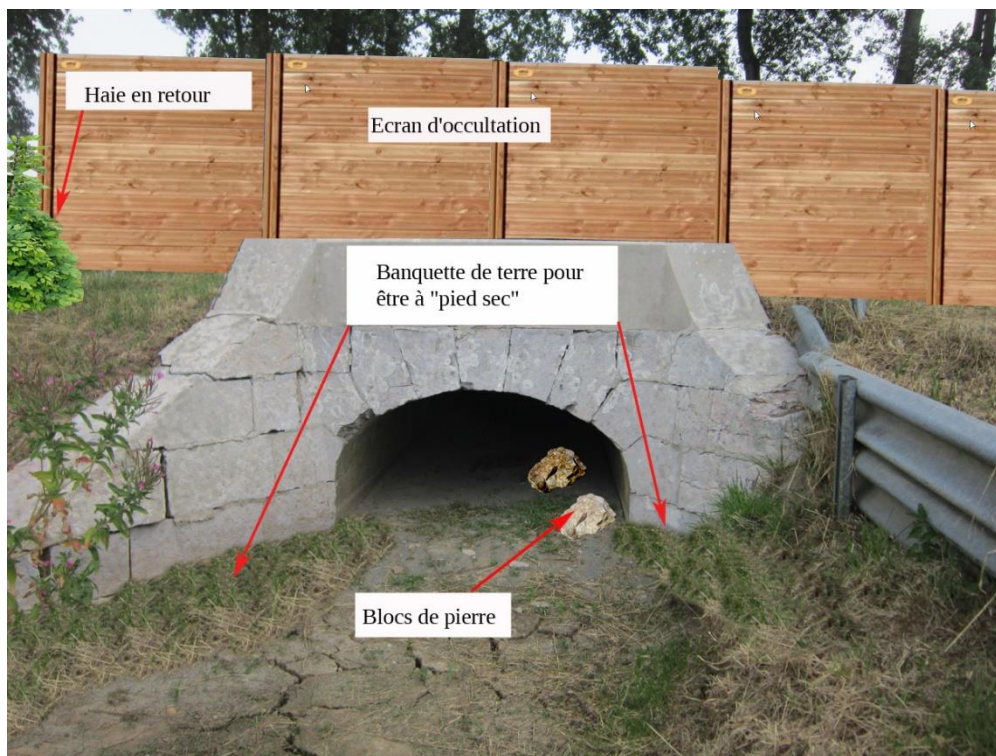


Figure 79 : Photomontage illustrant quelques mesures envisageables pour améliorer la fonctionnalité écologique de l'ouvrage de franchissement. Source Cerema Nord-Picardie d'après photo : J. Bacquaert, CD62

Naturellement, un travail en concertation avec le gestionnaire de la voirie départementale est indispensable pour parvenir à la solution technique respectant les contraintes techniques, réglementaires et financières des uns et des autres.

Il est également important d'associer à ces mesures un suivi de de leur efficacité, notamment en réalisant des inventaires par piégeage photographiques et apporter les mesures correctrices en tant que de besoin.

## 5.2 Exemple du croisement entre la voie d'Esquerchin et la RD621

### 5.2.1 Description du site

Le Conseil départemental du Nord nous avait initialement suggéré un ouvrage supérieur, la RD 65 franchissant la RD621 (Figure 80 ci-dessous). L'ouvrage de franchissement de la RD621 se situe entre deux linéaires boisés et est totalement revêtue d'un enrobé (Figure 81 ci-dessous). Une solution de rétablissement de continuité écologique est de créer un trottoir surélevé au moins d'un côté avec des matériaux naturels et de fixer un écran visuel le long du parapet pour guider les animaux de part et d'autre. Cependant nous avons trouvé un passage à la problématique similaire mais davantage exemplaire en terme de continuité écologique, et ce à quelques kilomètres un peu plus au nord-ouest (Figure 82 ci-dessous).

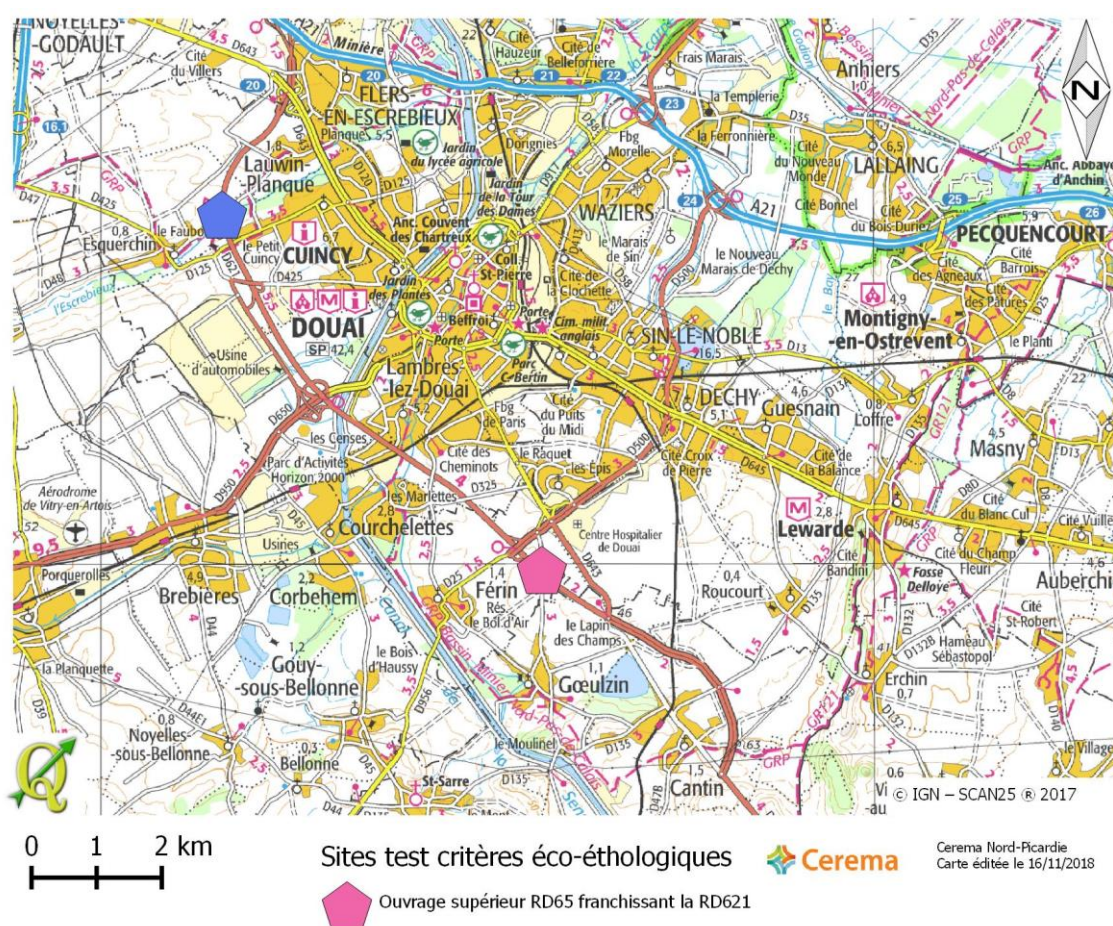


Figure 80 : carte de localisation de l'ouvrage de franchissement de la RD 621 (RD 65)





Figure 81 : extrait de carte Google Street View montrant l'ouvrage de franchissement D65 passant au-dessus de la RD 621. (Source : Street View – Date de l'image : avril 2011 ©2018 Google)

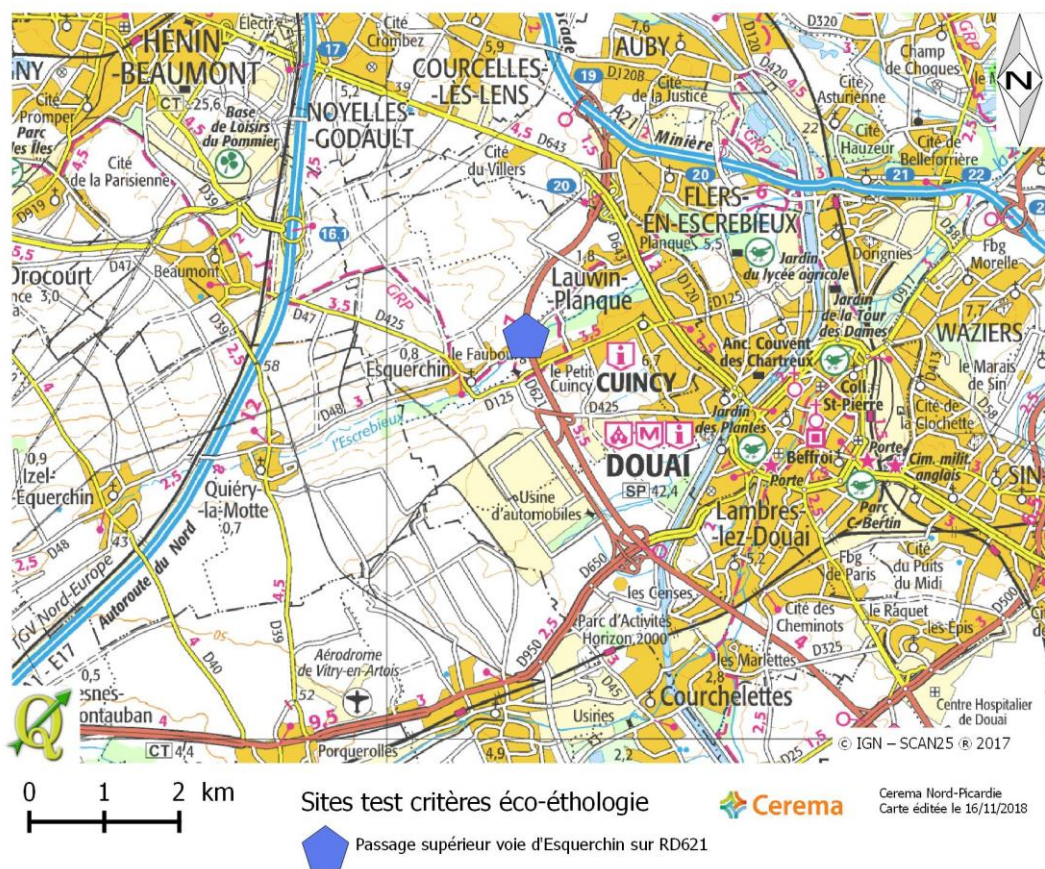


Figure 82 : carte de localisation de l'ouvrage de franchissement de la RD 621 (voie d'Esquerchin)



## 5.2.2 Pré-analyse au bureau

### 5.2.2.1 *Utilité de la clé d'identification des enjeux et solutions*

La RD 621 connaît un trafic entre 25 000 et 38 000 véhicules/jours. Il s'agit d'un trafic très important qui rend la traversée de cette voie départementale infranchissable par la faune. Les ouvrages de franchissement sont donc de fortes opportunités pour permettre à la faune de franchir la RD 621.

### 5.2.2.2 *Fonction de l'ouvrage de franchissement*

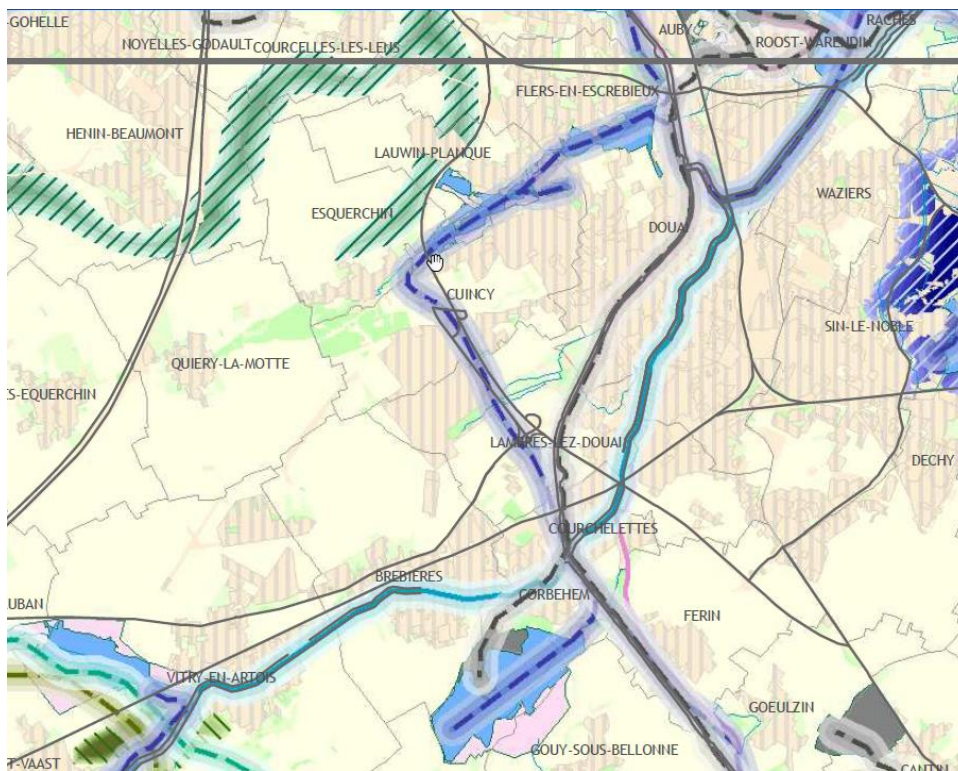
Dans Google Maps, l'ouvrage de franchissement apparaît être une voie ouverte à la circulation publique. Il est indiqué « voie d'Esquerchin ».

### 5.2.2.3 *Vérification de la présence d'espèces à enjeux de continuité écologique dans les bases de données*

Les communes se situant dans un périmètre d'un km autour de l'ouvrage sont Esquerchin, Cuincy et Lauwin Planque. L'interrogation de la base de données SIRD mentionne 24 résultats sur la période 2002-2018 toutes communes confondues pour les groupes des mammifères, amphibiens et reptiles. Aucune des espèces inventoriées ne fait partie de la liste des espèces listées au paragraphe 3.5.4.1 ci-dessus, devant faire l'objet d'une attention particulière.

### 5.2.2.4 *Des enjeux de continuité écologique sont-ils déjà identifiés*

La consultation de l'atlas cartographique du SRCE-TVH de l'ex région Nord-Pas-de-Calais permet de voir que des continuités écologiques "potentiels à remettre en état" de type zones humides sont exactement au niveau et dans le sens de l'ouvrage de franchissement (Figure 83 ci-dessous). Par ailleurs, à quelques centaines de mètres au nord-nord-ouest de l'ouvrage de franchissement, cette même carte montre la présence d'un réservoir de biodiversité de type "forestier à renaturer" et un réservoir de biodiversité « zones humides ». Sur l'extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques, la RD621 apparaît comme un obstacle important à la continuité écologique et l'ouvrage de franchissement comme une zone de conflit non localisée avec le corridor de type « zones humides ».



- Sous-trames des Réservoirs de Biodiversité**
- zones humides
  - forêts
  - prairies et/ou bocage
  - côteaux calcaires
  - landes et pelouses acidiphiles
  - falaises et estrans rocheux
  - dunes et estrans sableux
  - terrils et autres milieux anthropiques
  - estuaires
  - autres milieux
- Corridors Ecologiques**
- corridors avérés à remettre en bon état**
- fluviaux
- corridors potentiels à remettre en bon état**
- de zones humides
  - forestiers
  - de landes et pelouses acidiphiles
  - de côteaux calcaires
  - de prairies et/ou bocage
  - de falaises
  - de dunes
  - miniers

Figure 83 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Cuincy-Esquerchin. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Le hachuré vert sur la commune d'Esquerchin indique un espace forestier à renaturer. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014



- HIERARCHISATION DES ELEMENTS FRAGMENTANTS**
- Espaces artificialisés**
- Obstacles Majeurs
- Voies de communication**
- Obstacles Majeurs
  - Autres Obstacles Importants
- ZONES ET POINTS DE CONFLIT**
- Zones de conflit entre les continuités écologiques terrestres et les espaces artificialisés fragmentants
  - Chaque croisement entre un élément fragmentant et un Réservoir de Biodiversité est une **zone de conflit localisée**. De même, chaque croisement entre un élément fragmentant et un Corridor Ecologique est une **zone de conflit non-localisée**.
  - Zone de conflit aquatique
  - Points de conflit à résorber entre les corridors écologiques fluviaux et les éléments fragmentants :
    - points de conflit majeurs
    - autres points de conflit importants (seuil > 0,60m et < 2m)
    - autres points de conflit importants (seuil < 0,60m)
- CONTINUITES ECOLOGIQUES**
- Réservoirs de Biodiversité**
- Réservoirs de Biodiversité Linéaires
  - Réservoirs de Biodiversité

Figure 84 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014

## 5.2.3 Identification des enjeux sur le terrain

### 5.2.3.1 Critère visuel : la covisibilité-

L'ouvrage de franchissement étant un ouvrage supérieur routier, il n'y a pas de problème vis-à-vis de la covisibilité.



Figure 85 : extrait de carte Google Street View montrant l'ouvrage de franchissement « voie d'Esquerchin » passant au-dessus de la RD 621. (Source : Street View – Date de l'image : août 2014 ©2018 Google)

### 5.2.3.2 Critère visuel : la lumière

Ni la RD 621, ni la voie d'Esquerchin ne disposent d'éclairage public. La seule source de lumière sur ce passage, néanmoins importante, provient des phares des véhicules circulant sur la RD621 et sur la voie d'Esquerchin.

### 5.2.3.3 Critère auditif : le bruit

La principale source de bruit provient du trafic routier. La RD 621 comportant plus de 6 000 véhicules/jours, il s'agit d'une nuisance importante.

### 5.2.3.4 Critère de continuité du substrat (olfactive et tactile)

La voie d'Esquerchin est totalement revêtue d'un enrobé sur 100 % de sa largeur.

### 5.2.3.5 Critère de continuité physique au niveau de l'ouvrage de franchissement

L'analyse des 4 zones de transition entre le terrain naturel et l'enrobé du trottoir de la voie d'Esquerchin ne montre aucun seuil à franchir de plus de 10 cm de hauteur (Figure 86 ci-dessous).





Figure 86 : extrait de carte Google Street View montrant la zone de transition entre le terrain naturel et l'enrobé du trottoir de la voie d'Esquerchin. (Source : Street View – Date de l'image : août 2014 ©2018 Google)

### 5.2.3.6 Critère de continuité végétale ou structurelle au niveau de l'ouvrage de franchissement

Il n'y a malheureusement aucune structure végétale sur la voie d'Esquerchin. Néanmoins l'analyse de la photographie aérienne montre que cet ouvrage de franchissement est le seul point de liaison au sein d'un linéaire de milieux boisés et prairiaux. Son rôle potentiel en tant qu'ouvrage de continuité écologique est indéniable (Figure 87 ci-dessous).



Figure 87 : Vue aérienne Géoportail montrant un linéaire de prairies et forêts selon un axe sud-ouest – nord-est. L'ouvrage de franchissement est au centre de la carte au niveau du pointeur de souris blanc.  
Données cartographiques : © IGN, FEDER, EPF, Région Hauts-de-France 2018  
[www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales](http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales).

### 5.2.3.7 Critère de continuité physique : présence de clôture ou de murets sur l'infrastructure à franchir

La RD621 à franchir n'est pas clôturée et ne présente pas de dispositif de guidage pour la faune. De plus, il y a présence à l'est de la route d'une glissière en béton armée puis un fossé béton qui rend impossible le franchissement de cette voie par la petite faune. Cette glissière est présente sur environ 70 mètres au nord de l'ouvrage de franchissement jusqu'à 120 mètres au sud de celui-ci. Au vu du trafic important, la route est quoi qu'il en soit infranchissable mais il serait intéressant de connaître l'importance du trafic de nuit et suivre cet ouvrage pour connaître le comportement de la faune au droit de celui-ci.



Figure 88 : extrait de carte Google Street View montrant la vue depuis la RD 621 sur l'ouvrage de franchissement « voie d'Esquerchin ». Vers l'est de la route, présence d'une glissière en béton armée et d'un fossé béton. (Source : Street View – Date de l'image : septembre 2016 ©2018 Google)

### 5.2.3.8 Critère combiné : risque de prédation, dérangement

S'agissant d'une voie ouverte à la circulation automobile, la fréquentation et le dérangement sont importants, néanmoins nous n'avons pas de données de comptages de véhicules sur cette voie.

### 5.2.3.9 Recommandations par groupe d'espèce ou espèce cible

Compte-tenu de la présence du corridor potentiel « zones humides » à remettre en bon état, de la situation de l'ouvrage au sein d'une trame arborée et de la présence à proximité d'un cœur de biodiversité forestier à renaturer, les fiches relatives aux amphibiens (paragraphe 4.2.1 ci-dessus), aux chiroptères (paragraphe 4.2.3 ci-dessus) seront à consulter. Toutefois, les caractéristiques de l'ouvrage de franchissement supérieur « voie d'Esquerchin » ne sont pas du tout adaptées aux amphibiens !



### 5.2.3.10 Conclusions générales sur l'analyse des enjeux et des solutions

Au vu de différentes rubriques et critères éco-éthologiques analysés ci-dessous, nous pouvons retenir les points suivants :

- une route à très fort trafic pouvant occasionner une importante mortalité de la faune sauvage ;
- l'absence d'espèces à enjeux de continuités écologiques recensées dans les bases de données régionales. Néanmoins cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de telles espèces car ces communes n'ont pas fait l'objet d'inventaires faunistiques importants ;
- la présence à proximité de l'ouvrage d'un réservoir de biodiversité "zones humides" et « forestier à renaturer » et sur l'ouvrage en lui-même un corridor écologique "potentiels à remettre en état" de type zones humides ;
- une bonne covisibilité de part et d'autre de l'ouvrage inférieur ;
- la présence d'éclairage par les phares de voiture de part et d'autre de l'ouvrage et sur l'ouvrage en lui-même ;
- un niveau sonore relativement élevé due au trafic important ;
- l'absence totale de sol naturel ;
- l'absence d'obstacle physique au niveau de l'ouvrage de franchissement ;
- l'absence totale de structure de guidage sur l'ouvrage en lui-même alors qu'une structure arborée linéaire guide les animaux vers l'ouvrage de franchissement ;

L'analyse des éléments ci-dessus montre que la voie d'Esquerchin a potentiellement un rôle très important pour la restauration de la continuité écologique et ce pour plusieurs groupes, les mammifères en premier lieu et notamment les chauves-souris. Mais les caractéristiques de la voie d'Esquerchin limitent beaucoup les possibilités d'aménagement car les trottoirs sont très étroits. Néanmoins quelques mesures pourraient être prises et notamment les suivantes :

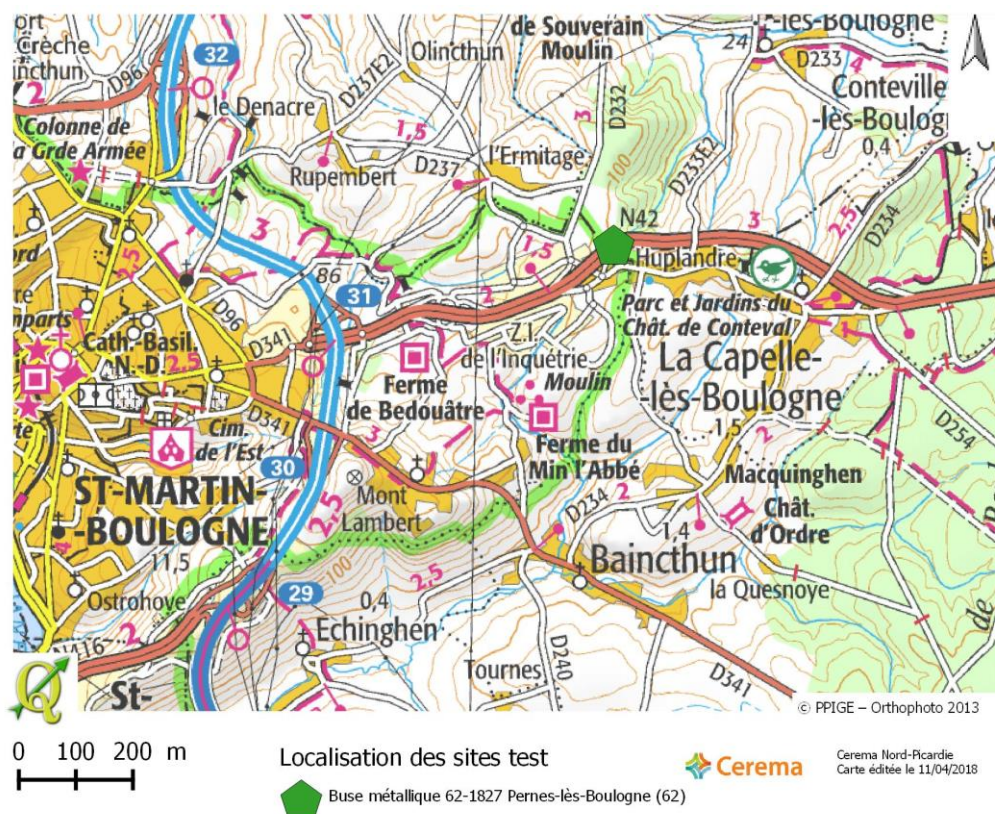
- la mesure la plus évidente à prendre est la mise en place d'un écran d'occultation de préférence en bois sur au moins 2 mètres de haut sur toute la longueur de l'ouvrage, contre chacun des deux garde corps de façon à assurer une continuité de structure avec les arbres situés de part et d'autre. Cela permettrait à la fois de guider les chauves-souris de part et d'autre de la RD 621 en suivant le linéaire boisée de la voie d'Esquerchin et de créer une zone d'obscurité vis-à-vis de la RD621 également favorable à la continuité écologique. La principale difficulté de ce type de mesure est d'assurer la sécurité des usagers de la RD621 en optant pour une structure très solide. A défaut, une structure de guidage telle que la structure métallique de marque animex présentée au paragraphe 4.1.5.2 ci-dessus serait utile à la continuité écologique.
- pour améliorer la continuité du substrat, même si la largeur de trottoir est restreinte, il peut être utile de créer un trottoir surélevé de façon à recréer un trottoir en terrain naturel (cf. paragraphe 4.1.5.2 ci-dessus) dans la continuité des bas-côtés situés de part et d'autre de l'ouvrage.
- sachant que ces mesures peuvent être coûteuses, il serait opportun d'effectuer un diagnostic des potentialités de cet ouvrage de franchissement qui semble très prometteur. Une fois ces potentialités confirmées, un travail en concertation avec les gestionnaires des voiries concernés est indispensable pour parvenir à la solution technique respectant les contraintes techniques, réglementaires et financières des uns et des autres.

Il est également important d'associer à ces mesures un suivi de leur efficacité, notamment en réalisant des inventaires par piégeage photographique et apporter les mesures correctrices en tant que de besoin.

## 5.3 Exemple du passage inférieur de la RN42 à Pernes-lès-Boulogne (62)

### 5.3.1 Description du site

Le passage inférieur de la RN42 se situe sur la commune de Pernes-lès-Boulogne.



### 5.3.2 Pré-analyse au bureau

#### 5.3.2.1 *Utilité de la clé d'identification des enjeux et solutions*

La voie à franchir, la RN 42 a une moyenne journalière de 12 109 véhicules/jours (2017). Il s'agit donc d'un trafic très important qui rend la voie infranchissable par l'intensité même du trafic.

#### 5.3.2.2 *Fonction de l'ouvrage de franchissement*

Sur la photographie aérienne Google Maps ou Géoportail, nous voyons que les entrées et sorties de ce passage inférieur sont entièrement végétalisées et sans empreintes de roue ce qui est a priori un élément favorable à la continuité écologique.

### **5.3.2.3      *Vérification de la présence d'espèces à enjeux de continuité écologique dans les bases de données***

Les communes se situant à moins de 1 km de l'ouvrage de franchissement sont St-Martin-Boulogne, Wimille, La Capelle-lès-Boulogne et Pernes-les-Boulogne.

La consultation de la base de données SIRF pour ces communes sur la période 2002-2018 comporte 75 données pour le groupe des amphibiens, reptiles et mammifères. Aucune des espèces inventoriées ne fait partie de la liste des espèces listées au paragraphe 3.5.4.1 ci-dessus, devant faire l'objet d'une attention particulière.

Néanmoins, une espèce a retenu notre attention, il s'agit du muscardin qui est une espèce en déclin et dont le statut de rareté et de menace est encore mal connu faute de données suffisantes. Cette espèce fait l'objet de suivis particuliers par la Coordination mammalogique du Nord de la France (CMNF) par le Groupe Ornithologique et Naturaliste du Nord-Pas-de-Calais (GON) :

<http://www.cmnf.fr/fichiers/docs/plaquette-muscardin-cmnf-2015.pdf>

Il y a une donnée en 2011 sur la commune de Capelle-lès-Boulogne et de la même année sur la commune de Pernes-lès-Boulogne. Ces informations sont intéressantes car le Muscardin est une espèce essentiellement forestière et c'est précisément la RN 42 qui sépare les deux grands massifs forestiers de ces deux communes.

Il peut donc y avoir un enjeu de continuité écologique pour cette espèce même si l'ouvrage de franchissement ne se trouve pas exactement sur la trajectoire entre les deux massifs forestiers.

### **5.3.2.4      *Des enjeux de continuité écologique sont-ils déjà identifiés***

La consultation de l'atlas cartographique du SRCE-TVB de l'ex région Nord-Pas-de-Calais permet de voir que des continuités écologiques "potentiels à remettre en état" de type prairies-bocages sont très proches de l'ouvrage de franchissement (Figure 89 et Figure 90 ci-dessous). Cette même carte montre la présence de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement, à quelques centaines de mètres, de réservoirs de biodiversité de type «prairies et/ou bocage », en particulier côté sud.

Nous pouvons voir aussi en analysant la carte que ce passage inférieur est important car il n'y a pas d'ouvrage de franchissement adapté au passage de la faune sur au moins 2 km de part et d'autre de celui-ci. Le seul ouvrage de franchissement, le plus proche, est le passage supérieur de la rue de la Vallée situé à 450 mètres à l'est mais il n'est pas du tout adapté au passage de la faune (Figure 91 ci-dessous).



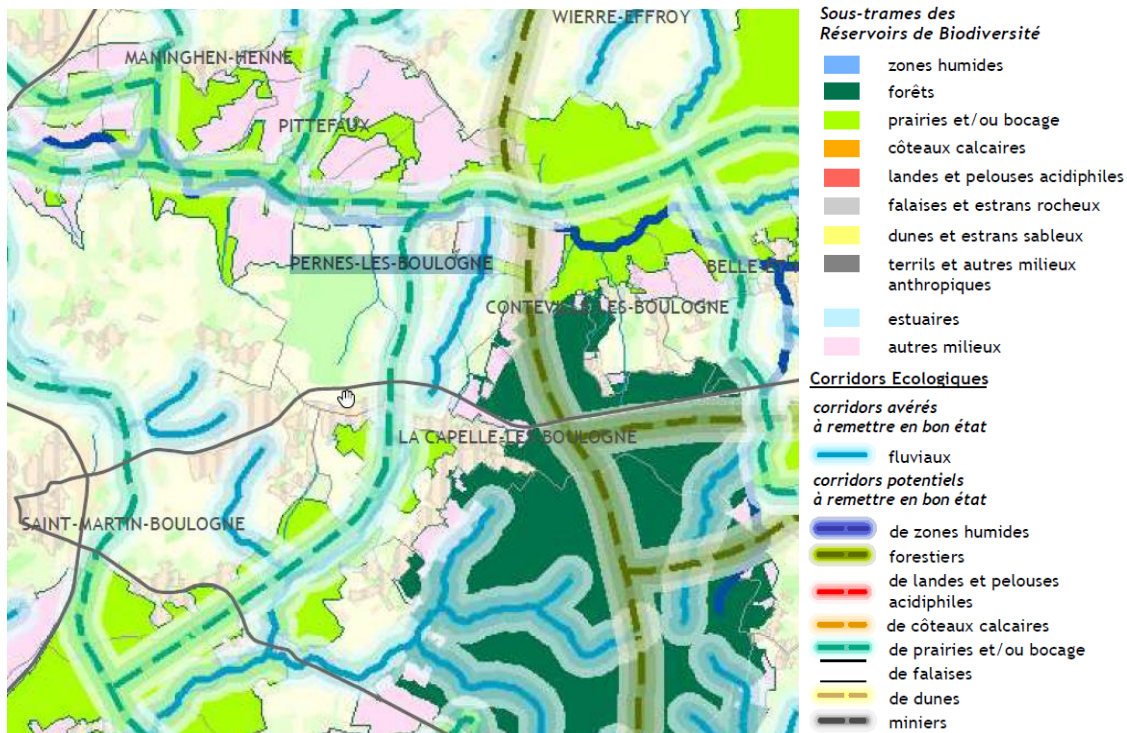


Figure 89 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Pernes-ès-Boulogne. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014

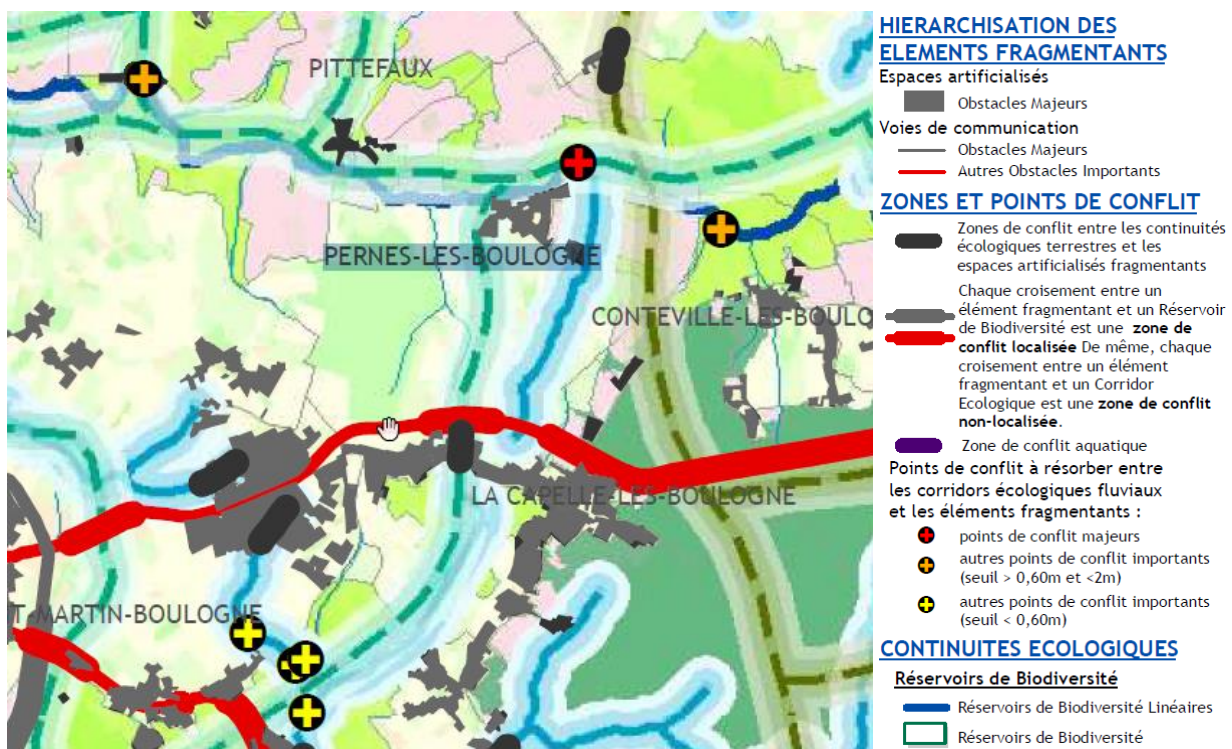


Figure 90 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Nielles lès Ardres. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014





Figure 91 : ouvrage de franchissement mais inadapté au passage de la faune à 460 mètres à l'est de l'ouvrage de franchissement étudié. (Source : Street View – Date de l'image : septembre 2016 ©2018 Google)

### 5.3.3 Identification des enjeux sur le terrain

Nous voyons sur le terrain qu'il s'agit d'un ouvrage de près de 2 mètres de hauteur permettant le rétablissement du passage d'animaux domestiques qui n'est plus utilisé par l'agriculteur utilisant les parcelles à proximité.



Figure 92 : Entrée de l'ouvrage inférieur côté nord de la RN42. Photo cc-by-sa-3 O. Pichard



### **5.3.3.1 Critère visuel : la covisibilité-**

L'ouverture au nord de la RN42 est libre mais celle au sud est obstruée par une végétation importante.

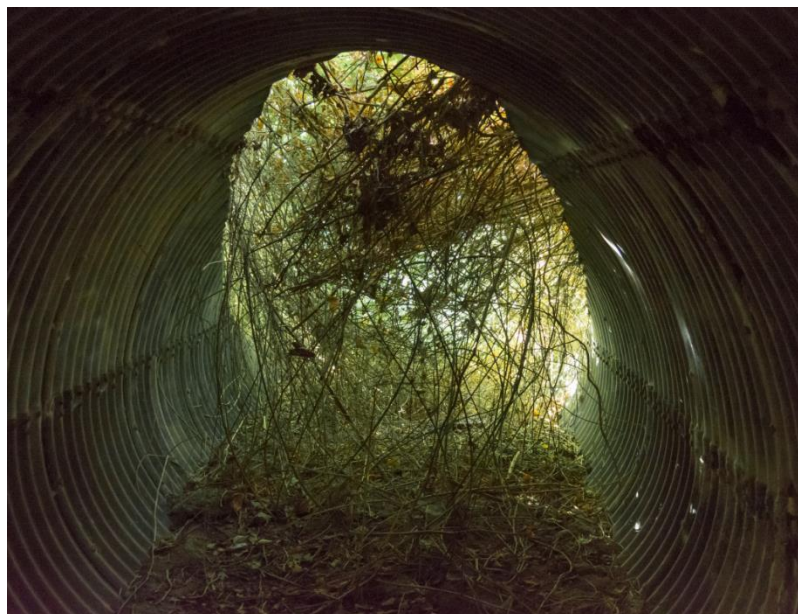


Figure 93 : ouverture de l'ouvrage de franchissement inférieur côté sud. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard

### **5.3.3.2 Critère visuel : la lumière**

La RN42 ne dispose pas d'éclairage public. La seule source d'éclairage provient des phares des véhicules. Néanmoins, les entrées/sorties de l'ouvrage de supérieur se situent à au moins 2-3 m en contrebas de la route et il y a de la végétation en bord de route qui permet de limiter davantage l'incidence de l'éclairage par les phares des véhicules.

### **5.3.3.3 Critère auditif : le bruit**

La principale source de bruit provient du trafic routier. La RN 42 comportant plus de 6 000 véhicules/jours, il s'agit d'une nuisance importante.

### **5.3.3.4 Critère de continuité du substrat (olfactive et tactile)**

La buse est en métal sur tout son pourtour. Néanmoins, le fond est constitué de terre végétale sur environ la moitié de sa largeur (Figure 94 ci-dessous) ce qui est un élément favorable à la continuité écologique.



Figure 94 : photo montrant l'intérieur de la buse métallique avec un sol en terre végétale.  
Photo cc-by-sa-3 O. Pichard

#### **5.3.3.5 Critère de continuité physique au niveau de l'ouvrage de franchissement**

L'ouvrage de franchissement ne présente aucun seuil à franchir et n'est manifestement pas submergé une partie de l'année. Ce point est un élément favorable à la continuité écologique.

Une clôture agricole de type « 3 fils » est présente à environ 4 mètres devant l'ouverture nord du passage inférieur (mais celle-ci ne constitue pas un obstacle de franchissement pour la faune sauvage).

#### **5.3.3.6 Critère de continuité végétale ou structurelle au niveau de l'ouvrage de franchissement**

S'agissant d'un passage inférieur d'une grande longueur, il n'y a pas suffisamment de lumière et d'eau pour permettre à la végétation de s'installer. Il est tout de même envisageable de créer une structure de guidage en déposant un linéaire d'andain de bois.

De part et d'autre des ouvertures nord et sud de l'ouvrage de franchissement, on peut observer des linéaires arbustifs qui constituent une structure de guidage des animaux vers celui-ci et ce, aussi bien en contrebas de la route (Figure 95 ci-dessous) qu'en bordure de la RN42 (Figure 96 ci-dessous).





Figure 95 : photo montrant la clôture « 3 fils » à environ 4 mètres devant l'ouverture nord de l'ouvrage de franchissement et le continuum arbustif qui conduit vers celui-ci. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard

### 5.3.3.7 Critère de continuité physique : présence de clôture ou de murets sur l'infrastructure à franchir

Hors incidence de l'intensité du trafic, le franchissement de la RN42 est en théorie possible pour la faune car il n'existe pas de clôture ou de glissière béton. Il y a des glissières de sécurité métalliques (Figure 96 ci-dessous) qui ne sont pas un obstacle au passage de la faune sauvage. Le facteur prépondérant empêchant le franchissement par la faune sauvage est donc l'intensité du trafic qui, supérieur à 10 000 véhicules/jours, rend le franchissement presque impossible. Néanmoins cela dépend aussi de son intensité et sa répartition pendant la nuit. Nous ne disposons pas d'informations à ce sujet.



Figure 96 : photo montrant les glissières métalliques sur la RN42 et le continuum végétal long de celle-ci. Photo cc-by-sa-3 O. Pichard

### **5.3.3.8 Critère combiné : risque de prédation, dérangement**

Cet ouvrage n'est manifestement pas du tout utilisé par l'homme, il bénéficie à ce titre d'une certaine tranquillité. En revanche, il y a un effet tunnel important et l'absence d'endroits permettant à la faune de trouver refuge au cours de la traversée.

### **5.3.3.9 Recommandations par groupe d'espèce ou espèce cible**

Nous n'avons pas identifié d'espèce ou de groupe cible à favoriser. Les recommandations seront donc générales pour tout groupe susceptible d'utiliser ce passage inférieur.

### **5.3.3.10 Conclusions générales sur l'analyse des enjeux et des solutions**

Au vu de différentes rubriques et critères éco-éthologiques analysés ci-dessus, nous pouvons retenir les points suivants :

- une route à très fort trafic pouvant occasionner une importante mortalité de la faune sauvage ;
- l'absence d'espèces à enjeux de continuités écologiques recensées dans les bases de données régionales. Néanmoins cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de telles espèces car ces communes n'ont pas fait l'objet d'inventaires faunistiques importants. La donnée de muscardin sur la commune voisine de Capelle-lès-Boulogne est néanmoins à retenir ;
- la présence à proximité de l'ouvrage, de part et d'autre de celui-ci d'un réservoir de biodiversité de type « prairies et/ou bocage », en particulier côté sud et un corridor écologique "potentiels à remettre en état" de type prairies-bocages ;
- une absence de covisibilité de part et d'autre de l'ouvrage inférieur à cause d'une végétation trop importante au niveau de l'ouverture sud ;
- un éclairage par les phares de voiture de part et d'autre de l'ouvrage limité par la position en contrebas et la végétation arbustive bordant la RN42 ;
- un niveau sonore relativement élevé dû au trafic important ;
- un sol naturel sur environ la moitié de la largeur de l'ouvrage ;
- l'absence d'obstacle physique au niveau de l'ouvrage de franchissement ;
- l'absence totale de structure de guidage à l'intérieur de l'ouvrage alors qu'une structure arbustive linéaire guide les animaux vers l'ouvrage de franchissement.

L'analyse des éléments ci-dessus montre que l'intérêt de cet ouvrage de franchissement est potentiellement important pour le franchissement par la faune.

Quelques mesures pourraient être prises et notamment les suivantes :

- la mesure la plus évidente à prendre est d'abord l'entretien de la végétation au sud de façon à assurer une bonne co-visibilité mais également la possibilité pour les animaux de franchir physiquement l'ouvrage. L'entretien consiste à rabattre la végétation depuis l'ouverture (Figure 97 ci-dessous) jusqu'en haut du talus opposé (Figure 98 ci-dessous).
- pour réduire l'éclairage par les phares des véhicules, il est souhaitable de maintenir et favoriser le linéaire arbustif bordant la RN42 en haut de talus.
- pour réduire l'incidence du bruit et par la même occasion celle de la lumière, la mise en place d'un écran d'occultation de préférence en bois sur au moins 2 mètres de haut et environ 8 mètres de large au droit de chaque ouverture en haut du talus serait souhaitable. Néanmoins compte-tenu du coût important de cette mesure, nous ne disposons pas de suffisamment d'éléments sur les enjeux faune en l'état actuel des connaissances montrant une priorité pour cela. Une analyse par piégeage photographique et une étude des



possibilités de franchissement sur l'ensemble du linéaire sur au moins 2 km de part et d'autre seraient nécessaires pour conclure.

- afin de favoriser une structure de guidage et des zones de refuge, il est souhaitable de mettre en place des blocs de pierre alignés et andains de bois à l'intérieur de l'ouvrage mais d'un seul côté et empiétant le moins possible sur la zone de passage potentiel des animaux domestiques (Figure 99 ci-dessous).



*Figure 97 : photo montrant l'ouverture sud du passage inférieur après coupe de la végétation. Ainsi la covisibilité est rétablie. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard*



*Figure 98 : photo montrant la coupe de la végétation depuis l'ouverture de l'ouvrage de franchissement jusqu'en haut du talus pour favoriser le passage des animaux. Photo : cc-by-sa-3 O. Pichard*





*Figure 99 : photomontage de l'aménagement à réaliser pour la mise en place d'un andain de bois et pierre pour faciliter le franchissement de l'infrastructure par la petite faune sans empêcher le passage d'animaux domestiques. D'après photo : cc-by-sa-3 O. Pichard*

Naturellement, un travail en concertation avec la Direction Interdépartemental des Routes Nord, gestionnaire de la RN42, est indispensable pour parvenir à la solution technique respectant les contraintes techniques, réglementaires et financières des uns et des autres.

Il est également important d'associer à ces mesures un suivi de leur efficacité, notamment en réalisant des inventaires par piégeage photographique et apporter les mesures correctrices en tant que de besoin.

## 5.4 Exemple de l'ouvrage de rétablissement hydraulique à Setques sous la RN42

### 5.4.1 Description du site

L'ouvrage de rétablissement hydraulique de Setques est un passage inférieur sous la RN42 (Figure 100 ci-dessous).

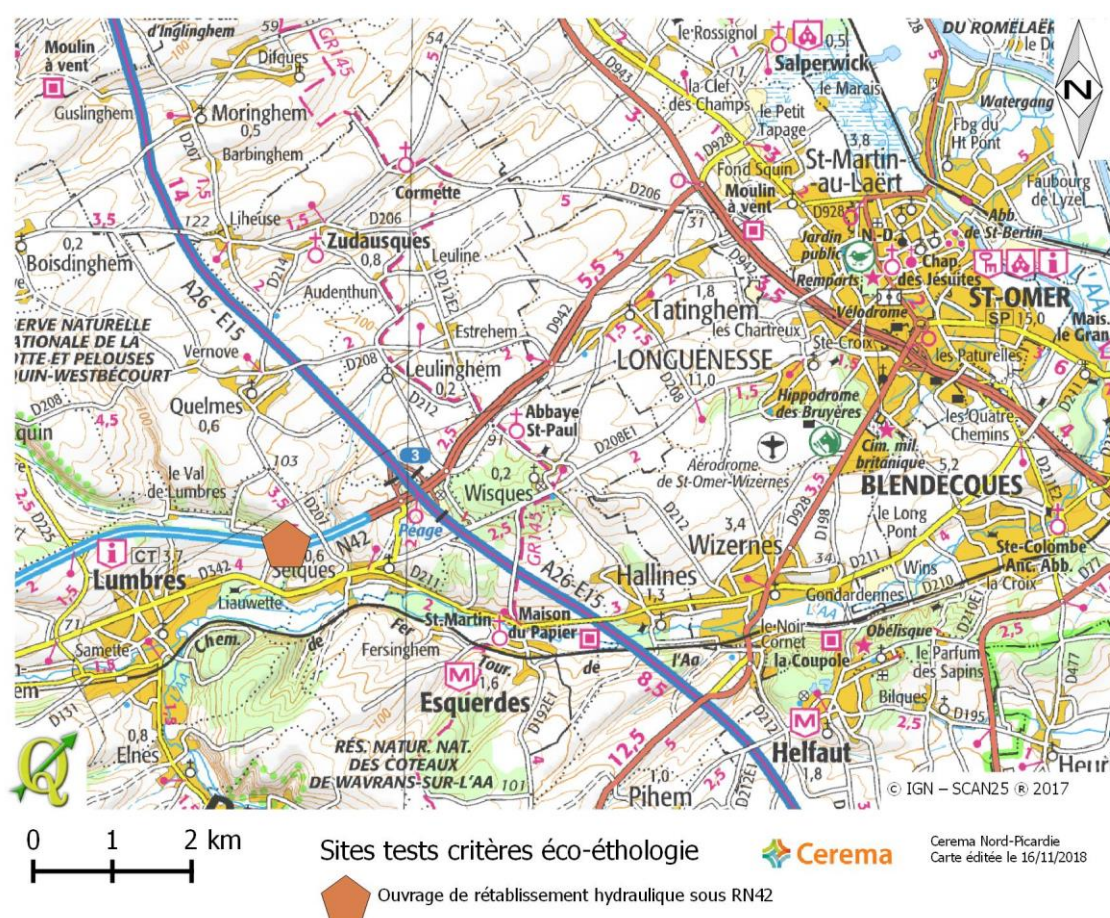


Figure 100 : Carte de localisation de l'ouvrage de franchissement de la RN42 en passage inférieur à Setques (62).  
Source Cerema Nord-Picardie

### 5.4.2 Pré-analyse au bureau

#### 5.4.2.1 Utilité de la clé d'identification des enjeux et solutions

La voie à franchir, la RN 42 a une moyenne journalière de 12 109 véhicules/jours (2017). Il s'agit donc d'un trafic très important qui rend la voie infranchissable par l'intensité même du trafic.

#### **5.4.2.2      *Fonction de l'ouvrage de franchissement***

L'observation de la carte IGN sur géoportail montre que de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement il y a un double trait à l'intérieur duquel est imprimé un bleu soutenu. Il s'agit donc d'un cours d'eau permanent. La carte IGN nous indique qu'il s'agit du ruisseau d'Acquin.

#### **5.4.2.3      *Vérification de la présence d'espèces à enjeux de continuité écologique dans les bases de données***

Les communes situées à moins de 1 km de l'ouvrage de franchissement sont Lumbres, Quelmes et Setques. La consultation de la base de données SIRF pour ces communes sur la période 2002-2018 comporte 88 données pour le groupe des amphibiens, reptiles et mammifères. Aucune des espèces inventoriées, devant faire l'objet d'une attention particulière, ne fait partie de la liste des espèces listées au paragraphe 3.5.4.1 ci-dessus.

Néanmoins, tout comme pour l'ouvrage étudié précédemment, le muscardin a une fois encore retenu notre attention car il s'agit d'une espèce a priori en déclin et dont le statut de rareté et de menace est encore mal connu faute de données suffisantes. Cette espèce fait l'objet de suivis particuliers par la Coordination mammalogique du Nord de la France (CMNF) par le Groupe Ornithologique et Naturaliste du Nord-Pas-de-Calais (GON) :

<http://www.cmnf.fr/fichiers/docs/plaquette-muscardin-cmnf-2015.pdf>

Il y a une donnée en 2011 sur la commune de Lumbres et de la même année sur la commune de Quelmes. Ces informations sont intéressantes car le Muscardin est une espèce essentiellement forestière et c'est précisément là encore la RN 42 qui sépare deux massifs forestiers de part et d'autre de la route.

Il y a donc un enjeu de continuité écologique pour cette espèce d'autant que l'ouvrage se situe sur le corridor écologique potentiel de la sous trame forestière.

#### **5.4.2.4      *Des enjeux de continuité écologique sont-ils déjà identifiés***

La consultation de l'atlas cartographique du SRCE-TVB de l'ex région Nord-Pas-de-Calais permet de voir que des continuités écologiques "potentiels à remettre en état" sont présentes au niveau de l'ouvrage de franchissement. Mais la carte de synthèse (Figure 101 ci-dessous) ne permet pas de voir le détail de toutes les sous trames car il y a recouvrement de celles-ci. L'analyse de la carte spécifique « sous trame forêt » (Figure 102 ci-dessous) et « sous trame coteaux calcaires et landes et pelouses acidiphiles » (Figure 103 ci-dessous) permet de voir l'existence d'un corridor potentiel depuis l'ouvrage de franchissement vers le sud de type forêt et coteaux calcaires et pelouses acidiphiles. Ces corridors relient des réservoirs de biodiversité du même type. La carte des ruptures de continuités écologiques montre que la RN42 constitue un obstacle majeur sur ce point (Figure 104 ci-dessous).



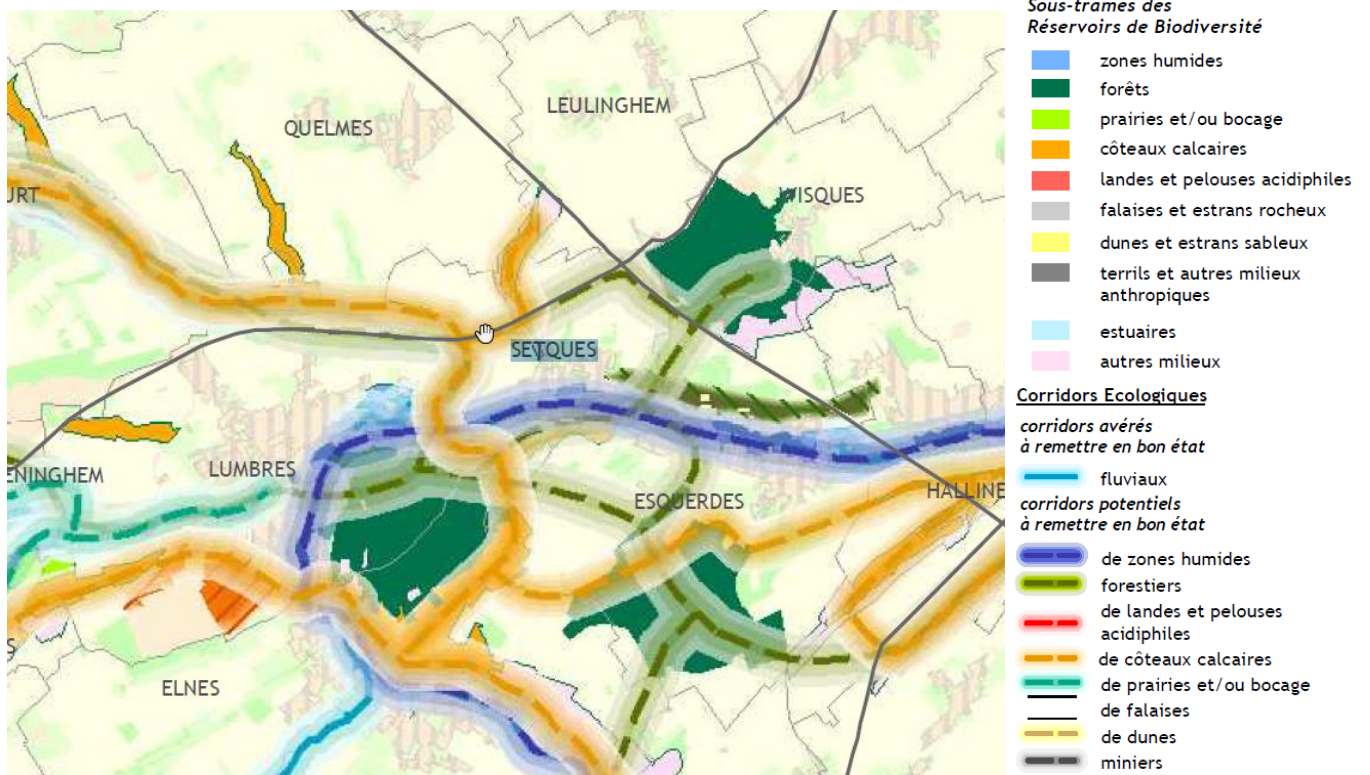


Figure 101 : extrait de la carte des continuités écologiques au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014

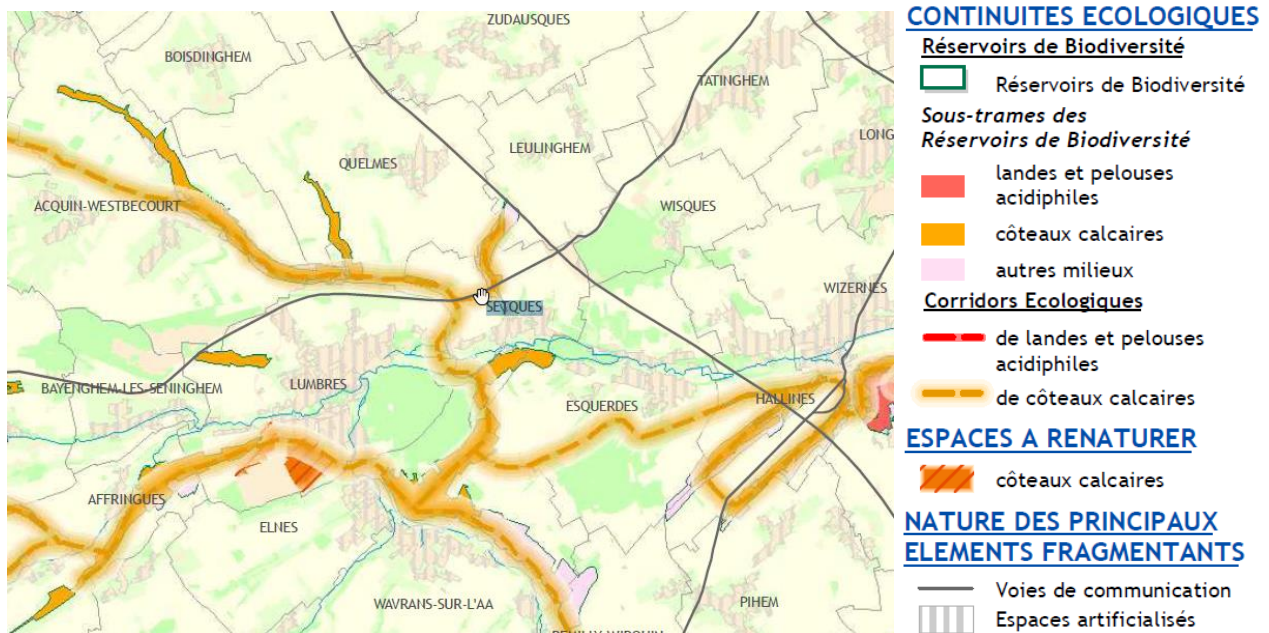


Figure 102 : extrait de la carte des continuités écologiques, détail pour la sous trame côteaux calcaires et landes et pelouses acidiphiles au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014



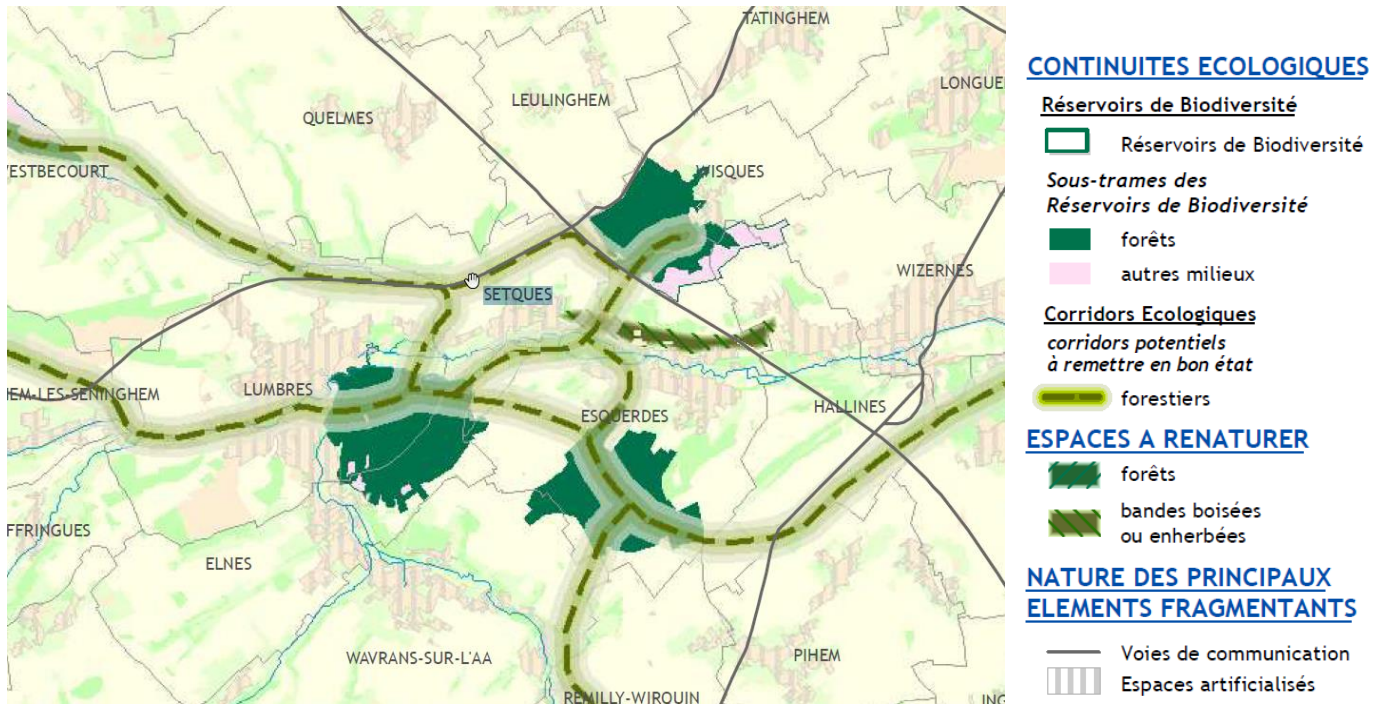


Figure 103 : extrait de la carte des continuités écologiques, détail pour la sous trame forêt au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014

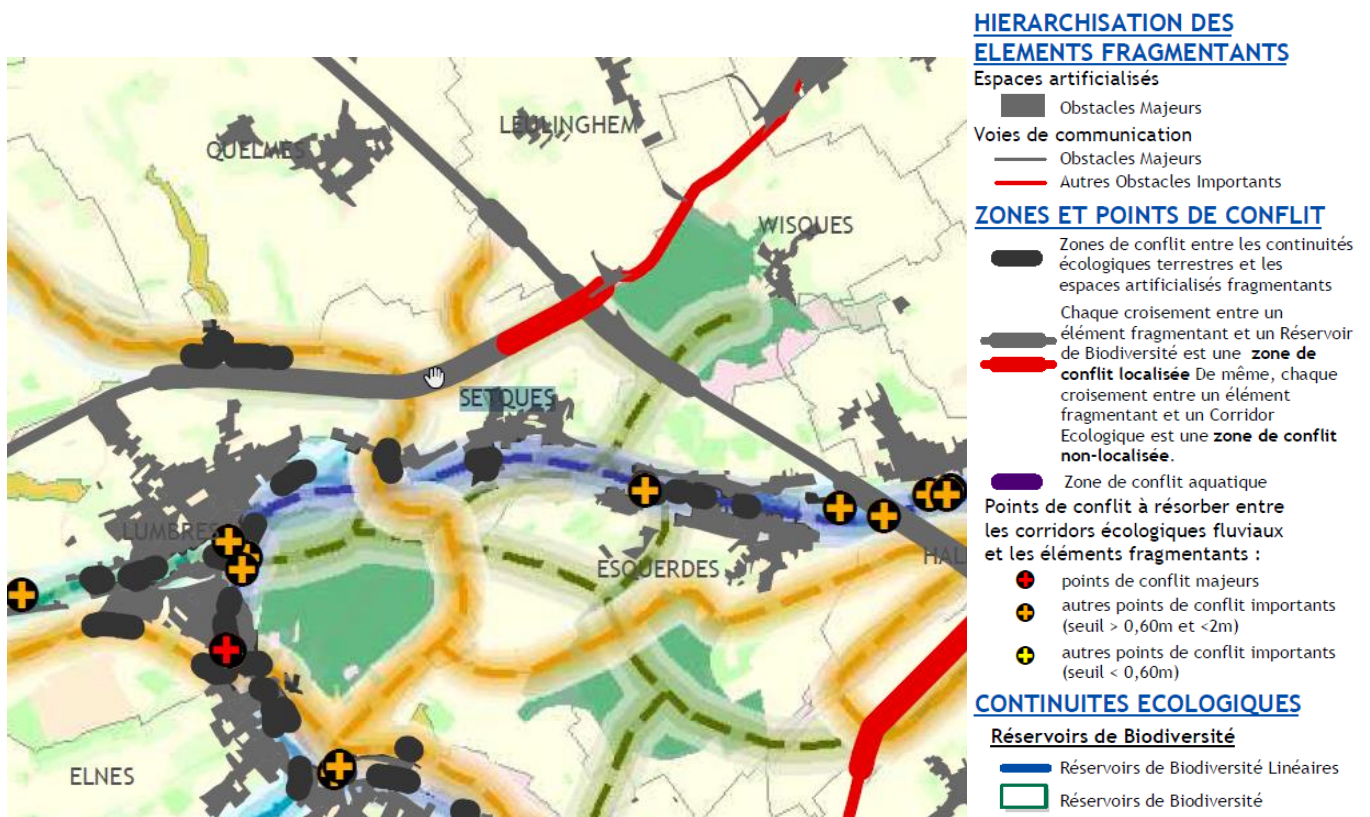


Figure 104 : extrait de la carte des ruptures de continuités écologiques au niveau de la commune de Setques. L'ouvrage de franchissement étudié est représenté par la main blanche. Source : atlas cartographique SRCE-TVB du Nord-Pas-de-Calais, 2014



### 5.4.3 Identification des enjeux sur le terrain

Nous voyons sur le terrain qu'il s'agit d'un ouvrage de rétablissement hydraulique du ruisseau d'Acquin. Il s'agit d'un dalot béton carré d'environ 2,20 m de côté et environ 55 mètres de long (Figure 105 ci-dessous).



Figure 105 : Ouverture de l'ouvrage de rétablissement hydraulique du ruisseau d'Acquin au sud de la RN42.  
Photo : cc-by-sa-3 F. Fournier

#### 5.4.3.1 Critère visuel : la covisibilité-

Il y a une bonne covisibilité de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement mais nous soulignons toutefois un effet tunnel très important par la longueur d'environ 55 mètres de celui-ci.

#### 5.4.3.2 Critère visuel : la lumière

La RN 42 ne dispose pas d'éclairage public. L'unique source de lumière nocturne provient des phares des véhicules. Mais au niveau de l'ouvrage de franchissement, la RN42 est bordée de chaque côté des voies y compris au niveau du terre-plein central de glissières en béton armé et ce sur 90 mètres vers l'est et environ 200 m vers l'ouest (Figure 106 ci-dessous). Sachant que l'ouvrage de franchissement est de plus situé au sud en contrebas sur 16 mètres de dénivelé avec une pente de 55 % en moyenne et au nord en contrebas de 10 mètres avec une pente de 50 % en moyenne et qu'il y a des arbustes sur la pente, il n'y a pas de problème de lumière incidente au niveau des ouvertures de l'ouvrage inférieur.



Figure 106 : Vue Google Street View montrant la N42 au-dessus de l'ouvrage de franchissement : des glissières en béton armé délimitent le terre-plein central et chacun des bords des deux voies. (Source : Street View – Date de l'image : juin 2016 ©2018 Google)

#### 5.4.3.3 Critère auditif : le bruit

La principale source de bruit provient du trafic routier. La RN42 comportant plus de 6 000 véhicules/jours, il s'agit d'une nuisance importante. Toutefois, pour les raisons évoquées précédemment pour la lumière (glissières béton armée et ouvertures en contrebases), le bruit provenant au niveau de l'ouvrage de franchissement est assez limité. Il ne devrait pas constituer une gêne importante pour le franchissement de l'ouvrage.

#### 5.4.3.4 Critère de continuité du substrat (olfactive et tactile)

Le fond du dalot est en béton mais il est recouvert tout de même d'une couche fine de limons et d'argile qui limite l'effet artificiel. Néanmoins s'agissant d'un cours d'eau, il est possible d'améliorer la nature du substrat.

#### 5.4.3.5 Critère de continuité physique au niveau de l'ouvrage de franchissement

Il n'y a pas de discontinuité de plus de 10 cm de hauteur sur le linéaire de franchissement mais à la sortie sud de l'ouvrage, il y a 4 buses installées pour franchir le chemin bordant la RN42. Néanmoins la faune peut facilement sortir du dalot par les côtés avant ces buses (Figure 107 ci-dessous). S'agissant d'un cours d'eau et sachant qu'il n'existe aucune banquettes sur la totalité du linéaire de cet ouvrage, les animaux nécessitant un passage à « pied sec » ne peuvent pas emprunter cet ouvrage sauf éventuellement lorsque le cours d'eau est à sec. En effet, l'écoulement du ruisseau d'Acquin n'est pas permanent car lors d'une visite le 27 août 2017, il était pratiquement à sec (Figure 108 ci-dessous).



Figure 107 : Présence de 4 buses hydrauliques à la sortie sud de l'ouvrage de franchissement pour permettre le franchissement du cours d'eau par un chemin parallèle à la RN42. Photo : cc-by-sa-3 F. Fournier



Figure 108 : photo montrant l'intérieur du dalot le 27/08/2018. Le ruisseau est quasiment à sec à cette période de l'année. Photo : cc-by-sa-3 F. Fournier

#### **5.4.3.6 Critère de continuité végétale ou structurelle au niveau de l'ouvrage de franchissement**

S'agissant d'un passage inférieur de faible ouverture et de grande longueur, l'installation de végétation à l'intérieur est impossible. Néanmoins, il est possible d'améliorer la continuité structurelle en créant une banquette fixée sur le fond du dalot soit en encorbellement comme nous allons le voir au paragraphe ci-dessous.





Figure 109 : Vue Google Street View montrant le chemin d'Acquembronne situé à 200 mètres à l'ouest de l'ouvrage de franchissement étudié. (Source : Street View – Date de l'image : avril 2013 ©2018 Google)



Figure 110 : Vue Google Street View montrant la rue de Quelmes à 480 mètres à l'est de l'ouvrage de franchissement étudié. (Source : Street View – Date de l'image : juin 2009 ©2018 Google)

#### 5.4.3.7 Critère de continuité physique : présence de clôture ou de murets sur l'infrastructure à franchir

Tel que nous l'avons vu au paragraphe 5.4.3.2 ci-dessus, les bas-côtés sont tous deux bordés de glissières en béton armé rendant l'infrastructure infranchissable et ce sur 90 mètres vers l'est et environ 200 m vers l'ouest (Figure 106 ci-dessus). Ces structures empêchent ainsi la petite faune d'aller sur la voie et l'oblige sur ce

tronçon à passer soit dans l'ouvrage de franchissement étudié, soit au niveau du chemin d'Acquembronne (Figure 109 ci-dessus).-

#### **5.4.3.8 Critère combiné : risque de prédation, dérangement**

Cet ouvrage de franchissement n'est pas du tout fréquenté par l'homme. En revanche la totalité du linéaire de l'ouvrage de franchissement ne bénéficie d'aucune structure permettant à la faune de se réfugier.

#### **5.4.3.9 Recommandations par groupe d'espèce ou espèce cible**

Nous n'avons pas identifié d'espèce cible à favoriser. En revanche, les espèces forestières et de pelouse devront être privilégiées en raison des corridors potentiels à restaurer de ces types de milieux.

#### **5.4.3.10 Conclusions générales sur l'analyse des enjeux et des solutions**

Au vu de différentes rubriques et critères éco-éthologiques analysés ci-dessous, nous pouvons retenir les points suivants :

- une route à très fort trafic pouvant occasionner une importante mortalité de la faune sauvage ;
- l'absence d'espèces à enjeux de continuités écologiques recensées dans les bases de données régionales. Néanmoins cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de telles espèces car ces communes n'ont pas fait l'objet d'inventaires faunistiques importants. La donnée de muscardin sur les communes de Quelmes et Lumbres est néanmoins à retenir ;
- la présence de part et d'autre de l'ouvrage d'un corridor potentiel à remettre en bon état de type forêt et coteaux calcaires et pelouses acidiphiles et des réservoirs de biodiversité de même type.
- une bonne covisibilité de part et d'autre de l'ouvrage inférieur ;
- l'absence d'éclairage incident par les phares des véhicules circulant sur la RN 42 ;
- un niveau sonore relativement limité du fait de la situation en contrebas de l'ouvrage de franchissement ;
- un sol en béton mais recouvert de particules fines de limons et d'argiles sur la totalité de la largeur de l'ouvrage ;
- l'absence d'obstacle physique au niveau de l'ouvrage de franchissement mais s'agissant d'un cours d'eau, les animaux devant passer à « pied sec » ne peuvent pas le franchir lorsqu'il n'est pas à sec ;
- l'absence totale de structure de guidage à l'intérieur de l'ouvrage ;

L'analyse des éléments ci-dessus montre que l'intérêt de cet ouvrage de franchissement est potentiellement important pour le franchissement par la faune.

Quelques mesures pourraient être prises et notamment les suivantes :

**Sous réserve d'une analyse des débits du ruisseau d'acquain, notamment lors des crues et concertation avec les services assurant la police de l'eau (DDTM),** le fond du lit mineur du cours d'eau pourrait être reconstitué en y apportant un substrat granulométrique diversifié. Pour cela, nous proposons d'implanter dans le tracé défini par le cours d'eau des barrettes en béton de forme trapézoïdale et de la largeur du lit mineur. Elles seront implantées tous les 2 mètres linéaires. Entre ces barrettes, des blocs de granite pourront aléatoirement être disposés et scellés au fond du dalot. Ces dispositifs favoriseront une recharge granulométrique du lit du ru. Le schéma de principe de cet aménagement est présenté ci-après.



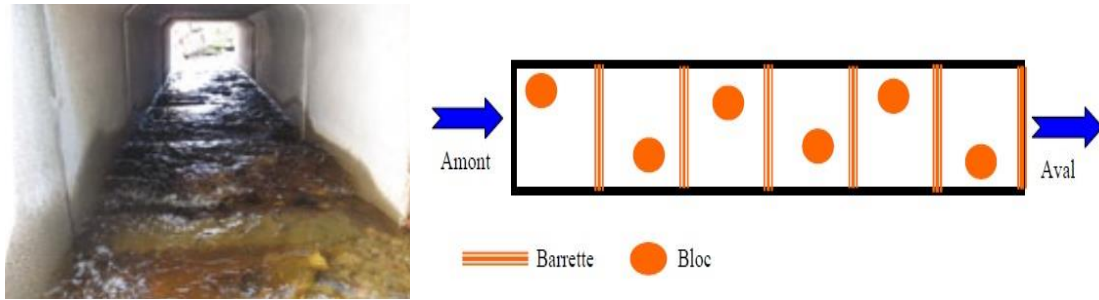


Figure 111 : Exemple de mise en place de seuils béton de 10 cm de haut dans un dalot.  
Source (Durllet et al. 2009)

Afin de permettre à la petite faune de traverser l'ouvrage « à pied sec », une banquette d'une hauteur d'un mètre environ scellée au fond du dalot pourrait être aménagée à l'intérieur de l'ouvrage et associée à un dispositif de guidage efficace en entrée et sortie de l'ouvrage. Cette banquette pourrait occuper le 1/3 de la largeur du dalot mais cela est à affiner en fonction des caractéristiques du débit du cours d'eau au cours de l'année et selon les débits en période de crue. Il serait éventuellement possible de disposer des blocs dans la banquette naturelle afin d'accroître sa résistance à l'érosion en cas de fortes crues. Le schéma de principe est illustré Figure 112 ci-dessous.

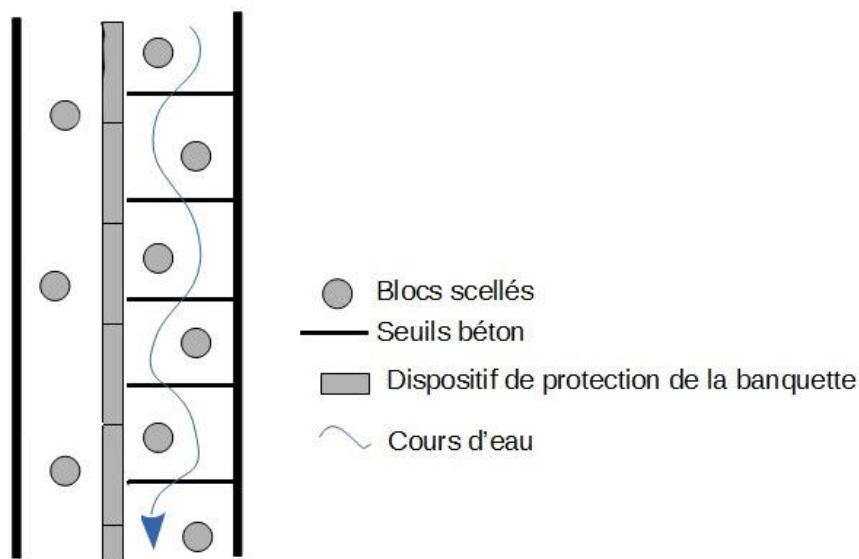


Figure 112 : Schéma d'aménagement de l'ouvrage de franchissement hydraulique avec une banquette d'environ 1 m de hauteur occupant le 1/3 de la largeur du dalot.  
Source Cerema Nord-Picardie

Ce principe d'aménagement a déjà été testé avec succès sur le dalot du ruisseau « la couture » sur la section RN 42 Hautmont-Beaufort (59) (Figure 113 ci-dessous).



*Figure 113 : Exemple d'aménagement réalisable : dalot du ruisseau « la couture » : à gauche avant travaux, à droite après travaux, création d'une banquette avec sol naturel reconstitué. RN 42 section Hautmont-Beaufort (59) source : Cerema Nord-Picardie*

Enfin au cas où les débits de crues ne seraient pas compatibles avec l'installation d'une banquette au sol, il est envisageable d'installer a minima une banquette en encorbellement comme cela est présenté Figure 114 ci-dessous.



*Figure 114 : Buse hydraulique aménagée : en bas à gauche création d'une banquette en encorbellement, en bas à droite banquette prolongée pour rester hors inondation sur toute sa longueur. Exemple de l'ouvrage OH46 sur RN42 section Hautmont-Beaufort (59) lieu-dit « sur le bois ». Source Cerema Nord-Picardie*

Enfin, il serait important aussi de favoriser la continuité écologique au niveau du chemin d'Acquembronne situé à 200 mètres à l'ouest de l'ouvrage étudié (Figure 109 ci-dessus) car il peut jouer un rôle très important dans la restauration de la continuité écologique nord-sud sur cette portion de la RN42. La mesure la plus évidente pour améliorer la fonctionnalité écologique de ce passage est de diminuer la surface de l'aire du bassin d'orage en ramenant le grillage contre les piles du pont à l'ouest de l'ouvrage et en installant une haie arbustive sur tout l'espace libéré par la zone en grillagée. Mais cet ouvrage mériterait une analyse approfondie pour proposer d'autres mesures pertinentes.

Naturellement, un travail en concertation avec la Direction Interdépartemental des Routes Nord, le gestionnaire de la RN42, est indispensable pour parvenir à la solution technique respectant les contraintes techniques, réglementaires et financières des uns et des autres.

Il est également important d'associer à ces mesures un suivi de leur efficacité, notamment en réalisant des inventaires par piégeage photographique et apporter les mesures correctrices en tant que de besoin.

## 6 Indicateurs de biodiversité

Les indicateurs de biodiversité prévus dans la candidature du Cerema étaient les suivants :

- nombre de références scientifiques consultées pour l'étude ;
- nombre de critères éco-éthologiques à prendre en compte pour restaurer une bonne fonctionnalité écologique au droit d'un ouvrage de franchissement de la faune ;
- pourcentage de gestionnaires d'infrastructures consultés pour l'étude.

### 6.1 Nombre de références scientifiques consultées pour l'étude

Au total, nous avons consulté 119 références scientifiques.

### 6.2 Nombre de critères éco-éthologiques à prendre en compte pour restaurer la fonctionnalité écologique

Comme nous l'avons vu dans la partie bibliographie, les critères peuvent être subdivisés en plusieurs sous critères.

Nous retiendrons les critères suivants

Critères structurels liés aux infrastructures de transport :

- largeur de l'infrastructure ;
- nature du revêtement de la voie ;
- discontinuité milieux naturels et artificiels ;
- présence de véhicules sur l'infrastructure ;
- intensité du trafic ;
- présence d'obstacles physiques infranchissables ;

Critères structurels de l'ouvrage de franchissement de l'infrastructure :

- dimensions de l'ouvrage de franchissement ;
- structure paysagère ;
- localisation de l'ouvrage de franchissement

Critères sensoriels liés aux infrastructures de transport ou aux ouvrages de franchissement :

- critères visuels ;
- critères acoustiques ;
- critères gustatifs et olfactifs et pollution chimique ;
- critères tactiles ;

Critères transversaux :

- critère d'interaction inter et intra spécifique (prédation notamment)

Soit 14 critères à prendre en compte.



## 6.3 Pourcentage de gestionnaires d'infrastructures consultés pour l'étude

Les gestionnaires d'infrastructure de transport en Hauts-de-France sont les suivants :

- Autoroutes : Sanef, Direction Interdépartementale des Routes (DIR) ;
- routes nationales : DIR ;
- routes départementales : les conseils départementaux suivants : 59, 62, 02, 80, 60 ;
- routes communales : toutes les communes ou établissement de coopération intercommunale compétent
- canaux : Voies Navigables de France (VNF) ;
- voies ferrées : SNCF réseaux.

Ont été contactés pour la présente étude :

DIR : Laurent Devroe et Michael Guenot ;

SNCF réseaux : Marine Le-Lay et Anne Petit ;

VNF : Thibaud Asset ;

CD 59 : Carole Ledda ;

CD 62 : Jérôme Bacquaert.

Le pourcentage de gestionnaire d'infrastructure contacté n'est pas forcément pertinent si l'on raisonne pour chaque gestionnaire communal ou intercommunal par exemple car il n'était pas utile de contacter chacune de ces structures. Par ailleurs, les voiries communales sont en général à faible trafic et ne posent pas de problème important de fractionnement dans la majorité des cas.

Sachant que des contacts ont été pris avec la DIR, le CD59, CD62, VNF et SNCF réseaux, la majorité des gestionnaires d'infrastructures de transport ont été contactés. En comptant les gestionnaires de voies communales comme une entité, et de voies départementales également ce sont donc 4 structures gestionnaires contactées (DIR, CD, VNF et SCNF) sur 6 (SANEF, DIR, communes, CD, VNF, SNCF) qui ont été contacté soit 67 % des gestionnaires consultés.



## 7 Conclusion

L'ensemble de ce travail a montré l'importance de prendre en compte l'ensemble des critères éco-éthologiques pour aborder la fonctionnalité d'un ouvrage de franchissement. Plus chacun de ces critères pris séparément sera optimal pour la survie des individus de chaque espèce, meilleure en sera la fonctionnalité écologique d'un ouvrage de franchissement d'infrastructure de transport.

Ce travail a montré toutefois les limites importantes de nos connaissances sur les capacités des espèces à supporter différents stress, obstacles, physiques ou sensoriels lors de leurs déplacements. Il s'agit là d'un énorme champ de recherche à explorer, tout particulièrement pour tout ce qui est lié aux caractéristiques des infrastructures de transport terrestre.

Nous avons vu qu'il existe tout de même un certain nombre de solutions techniques mais la plupart du temps, elles restent difficiles à mettre en œuvre, en raison de leurs coûts notamment mais surtout en raison du manque de politiques fortes et volontaristes pour la restauration des continuités écologiques. Enfin les contraintes fortes de sécurité routière rendent également difficile la réalisation d'aménagements lorsqu'ils n'ont pas été conçus lors de la création de l'infrastructure.

A ce titre, un travail important est à entreprendre pour proposer un catalogue de mesures correctives des fonctionnalités écologiques aux gestionnaires d'infrastructures qui traitent avec précision la question de la sécurité routière car ce sujet est souvent un frein aux actions à mettre en œuvre.

Cela a également montré qu'il était nécessaire de mieux comprendre comment les animaux franchissent les infrastructures en particulier la nuit. Pour des routes avec des trafics supérieurs à 10 000 véhicules jours, nous ne savons pas si la réduction du trafic nocturne peut leur permettre de franchir tout de même les voies. Nous avons de plus aujourd'hui la chance de disposer des moyens techniques nécessaires pour mettre cela en évidence. En effet, il est possible d'utiliser des caméras thermiques pour filmer en continu une infrastructure pendant plusieurs nuits et en l'associant à des logiciels spécifiques, nous pouvons distinguer automatiquement les déplacements linéaires des voitures des déplacements transversaux des animaux. Il est souhaitable de pouvoir mettre en place de tels dispositifs de manière systématique à l'avenir pour pouvoir proposer les aménagements les plus efficaces possibles pour la restauration des continuités écologiques.

Enfin, ce travail montre également l'importance de former les maîtres d'ouvrage d'infrastructures et les services instructeurs de dossiers d'aménagement sur ces sujets des continuités écologiques car l'enjeu le plus important est de privilégier systématiquement l'évitement des impacts lors de l'analyse de la séquence « éviter, réduire, compenser ». Lorsque l'évitement n'est pas possible, la réduction doit permettre de mettre en place des aménagements favorables à la continuité écologique pour limiter au maximum les risques de fragmentation. En tant que de besoin, des mesures compensatoires doivent également être prévues pour ne pas entraîner de pertes nettes sur ce critère de la continuité écologique.

## 8 Bibliographie

- ABBOTT, Isobel M., BUTLER, Fidelma et HARRISON, Simon, 2012. When flyways meet highways—the relative permeability of different motorway crossing sites to functionally diverse bat species. *Landscape and Urban Planning*. 2012. Vol. 106, n° 4, pp. 293–302.
- ALSACE NATURE, 2008. *Infrastructures et continuités écologiques—Etude méthodologique et application test en Alsace. Rapport d'étude au ministre d'État.*
- ASCENSÃO, Fernando et CAPINHA, César, 2017. Aliens on the Move: Transportation Networks and Non-native Species. In : *Railway Ecology*. Springer. pp. 65–80.
- BARBER, Jesse R., CROOKS, Kevin R. et FRISTRUP, Kurt M., 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in ecology & evolution*. 2010. Vol. 25, n° 3, pp. 180–189.
- BARRIENTOS, Rafael et BORDA-DE-ÁGUA, Luís, 2017. Railways as barriers for wildlife: current knowledge. In : *Railway Ecology*. Springer. pp. 43–64.
- BARRUETO, Mirjam, FORD, Adam T. et CLEVINGER, Anthony P., 2014. Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures. *Ecosphere*. 2014. Vol. 5, n° 3, pp. 1–19. article 27
- BENÍTEZ-LÓPEZ, Ana, ALKEMADE, Rob et VERWEIJ, Pita A., 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: a meta-analysis. *Biological conservation*. 2010. Vol. 143, n° 6, pp. 1307–1316.
- BERTHINUSSEN, Anna et ALTRINGHAM, John, 2012. Do bat gantries and underpasses help bats cross roads safely? *PloS one*. 2012. Vol. 7, n° 6, pp. e38775.
- BHARDWAJ, M., SOANES, K., STRAKA, T. M., LAHOZ-MONFORT, J. J., LUMSDEN, L. F. et VAN DER REE, R., 2017. Differential use of highway underpasses by bats. *Biological Conservation*. 2017. Vol. 212, pp. 22–28.
- BISSONETTE, John A. et ADAIR, William, 2008. Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. *Biological conservation*. 2008. Vol. 141, n° 2, pp. 482–488.
- BOONMAN, Martijn, 2011. Factors determining the use of culverts underneath highways and railway tracks by bats in lowland areas. *Lutra*. 2011. Vol. 54, n° 1, pp. 3–16.
- BOUCHER, M., 2010. *Fréquentation des passages fauniques par la petite faune. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement.* Université de Sherbrooke, Quebec, Canada.
- BROTONS, Lluís et HERRANDO, Sergi, 2001. Reduced bird occurrence in pine forest fragments associated with road proximity in a Mediterranean agricultural area. *Landscape and urban planning*. 2001. Vol. 57, n° 2, pp. 77–89.
- BRUDERER, Bruno, PETER, DIETER et STEURI, THOMAS, 1999. Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. *Journal of experimental biology*. 1999. Vol. 202, n° 9, pp. 1015–1022.



BUCHANAN, B. W., 2002. Observed and potential effects of artificial light on the behavior, ecology, and evolution of nocturnal frogs. In : *Conference Proceedings—Ecological Effects of Artificial Night Lighting*. Los Angeles, California, United States. 23 février 2002.

BUNKLEY, Jessie P., MCCLURE, Christopher JW, KLEIST, Nathan J., FRANCIS, Clinton D. et BARBER, Jesse R., 2015. Anthropogenic noise alters bat activity levels and echolocation calls. *Global Ecology and Conservation*. 2015. Vol. 3, pp. 62–71.

CARSIGNOL, J., BILLON, V., CHEVALIER, D., LAMARQUE, F., LANSIART, M., OWALLER, M., JOLY, P., CUENOT, E., THIEVENT, P. et FOURNIER, P., 2005. Aménagements et mesures pour la petite faune. *Guide technique. Sétra (service d'études techniques des routes et autoroutes)*. Bagneux Cedex, France. 2005. pp. 264.

CARSIGNOL, Jean, 2011. Fragmentation et Aménagements spécifiques pour la Trame Verte et Bleue : Passage à faune : prise en compte du contexte local, conception, efficacité. *Journée d'échange Groupe Trame verte et bleue (TVB)*. Présentation orale. Fédération des Parcs Naturels Régionaux de France. 9 mai 2011.

CDC BIODIVERSITÉ et ASSOCIATION NATIONALE POUR LA PROTECTION DU CIEL ET DE L'ENVIRONNEMENT NOCTURNES, 2015. Eclairage du 21ème siècle et biodiversité. Pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement. *Les cahiers de Biodiv'2050 : Comprendre*. juillet 2015. Vol. 6, pp. 72.

CEREMA EST, à paraître. *Préservation et restauration des continuités écologiques impactées par les infrastructures de transport - guide technique des passages à faune*.

CETE DE L'EST et ONEMA, 2013. 96: *Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques Cas de la faune piscicole*. Note d'information. Metz. Note d'information.

CHRISTENSEN, Morten, FJEDERHOLT, Esben T., BAAGØE, Hans J. et ELMEROS, Morten, 2016. Over or under the road? – Effectiveness of some bat road crossing mitigation measures. *IENE International Conference*. Lyon. 2 septembre 2016.

CLAIREAU, Fabien, BAS, Yves, PUECHMAILLE SÉBASTIEN, J., JULIEN, Jean-François, ALLEGRINI, Benjamin et KERBIRIOU, Christian, 2018. Bat overpasses: an insufficient solution to restore habitat connectivity across roads. *Journal of Applied Ecology*. 2018.

CLEVINGER, Anthony P., CHRUSZCZ, Bryan et GUNSON, Kari, 2001. Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology*. 2001. Vol. 38, n° 6, pp. 1340–1349.

CLEVINGER, Anthony P. et HUIJSER, Marcel P., 2011. *Wildlife crossing structure handbook: design and evaluation in North America*.

CLEVINGER, Anthony P. et WALTHO, Nigel, 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*. 2000. Vol. 14, n° 1, pp. 47–56.

CLEVINGER, Anthony P. et WALTHO, Nigel, 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological conservation*. 2005. Vol. 121, n° 3, pp. 453–464.

CLEVINGER, Anthony P., 2005. Conservation value of wildlife crossings: measures of performance and research directions. *Gaia-Ecological Perspectives for Science and Society*. 2005. Vol. 14, n° 2, pp. 124–129.

COLLECTIF FAUNISTIQUE DU RÉFÉRENTIEL, 2014. *Référentiel faunistique : Inventaire de la faune du Nord-Pas-de-Calais : Raretés, protections, menaces et statuts*. juin 2014. Conservatoire faunistique régional du Nord-Pas-de-Calais.

DANCHIN, Etienne, GIRLADEAU, Luc-Alain et CÉZILLY, Frank, 2005. *Écologie comportementale*. Dunod.

DARMAILLACQ, Anne-Sophie et LEVY, Frédéric, 2015. *Éthologie animale: une approche biologique du comportement*. Louvain-la-Neuve : De Boeck. ISBN 978-2-8041-9092-7.

DUPUIS-DESORMEAUX, Marc, DAVIDSON, Zeke, MWOLOLO, Mary, KISIO, Edwin, TAYLOR, Sam et MACDONALD, Suzanne E., 2015. Testing the prey-trap hypothesis at two wildlife conservancies in Kenya. *PloS one*. 2015. Vol. 10, n° 10, pp. e0139537.

DURLET, Pierre, BESSON, Sylvain, BOUCHARD, Julien, CHAPUT, Eric, GODREAU, Vincent et ZAKIN, Carole, 2009. Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux - retour d'expériences du programme LIFE ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée. . 2009.

DUTILLEUX, Guillaume et FONTAINE, Anaïs, 2015. *Bruit routier et faune sauvage*. Cerema. Rapport d'étude.

DUTILLEUX, Guillaume, 2007. *Bruit urbain et faune sauvage*. 2007. CEREMA.

EISENBEIS, Gerhard, 2002. Artificial night lighting and insects in Germany. In : *Ecological consequences of artificial night lighting*. Los Angeles, California, United States. 23 février 2002.

FAHRIG, Lenore, PEDLAR, John H, POPE, Shealagh E, TAYLOR, Philip D et WEGNER, John F, 1995. Effect of road traffic on amphibian density. . 1995. pp. 6.

FENSOME, Amy Grace et MATHEWS, Fiona, 2016. Roads and bats: a meta-analysis and review of the evidence on vehicle collisions and barrier effects. *Mammal review*. 2016. Vol. 46, n° 4, pp. 311–323.

FORD, Adam T. et CLEVINGER, Anthony P., 2010. Validity of the prey-trap hypothesis for carnivore-ungulate interactions at wildlife-crossing structures. *Conservation Biology*. 2010. Vol. 24, n° 6, pp. 1679–1685.

FORMAN, Richard TT, 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation biology*. 2000. Vol. 14, n° 1, pp. 31–35.

FRANCIS, Clinton D., ORTEGA, Catherine P. et CRUZ, Alexander, 2009. Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current biology*. 2009. Vol. 19, n° 16, pp. 1415–1419.

FROCHOT, Bernard et LOBREAU, Jean-Pierre, 1987. Etude quantitative de l'effet de lisière sur les populations d'oiseaux: définitions et principes méthodologiques. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*. 1987. N° 4, pp. 7–15.

GAGNON, Jeffrey W., DODD, Norris L., OGREN, Kari S. et SCHWEINSBURG, Raymond E., 2011. Factors associated with use of wildlife underpasses and importance of long-term monitoring. *The Journal of Wildlife Management*. 2011. Vol. 75, n° 6, pp. 1477–1487.

GAGNON, Jeffrey W., THEIMER, Tad C., BOE, SUSAN, DODD, NORRIS L. et SCHWEINSBURG, Raymond E., 2007. Traffic volume alters elk distribution and highway crossings in Arizona. *The Journal of Wildlife Management*. 2007. Vol. 71, n° 7, pp. 2318–2323.

GANET, Anne, 2012. *Évaluation de l'efficacité des dispositifs de protection routière pour les amphibiens et identification des zones à enjeux dans le Haut-Rhin*. Bufo (Association pour l'étude et la protection des Amphibiens et des Reptiles d'Alsace).

GEORGIA FORESTRY COMMISSION, 2008. *Green buffers for screening and noise reduction*. Sustainable community forestry program.

GERBEAUD MAULIN, Frédérique et LONG, M., 2008. La fragmentation des milieux naturels 1-Etat de l'art en matière d'évaluation de la fragmentation des milieux naturels. *Rapport Direction Régionale de l'Environnement Provence Alpes Côte d'Azur*. 2008.

GLISTA, David J., DEVAULT, Travis L. et DEWOODY, J. Andrew, 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and urban planning*. 2009. Vol. 91, n° 1, pp. 1–7.

GLOYNE, Claire C. et CLEVINGER, Anthony P., 2001. Cougar Puma concolor use of wildlife crossing structures on the Trans-Canada highway in Banff National Park, Alberta. *Wildlife Biology*. 2001. Vol. 7, n° 2, pp. 117–124.

GROSMAN, Paul D., JAEGER, Jochen AG, BIRON, Pascale M., DUSSAULT, Christian et OUELLET, Jean-Pierre, 2011. Trade-off between road avoidance and attraction by roadside salt pools in moose: An agent-based model to assess measures for reducing moose-vehicle collisions. *Ecological Modelling*. 2011. Vol. 222, n° 8, pp. 1423–1435.

HACQUART, Alexandre, 2013. Influence des caractéristiques des ouvrages inférieurs sur leur fonctionnalité pour les chauves-souris – Synthèse de données internes au bureau d'étude BIOTOPE. *Chiroptères et infrastructures de transport terrestre*. Paris, La Défense. 14 février 2013.

HAFEN, Mark R. et BRINKMANN, Robert, 1996. Analysis of lead in soils adjacent to an interstate highway in Tampa, Florida. *Environmental Geochemistry and Health*. 1996. Vol. 18, n° 4, pp. 171–179.

HALFWERK, Wouter et SLABBEKOORN, Hans, 2009. A behavioural mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. *Animal behaviour*. 2009. Vol. 78, n° 6, pp. 1301–1307.

HUFFELDT, Nicholas Per et DABELSTEEN, Torben, 2013. Impact of a noise-polluted urban environment on the song frequencies of a cosmopolitan songbird, the Great Tit (*Parus major*), in Denmark. *Ornis Fennica*. 2013. Vol. 90, n° 2, pp. 94-102.

HUIJSER, Marcel P., MCGOWEN, Patrick Tracy, FULLER, Julie, HARDY, Amanda et KOCIOLEK, A., 2007. *Wildlife-vehicle collision reduction study: Report to congress*.

JACKSON, Scott D. et GRIFFIN, Curtice R., 2000. A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. *Wildlife and highways: seeking solutions to an ecological and socio-economic Dilemma*. *The Wildlife Society*. 2000. pp. 143–159.

JAEGER, Jochen AG, BOWMAN, Jeff, BRENNAN, Julie, FAHRIG, Lenore, BERT, Dan, BOUCHARD, Julie, CHARBONNEAU, Neil, FRANK, Karin, GRUBER, Bernd et VON TOSCHANOWITZ, Katharina Tluk, 2005. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological modelling*. 2005. Vol. 185, n° 2-4, pp. 329–348.

KATTI, Madhusudan et WARREN, Paige S., 2004. Tits, noise and urban bioacoustics. *Trends in Ecology & Evolution*. 2004. Vol. 19, n° 3, pp. 109–110.

KERTH, Gerald et MELBER, Markus, 2009. Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biological Conservation*. 2009. Vol. 142, n° 2, pp. 270–279.

KOCIOLEK, A. V., CLEVINGER, A. P., ST. CLAIR, C. C. et PROPPE, D. S., 2011a. Effects of road networks on bird populations. *Conservation Biology*. 2011. Vol. 25, n° 2, pp. 241–249.

KOCIOLEK, A. V., CLEVINGER, A. P., ST. CLAIR, C. C. et PROPPE, D. S., 2011b. Effects of road networks on bird populations. *Conservation Biology*. 2011. Vol. 25, n° 2, pp. 241–249.

KORNILEV, YURII V., PRICE, STEVEN J. et DORCAS, MICHAEL E., 2006. Between a rock and hard place: responses of Eastern Box Turtles (*Terrapene carolina*) when trapped between railroad tracks. *Herpetological Review*. 2006. Vol. 37, n° 2, pp. 145–148.

KRUEGER, William C., LAYCOCK, William A. et PRICE, Donald A., 1974. Relationships of Taste, Smell, Sight, and Touch to Forage Selection. *Journal of Range Management*. 1974. Vol. 27, n° 4, pp. 258-262. DOI 10.2307/3896818.

LABAT, Didier, 2018. *Centre de ressources Trame verte et bleue* [en ligne]. 2018. [Consulté le 5 juin 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.trameverteetbleue.fr>

LEBBORONI, Marco et CORTI, Claudia, 2006. Road killing of lizards and traffic density in central Italy. In : *Herpetologia Bonnensis: Proceedings of the 13th Ordinary General Meeting of Societas Europaea Herpetologica*. 2006. pp. 81–82.

LESIŃSKI, Grzegorz, SIKORA, Anna et OLSZEWSKI, Adam, 2011. Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. *European Journal of Wildlife Research*. 2011. Vol. 57, n° 2, pp. 217–223.

LESIŃSKI, Grzegorz, 2007. Bat road casualties and factors determining their number. *Mammalia*. 2007. Vol. 71, n° 3, pp. 138–142.

LITTLE, Stuart J., HARCOURT, Robert G. et CLEVINGER, Anthony P., 2002. Do wildlife passages act as prey-traps? *Biological Conservation*. 2002. Vol. 107, n° 2, pp. 135–145.

LUCAS, Priscila Silva, GOMES DE CARVALHO, Ramon et GRILO, Carla, 2017. Railway Disturbances on Wildlife: Types, Effects, and Mitigation Measures. In : *Railway ecology*. Springer International Publishing. pp. 81-99. ISBN 978-3-319-57495-0.

MATA, C., HERVÁS, I., HERRANZ, J., SUAREZ, F. et MALO, J. E., 2005. Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. *Biological Conservation*. 2005. Vol. 124, n° 3, pp. 397–405.

MATA ESTACIO, Cristina, HERVÁS BENGOCHEA, Israel, HERRANZ BARRERA, Jesús, SUÁREZ CARDONA, Francisco, ARRAZOLA, Malo et ESTEBAN, Juan, 2003a. Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in Northwest Spain. In : *Proceedings of the 2003 International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC : Irwin CL, Garrett P, McDermott KP. 2003. pp. 265-276.

MATA ESTACIO, Cristina, HERVÁS BENGOCHEA, Israel, HERRANZ BARRERA, Jesús, SUÁREZ CARDONA, Francisco, ARRAZOLA, Malo et ESTEBAN, Juan, 2003b. Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in Northwest Spain. In : *Proceedings of the 2003 International Conference on*

*Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC : Irwin CL, Garrett P, McDermott KP. 2003. pp. 265-276.

MAURER, Roland, 2016. *Eco-éthologie : évolution phylogénétique des comportements - Cours de 2ème et 3ème année du Baccalauréat universitaire en psychologie - Année académique 2016-2017*. 2016.

MAZUER, Pierre, 2018. *Colonisation par la végétation des passages sous les infrastructures – Étude de 10 ouvrages présentant des sections d'ouverture de 16 à 120 m<sup>2</sup> -*. janvier 2018. Cerema Est.

MCDONALD, Wayne et ST CLAIR, Colleen Cassady, 2004. Elements that promote highway crossing structure use by small mammals in Banff National Park. *Journal of Applied Ecology*. 2004. Vol. 41, n° 1, pp. 82–93.

MÉRAL, Philippe et PESCHE, Denis, 2016. *Les services écosystémiques* [en ligne]. [Consulté le 12 novembre 2018]. ISBN 978-2-7592-2469-2. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/les-services-ecosystemiques--9782759224692.htm>

MERRIAM, Gray, KOZAKIEWICZ, Michal, TSUCHIYA, Etsuko et HAWLEY, Karen, 1989. Barriers as boundaries for metapopulations and demes of *Peromyscus leucopus* in farm landscapes. *Landscape Ecology*. 1989. Vol. 2, n° 4, pp. 227–235.

NG, Sandra J., DOLE, Jim W., SAUVAJOT, Raymond M., RILEY, Seth PD et VALONE, Thomas J., 2004. Use of highway undercrossings by wildlife in southern California. *Biological Conservation*. 2004. Vol. 115, n° 3, pp. 499–507.

NOWICKI, François, 2016. *Chiroptères et infrastructures de transport*. CEREMA. Références.

ORROCK, John L., DANIELSON, Brent J., BURNS, Molly J. et LEVEY, Douglas J., 2003. Spatial ecology of predator–prey interactions: corridors and patch shape influence seed predation. *Ecology*. 2003. Vol. 84, n° 10, pp. 2589–2599.

PAPOUCHIS, Christopher M., SINGER, Francis J. et SLOAN, William B., 2001. Responses of desert bighorn sheep to increased human recreation. *The Journal of wildlife management*. 2001. pp. 573–582.

PERCSY, Christiane, 2005. *Les batraciens sur nos routes*. Brochure technique n°1 (deuxième édition).

PERIS, S. J. et PESCADOR, M., 2004. Effects of traffic noise on passerine populations in Mediterranean wooded pastures. *Applied acoustics*. 2004. Vol. 65, n° 4, pp. 357–366.

POOT, Hanneke, ENS, Bruno, DE VRIES, Han, DONNERS, Maurice, WERNAND, Marcel et MARQUENIE, Joop, 2008. Green Light for Nocturnally Migrating Birds. *Ecology and Society* [en ligne]. 8 décembre 2008. Vol. 13, n° 2. [Consulté le 13 novembre 2018]. DOI 10.5751/ES-02720-130247. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art47/main.html>

POPP, J. N. et BOYLE, S. P., 2017. Railway ecology: Underrepresented in science? *Basic and applied ecology*. 2017. Vol. 19, pp. 84–93.

RAEVEL, P. et LAMIOT, F., 1998. Incidences de l'éclairage artificiel des infrastructures routières sur les milieux naturels. In : *Strasbourg, France: Direction environnement, énergie et déchets*. Strasbourg. 30 septembre 1998.



REIJNEN, R. et FOPPEN, R., 2006. Impact of road traffic on breeding bird populations. In : *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 255-274. Environmental Pollution. [Consulté le 22 août 2018]. ISBN 978-1-4020-4504-2. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/1-4020-4504-2\\_12](https://doi.org/10.1007/1-4020-4504-2_12)

REIJNEN, Rien, FOPPEN, Ruud et MEEUWSEN, Henk, 1996. The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. *Biological conservation*. 1996. Vol. 75, n° 3, pp. 255–260.

REIJNEN, Rien et FOPPEN, Ruud, 1995. The Effects of Car Traffic on Breeding Bird Populations in Woodland. IV. Influence of Population Size on the Reduction of Density Close to a Highway. *Journal of Applied Ecology*. 1995. Vol. 32, n° 3, pp. 481-491. DOI 10.2307/2404646.

ROSELL, C., FERNANDEZ-BOU, M., COLOMER, M., NAVAS, F., FLAQUER, C., BAS, M., LAJE, M. et BORONAT, C., 2016. Bats and invertebrates provide evidence of ecoducts'role as key elements of the Green Infrastructure. *IENE International Conference*. Lyon. 2 septembre 2016.

ROUÉ, Sébastien et GUILLAUME, Cédric, 2006. Étude menée sur l'impact d'un projet routier sur une population de Grands rhinolophes en Haute-Saône. In : *Actes des 2èmes Rencontres Chiroptères Grand Est*. Maison du Parc Saint-Brisson (Nièvre) : Revue scientifique Bourgogne Nature - Hors-série n°1. 2006. pp. 132–140.

SANTOS, Sara Maria, CARVALHO, Filipe et MIRA, Antonio, 2017. Current Knowledge on Wildlife Mortality in Railways. In : *Railway ecology*. Springer International Publishing. pp. 11-22. ISBN 978-3-319-57495-0.

SAWAYA, Michael A., CLEVINGER, Anthony P. et KALINOWSKI, Steven T., 2013. Demographic connectivity for ursid populations at wildlife crossing structures in Banff National Park. *Conservation Biology*. 2013. Vol. 27, n° 4, pp. 721–730.

SEMLITSCH, Raymond D, 2003. *Amphibian conservation*. Washington, D.C. : Smithsonian Books. ISBN 978-1-58834-119-8.

SETRA / CGDD, 2011. Aménagements pour la faune sauvage. *Note d'information*. 2011. N° 95, pp. 29.

SETRA, CETE DE L'EST et CETE NORMANDIE-CENTRE, 2009. Chiroptères et infrastructures de transports terrestres - Menace et actions de préservatoïn. *Note d'information*. 2009. N° 91, pp. 22.

SÉTRA, 1993. *Passage pour la grande faune. Guide technique*.

SETRA, 2006. Routes et passages à faune - 40 ans d'évolution. . 2006. pp. 57.

SETRA, 2007. *Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport : Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions*. Rapport COST 341. Bagnaux.

SIBLET, Jean-Philippe, 2008. *Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique*. Rapport MNHN-SPN/MEEDDAT.

SWADDLE, John P. et PAGE, Laura C., 2007. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution. *Animal Behaviour*. 2007. Vol. 74, n° 3, pp. 363–368.

TESTUD, Guillaume et MIAUD, Claude, 2018. From Effects of Linear Transport Infrastructures on Amphibians to Mitigation Measures. In : *Reptiles and Amphibians*. IntechOpen.

TREMBLAY, Marie A. et ST CLAIR, Colleen C., 2009. Factors affecting the permeability of transportation and riparian corridors to the movements of songbirds in an urban landscape. *Journal of Applied Ecology*. 2009. Vol. 46, n° 6, pp. 1314–1322.

TROMBULAK, Stephen C. et FRISSELL, Christopher A., 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation biology*. 2000. Vol. 14, n° 1, pp. 18–30.

VAN LEEUWEN, Casper H. A., 2018. Internal and External Dispersal of Plants by Animals: An Aquatic Perspective on Alien Interference. *Frontiers in Plant Science* [en ligne]. 13 février 2018. Vol. 9. [Consulté le 11 novembre 2018]. DOI 10.3389/fpls.2018.00153. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5816930/>

VANAPPELGHEM, Cédric, SANTUNE, Vincent, SPYCHALA, Laurent, CHEYREZY, Thomas et DAMOY, Vincent, 2008. *Etude sur la mortalité de la grande faune par noyade dans les canaux du Nord-Pas-de-Calais - Programme d'étude 2007*. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais.

VANDEVELDE, J.-C. et PENONE, Caterina, 2017. Ecological Roles of Railway Verges in Anthropogenic Landscapes: A Synthesis of Five Case Studies in Northern France. In : *Railway Ecology*. Springer. pp. 261–276.

VANPEENE-BRUHIER, Sylvie et BERNE, Benjamin, 2005. Fréquentation par la petite faune de passages aménagés de l'Axe de Bièvre (Isère): méthode de suivi et résultats. In : *4ème rencontres « route et petite faune sauvage*. CEMAGREF St Martin d'Hères. 21 septembre 2005. pp. 13.

VIGNON, Vincent et WALCZAK, Stéphane, 1999. Réhabilitation d'un passage faune sous infrastructures jumelées (TGV et Autoroute) jusque-là non utilisé par les ongulés sauvages (Cerf, Chevreuil, Sanglier). Le cas du Passage de la Bête, tron commun des autoroutes A10/A11. In : *Actes des 3e rencontres « Routes et faune sauvage »*. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ; Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. juillet 1999. pp. 460. ISBN 2-11-091654-0.

VIGNON, Vincent, 1999. Le cerf et l'aménagement du territoire dans le sud ouest de l'Île-de-France. In : *Actes des 3èmes rencontres « routes et faune sauvage »*. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. 1999. pp. 337-342.

VITOUSEK, Peter M., MOONEY, Harold A., LUBCHENCO, Jane et MELILLO, Jerry M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*. 1997. Vol. 277, n° 5325, pp. 494–499.

WALLONIE SERVICE PUBLIC, 2016. *Concilier faune sauvage et éclairage extérieur* [en ligne]. 2016. SPW. [Consulté le 13 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://biodiversite.wallonie.be/servlet/Repository/mu06.pdf?ID=35203>

WARREN, Paige S., KATTI, Madhusudan, ERMANN, Michael et BRAZEL, Anthony, 2006. Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal behaviour*. 2006. Vol. 71, n° 3, pp. 491–502.

WHITTINGTON, Jesse, ST. CLAIR, Colleen Cassady et MERCER, George, 2004. Path tortuosity and the permeability of roads and trails to wolf movement. *Ecology and Society*. 2004. Vol. 9, n° 1.

WOLTZ, Hara W., GIBBS, James P. et DUCEY, Peter K., 2008. Road crossing structures for amphibians and reptiles: informing design through behavioral analysis. *Biological Conservation*. 2008. Vol. 141, n° 11, pp. 2745–2750.

WRAY, Stephanie, REASON, Paola, WELLS, David, CRESSWELL, Warren et WALKER, Hannah, 2005. Design, installation, and monitoring of safe crossing points for bats on a new highway scheme in Wales. In : *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. North Carolina State University, Raleigh : North Carolina State University, Raleigh. 2005. pp. 369-379.

YANES, Miguel, VELASCO, José M. et SUÁREZ, Francisco, 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological conservation*. 1995. Vol. 71, n° 3, pp. 217–222.

ZEHETNER, Franz, ROSENFELLNER, Ulrike, MENTLER, Axel et GERZABEK, Martin H., 2009. Distribution of Road Salt Residues, Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons across a Highway-Forest Interface. *Water, Air, and Soil Pollution*. 1 mars 2009. Vol. 198, n° 1-4, pp. 125-132. DOI 10.1007/s11270-008-9831-8. Automobile traffic pollutes roadside environments with a range of contaminants. In this study, we investigate the distribution patterns of different contaminant classes in topsoils across a highway-forest interface north-east of Vienna, Austria, in order to assess spatial pollutant distribution and evaluate the filtering effect of roadside forests. We collected soil samples along transects perpendicular to the highway, and analyzed the soils for road salt residues (Na), total and mobile heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr) as well as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Roadside soil pollution was highly heterogeneous. All contaminants followed an exponential-like decrease with distance from the road, reaching background levels at 5 to 10 m from the road curb. Traffic-born heavy metals in the immediate roadside zone tended to be more mobile than heavy metals of predominantly geogenic origin at greater distances from the road; the presence of road salt residues could have contributed to the elevated heavy metal mobility near the road. The forest vegetation acted as filter for PAHs shown by a sharp concentration increase at the forest edge. PAHs are likely transported with airborne soot particles that are scavenged by the wax-coated coniferous needles at our study site.

ZURCHER, Arthur A., SPARKS, Dale W. et BENNETT, Victoria J., 2010. Why the bat did not cross the road? *Acta chiropterologica*. 2010. Vol. 12, n° 2, pp. 337–340.