Sétra service d'Études techniques des routes et autoroutes

septembre 2007

Rapport **COST 341** - Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport

Faune et trafic

Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions

Ce document est la traduction française du manuel européen publié, en 2003, en version anglaise sous le titre "*Wildlife and Traffic : A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*".

Ce manuel avait été élaboré sur la base de la connaissance accumulée par une large gamme d'experts des pays participants à l'action de coopération européenne sur la fragmentation de l'habitat causée par les infrastructures de transport (COST 341 Action) et par de nombreux échanges internationaux. Son objectif principal est d'aider les planificateurs et les concepteurs à réduire les effets barrière et fragmentation des infrastructures de transports tels les routes, les voies ferrés et les voies navigables.

Ce document donne des conseils pratiques aux intervenants impliqués dans les phases de planification, de construction et d'entretien. Il guide le lecteur chapitre après chapitre à travers ces différentes phases : les premières étapes de planification stratégique, l'intégration des routes dans le paysage, l'utilisation de mesures de réduction comme les passages à faune supérieur ou inférieur, les mesures compensatoires, et enfin les modalités de surveillance et d'évaluation des solutions choisies.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
ministère de l'Écologie du Développement et de l'Aménagement durables

Page laissée blanche intentionnellement

Rapport **COST 341** - Fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport

Faune et trafic

Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions

Traduction assurée par le Sétra

Titre du document original publié en 2003 :

Wildlife ant Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Desining Solutions.

Auteurs :

Iuell Bjørn (N) Coordinateur
Bekker Hans G.J. (NL)
Cuperus Ruud (NL)
Dufek Jiri (CZ)
Fry Gary (N)
Hicks Claire (UK)
Hlaváč Vaclav (CZ)
Keller Verena (CH)
Rosell Carme (E)
Sangwine Tony (UK)
Tørsløv Niels (DK)
Wandall Barbara le Maire (DK)

Collection les rapports

Document édité par le Sétra dans la collection « les rapports ».
Cette collection regroupe les rapports d'études, de recherche, d'expérimentation, d'expériences.

Avis juridique important

La Commission européenne n'assume aucune responsabilité quant aux informations figurant dans ce manuel, qui ne reflètent pas nécessairement son opinion officielle. Tout a été mis en œuvre pour que ces informations soient détaillées, complètes, exactes et actualisées à la date de rédaction. Toutefois, la Commission ne peut le garantir. Ni elle ni aucune personne ou entreprise agissant en son nom n'est responsable du contenu de ce manuel ni de l'utilisation qui pourrait en être faite.

Déclaration concernant les droits d'auteur

Les utilisateurs sont autorisés à reproduire ce manuel pour un usage personnel et non commercial d'informations soumises au droit d'auteur. Les citations limitées de ce document sont également possibles sans autorisation préalable, moyennant mention de la source. En revanche, l'utilisation des informations soumises au droit d'auteur, telles que les photographies et les figures d'autres documents, est interdite sans l'autorisation préalable des auteurs.

Recherches et rapport commandés par

Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique

Rue de la Loi 200

B -1049 Bruxelles

Tél. : +32 2 2968254 Télécopie : +32 2 2693765

Pour plus de renseignements sur COST Transport, consultez le site web : http://www.cordis.lu/cost-transport/home.html

Remerciements

Philippe Stalins, Magnus Carle, Jan Spousta (responsables scientifiques de COST 341)
Dessins de Wendy von Gijssel, Bureau Waardenburg bv, Pays-Bas

Pour la version originale :
Mise en page : Graphic Centre, Statens Vegvesen et British Highways Agency
Conception graphique et réalisation : PS Graphics et Halcrow Group Ltd., Worcester, Royaume-Uni

Photo de couverture : passage à faune supérieur Wœste Hœve au-dessus de l'A50 entre Arnhem et Apeldoorn, aux Pays-Bas. Il sert de lien écologique entre tous types d'habitats (photographie de Luchtfotografie Slagboom en Peeters).

Avant-propos

« Le territoire est soumis à la demande permanente de nouvelles infrastructures de transport : entre 1990 et 1998, près de 33 000 hectares, soit environ 10 hectares de terres par jour ont été pris dans l'Union européenne, pour la construction routière... Nombreuses sont les zones du territoire européen qui sont extrêmement fragmentées par les infrastructures de transport. La taille moyenne des unités spatiales contiguës, non traversées par une grande infrastructure de transport, varie entre environ 20 km² en Belgique et près de 600 km² en Finlande, avec une moyenne dans l'Union européenne d'environ 130 km². » (AEE, 2001).

L'un des changements les plus radicaux qui se soit produit dans le paysage européen, au cours des derniers siècles, a été la création et l'élargissement des réseaux d'infrastructure. Vers la fin du XX^{e} siècle, le développement des principaux réseaux ferroviaires et routiers s'est ralenti, mais n'a pas cessé. Parallèlement, un réseau de plus en plus dense de routes secondaires (forestières, par exemple) et de voies ferrées s'est étendu dans les régions les plus reculées d'Europe. Les réseaux de canaux, de conduites, d'électricité et de téléphone se sont ajoutés au morcellement croissant des zones naturelles, tandis que l'urbanisation a rapidement étendu les zones artificielles. Les chercheurs, les associations de protection de la nature et les autorités ont exprimé leurs préoccupations concernant les effets de la fragmentation. Des études ont mis en évidence les risques associés à la réduction de la taille des dernières parcelles d'habitats, et par conséquence, à l'augmentation des effets de lisière et de barrière. Ce n'est qu'au cours de la dernière décennie qu'une collaboration internationale continue a permis d'évaluer les connaissances sur les effets généraux de la fragmentation dus aux infrastructures de transport, et en particulier, sur les moyens de les éviter et de les atténuer.

Le projet COST 341, lancé en 1998, constitue une de ces initiatives. Ce manuel est le résultat direct des efforts concertés des 16 pays qui y ont participé. Il apporte des recommandations générales pour une réduction des effets de fragmentation de l'habitat dus aux infrastructures de transport et prend pleinement en compte les différences importantes existantes en Europe, en matière d'habitat et d'infrastructures de transport.

Lorsque la nécessité d'atténuer les effets de la fragmentation conduit à la construction d'écoponts et autres passages à faune, les investissements requis peuvent être considérables. Si des mesures s'imposent également sur une route existante, l'exécution du projet peut s'avérer complexe et de nombreux organismes éprouveront des difficultés à mobiliser les ressources appropriées. Ce constat souligne combien il est important d'éviter avant tout la fragmentation, en laissant les habitats intacts autant que possible ou en contribuant à leur restauration. Les administrations et les organismes chargés des infrastructures doivent maintenir des liens étroits entre eux et avec les autorités locales pour s'assurer que les habitats à préserver restent intacts et que l'efficacité des passages à faune n'est pas réduite par d'autres ouvrages ou aménagements. Les participants de COST 341 et les membres du groupe d'experts d'Infra-Eco Network Europe ont apporté une contribution importante aux connaissances et aux bonnes pratiques. Je suis convaincu que leur travail se poursuivra avec succès et qu'il permettra d'améliorer sensiblement notre approche de l'intégrité de l'habitat, en évitant ou en atténuant toute future fragmentation du territoire.

« *Umstø unar skapa* alt » (Les conditions de vie font tout) (Gaffin, 1996)

Anders HH Jansson
Président
Association mondiale de la route (AIPCR)
Comité du développement durable et du transport routier

Page laissée blanche intentionnellement

Table des matières

Ch. 1 Introduction

Ch. 2 Conseils d'utilisation

Ch. 3 Effets des infrastructures sur la nature

3.1 Définition de la fragmentation des habitats

3.2 Effets écologiques des infrastructures de transport

3.3 Effets écologiques primaires

3.4 Effets écologiques secondaires

3.5 Perspectives en matière d'écologie du paysage

Ch. 4 Conception de solutions intégrées

4.1 Comment adresser le problème de la fragmentation des habitats

4.2 Prise en compte précoce de la fragmentation des habitats

4.3 Mise au point de solutions intégrées

Ch. 5 Outils de planification

5.1 Planification destinée à éviter et à réduire la fragmentation

5.2 Phase d'élaboration du plan (EES)

5.3 Phase d'élaboration du projet (EIE)

5.3.1 champs de l'EIE

5.3.1 paramètres de l'EIE

5.4 Évaluation de l'effet de fragmentation de la nouvelle infrastructure et EIE

5.4.1 définition de la zone d'étude

5.4.2 phase d'inventaire

5.4.3 procédure d'évaluation écologique

5.4.4 procédure itérative de localisation et de conception de projet

5.4.5 examen des variantes

5.4.6 conception du programme de suivi

5.5 Ouvrages existants

5.5.1 amélioration du bilan écologique et résolution des conflits

5.5.2 cartographie des obstacles

5.5.3 identification et cartographie des points de conflit

5.5.4 recensement et description des points de conflit

5.5.5 recommandations de mesures et établissement de priorités

5.5.6 modération du trafic

5.5.7 déclassement de l'infrastructure

5.6 Réaménagement des routes et voies ferrées

5.7 Coûts et avantages

5.7.1 description des coûts

5.7.2 description des avantages

5.7.3 investissements réduits dans une infrastructure existante

5.7.4 longévité des solutions

5.8 Recommandations

Ch. 5 Intégration d'une infrastructure linéaire de transport dans le paysage

Ch. 6 Intégration d'une infrastructure linéaire de transport dans le paysage

6.1 Introduction

6.1.1 effets possibles de l'aménagement d'une infrastructure sur le relief

6.1.2 approche multidisciplinaire

6.1.3 principes d'atténuation

6.2 Tracé

6.2.1 cas des paysages accidentés

6.2.2 cas des paysages plats

6.2.3 franchissement de vallées

6.2.4 franchissement de cours d'eau

6.2.5 échangeurs (jonctions) et giratoires

6.3 Terrassements : déblais et remblais

6.3.1 emplacement

6.3.2 ruptures de pente

6.3.3 terrasses

6.3.4 affleurements rocheux

6.3.6 nivellement de déblais et remblais

6.4 Solutions de conception

6.4.1 tunnels

6.4.2 utilisation de la végétation

6.5 Recommandations

Ch. 7 Passages à faune et autres solutions techniques

7.1 Approche générale

7.1.1 comment lire ce chapitre

7.1.2 types de mesures et principales fonctions

7.1.3 passages à faune dans le cadre de la perméabilité générale du paysage

7.1.4 choix des mesures appropriées

7.1.5 densité et emplacement des passages à faune

7.1.6 adaptation des ouvrages à l'usage animal

7.1.7 résolution de problèmes sur les routes et voies ferrées existantes

7.1.8 entretien et suivi des mesures d'atténuation

7.1.8 entretien et suivi des mesures d'atténuation

7.2 Réduction de l'effet de barrière : passages supérieurs

7.2.1 passages à faune supérieurs et ponts verts

7.2.2 ponts modifiés : passages supérieurs multifonctionnels

7.2.3 passages supérieurs sur canopée

7.3 Réduction de l'effet de barrière : passages inférieurs

7.3.1 passages sous viaducs et ponts

7.3.2 passages inférieurs pour la grande et moyenne faune
7.3.3 passages inférieurs modifiés et à usage mixte
7.3.4 passages inférieurs pour la petite faune
7.3.5 passages hydrauliques modifiés à l'usage des animaux terrestres
7.3.6 passages pour poissons et autres animaux aquatiques
7.3.7 passages pour batraciens
7.4 Prévention et réduction de la mortalité animale
7.4.1 clôtures
7.4.2 répulsifs
7.4.3 panneaux de signalisation de danger
7.4.4 systèmes d'avertissement avec capteurs
7.4.5 adaptation de la végétation adjacente à l'infrastructure
7.4.6 adaptation de l'infrastructure
7.5 Réduction de l'effet de barrière et de la mortalité : autres mesures
7.5.1 modification de la largeur de la chaussée et réduction de la densité de trafic
7.5.2 déclassement de l'infrastructure
Ch. 8 Compensation écologique
8.1 Concept de compensation écologique
8.1.1 compensation écologique en cas de perte ou de dégradation de l'habitat
8.1.2 compensation dans le cadre de la protection de la nature
8.1.3 portée des mesures compensatoires
8.2 Obligations légales
8.2.1 réglementations et législation internationale
8.3 compensation écologique dans les projets d'infrastructure
8.3.1 quand compenser les impacts écologiques
8.3.2 responsabilité de mise en œuvre des mesures compensatoires
8.3.3 création d'habitat
8.3.4 déplacement de l'habitat
8.3.5 amélioration de l'habitat
8.3.6 compensation identique/différente et sur/hors site
8.3.7 compensation durable
8.4 Banques de compensation écologique
Ch. 9 Suivi et évaluation
9.1 Principes généraux de suivi
9.1.1 nécessité et objectifs du suivi
9.1.2 définition et types de suivi
9.1.3 considérations pratiques
9.2 Conception d'un programme de suivi
9.2.1 de la conception à la réalisation
9.2.2 étapes de la conception
9.3 Contrôle qualité pendant la phase de construction

9.4 Méthodes de suivi de la mortalité animale et de l’utilisation des passages à faune

9.4.1 enregistrement de la mortalité sur route et voie ferrée

9.4.2 enregistrement du pourcentage de franchissements réussis

9.4.3 suivi de l’utilisation des passages à faune par bandes de sable ou de poudre de marbre

9.4.4 suivi de l’utilisation des passages à faune par pièges à encre

9.4.5 suivi de l’utilisation des passages à faune par pièges photographiques et vidéo

Ch. 10 Annexes

1. **Annexe 1 : Glossaire**
2. **Annexe 2 : Abréviations**
3. **Annexe 3 : Participants**
4. **Annexe 4 : Liens Internet utiles**
5. **Annexe 5 : Autres manuels et recommandations**

1 Introduction

Le problème

La construction d'infrastructures de transport a pour effet, en plus de la mortalité directe de la faune par collision, la perte et la dégradation des habitats adjacents, leur pollution, la modification du microclimat et des conditions hydrologiques, ainsi que l'accroissement des activités humaines dans ces zones. Tous ces éléments provoquent une perte et une perturbation considérables des habitats naturels. En outre, les routes, les voies ferrées et les voies navigables créent des obstacles aux mouvements de nombreux animaux, obstacles qui peuvent isoler des populations et les conduire au déclin à long terme.

La fragmentation des habitats (la division des habitats naturels et des écosystèmes en parcelles plus petites et plus isolées) est reconnue mondialement comme l'une des plus grandes menaces qui pèsent sur la préservation de la diversité biologique. Elle est essentiellement due aux modifications dans l'aménagement du territoire. La construction et l'utilisation des infrastructures de transport sont les principaux facteurs contribuant à ce changement en créant des barrières entre les fragments d'habitat.

À mesure que les réseaux de transport se sont agrandis, l'impact de la fragmentation des habitats est devenu un problème croissant. La hausse continue de la mortalité animale sur les routes et les voies ferrées est un indicateur bien connu de ce problème. Par ailleurs, les obstacles à l'origine de la fragmentation ont des effets à long terme qui ne sont pas faciles à détecter.

Pour réaliser une infrastructure de transport respectueuse de l'environnement, il faut atténuer ces effets négatifs sur la faune et la flore par une approche holistique intégrant les facteurs sociaux et écologiques qui influent sur le paysage. L'un des défis auxquels sont confrontés les écologues, les aménageurs et les ingénieurs est donc de mettre au point des outils appropriés pour l'évaluation, la prévention et l'atténuation des impacts d'une infrastructure. Tel a été l'objectif du projet COST 341, traitant des questions liées à *La fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport.*

.

Figure 1.1 - Les infrastructures de transport peuvent fragmenter l'habitat, comme le montre cet exemple sur l'échangeur de l'A36, dans la forêt de la Hardt, en Alsace, Haut-Rhin (photographie de J. Carsignol).

Figure 1.2 - La fragmentation des habitats peut être atténuée grâce à des passages à faune, comme ce passage supérieur sur l'autoroute A36, en Alsace (photographie de J. Carsignol).

COST 341

Les représentants de près de 20 pays européens, au sein d'Infra Eco Network Europe (IENE) ont souligné la nécessité d'une coopération et d'un échange d'informations au niveau européen dans le domaine de la fragmentation des habitats due aux infrastructures.

L'IENE a également reconnu la nécessité d'un soutien des autorités européennes. Ce constat a abouti à l'élaboration du projet COST 341, lancé en 1998, pour traiter les questions liées à *La fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport.*

Membres de COST 341

16 pays et une ONG ont participé officiellement au COST 341

- Autriche
- Belgique
- Chypre
- Danemark
- Espagne
- France
- Hongrie
- Norvège
- Pays-Bas
- Portugal
- Roumanie
- Suède
- Suisse
- République d'Irlande
- République Tchèque
- Royaume-Uni
- Centre européen pour la préservation de la nature

Productions de COST 341

- Rapports nationaux sur l'état de l'art
- Rapport européen
- Base de données de la littérature et des projets
- Manuel européen d'identification des conflits et de conception de solutions

Le rapport européen *COST 341 Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure: The European Review* (Trocmé *et al.*, 2003) offre une vue d'ensemble sur la portée et l'ampleur du problème de la fragmentation des habitats naturels due aux routes, aux voies ferrées et aux voies navigables en Europe. Il examine également les solutions actuellement mises en œuvre. C'est une synthèse des rapports nationaux sur l'état de l'art, dressés par les pays participants, dont la plupart sont publiés séparément dans chacun des pays. Le rapport européen et les rapports nationaux sont également disponibles sur CD-ROM. La **base de données** fournit des informations en ligne sur l'expertise européenne, la littérature, les projets en cours ou réalisés, ainsi qu'un glossaire de termes dans le domaine des infrastructures et de la fragmentation de l'habitat. Elle est consultable sur le site Internet de l'IENE (**www.iene.info**).

Le Manuel

Ce manuel a pour thème principal la réduction des barrières écologiques et des effets de fragmentation dus aux infrastructures de transport.

Il est essentiellement destiné aux personnes participant à la planification, à la conception, à la construction et à l'entretien des infrastructures (routes, voies ferrées, voies navigables), ainsi qu'aux décideurs aux niveaux national, régional et local. Il propose des solutions fondées sur les connaissances acquises par un grand nombre d'experts des pays participants et de contacts internationaux. Il conduit le lecteur, chapitre après chapitre, à travers les différentes étapes, depuis les premières phases d'élaboration du plan, en passant par l'intégration des routes dans le paysage, les mesures d'atténuation telles que les passages inférieurs et supérieurs, le domaine moins connu des mesures compensatoires, jusqu'aux différentes méthodes de suivi et d'évaluation des solutions retenues (voir chapitre 2 : Conseils d'utilisation).

Routes, voies ferrées et voies navigables

Comme le titre l'indique, les solutions proposées dans ce manuel ne concernent pas uniquement les routes, mais différents types d'infrastructures de transport. Les voies ferrées peuvent aussi avoir un impact important sur la nature et créer des obstacles, même si les réseaux et le trafic ferroviaires sont beaucoup moins denses que ceux des routes. Enfin, plusieurs pays européens possèdent de grands réseaux de voies navigables pour le transport, constitués par des cours d'eau naturels et des canaux artificiels. Mais ce sont les réseaux et le trafic routier qui représentent la plus grande menace pour la faune et la flore.

Bien que l'expression « infrastructures de transport » soit utilisée dans tout le manuel pour désigner les trois réseaux de transport, la plupart des exemples et des mesures décrits concernent les routes. Mais nombre d'entre eux sont également appropriés pour réduire l'impact des voies ferrées.

Mesures décrites

L'atténuation de la fragmentation de l'habitat due aux infrastructures de transport est un domaine de connaissance relativement nouveau, associant le génie civil et l'écologie. Les modalités d'implantation d'une infrastructure dans le paysage peuvent avoir d'importantes répercussions sur la faune et la flore. Ce manuel décrit les différents facteurs à prendre en compte pour la planification des axes de circulation et l'intégration des infrastructures dans le paysage. L'accent est mis sur la construction des passages à faune (passages supérieurs et inférieurs, conduits, canaux et ponts pour différentes espèces).

En raison des différences d'une part dans les traditions et d'autre part dans les contextes géographiques et écologiques, la conception des passages à faune et autres mesures d'atténuation varient d'un pays à l'autre. En conséquence, il existe peu de normes formelles généralisées concernant la conception, la construction et l'entretien des mesures d'atténuation en Europe. Jusqu'à présent, peu d'évaluations des mesures d'atténuation ont été réalisées. Il s'avère nécessaire de réaliser d'autres travaux, en particulier des études sur les effets des mesures au niveau des populations. Grâce à l'expérience et à l'évaluation de différents ouvrages, il sera possible d'améliorer les conceptions et enfin, d'élaborer des normes. Les échanges actuels de connaissances et d'expériences au sein et hors de l'Europe sont indispensables pour mettre au point ces nouvelles normes.

Réseaux nouveaux et existants

Bien que la fragmentation de l'habitat soit plus souvent prise en compte lors de la planification de nouvelles infrastructures, il reste de nombreux tronçons routiers et ferroviaires pour lesquels des mesures d'atténuation font cruellement défaut. Les effets des infrastructures existantes peuvent être modifiés par la construction de nouveaux ouvrages, augmentant ainsi la nécessité de mesures d'atténuation. Il faut donc envisager l'impact de l'ensemble du réseau d'infrastructures lors de la conception de mesures destinées à compenser la fragmentation de l'habitat.

Approche européenne

Ce manuel traite des nombreuses et diverses situations que l'on peut rencontrer en Europe. Il existe des différences importantes entre les pays selon les contextes culturels, politiques et scientifiques qui président à l'aménagement des infrastructures de transport aux niveaux local, régional et national. Une bonne solution dans un pays peut s'avérer moins efficace ou appropriée dans un autre. L'une des grandes difficultés rencontrées pendant la rédaction de ce manuel a donc été de prendre en compte toutes ces différences. L'équilibre entre les solutions générales de grande portée d'une part, et les solutions locales ou régionales, plus précises, d'autre part, n'a pas été facile à établir. Il existe déjà des manuels et recommandations plus spécifiques et plus détaillés en matière de transports dans la plupart des pays européens. Une sélection de ces ouvrages figure sur la liste des manuels et recommandations en annexe et sur la base de données du COST 341.

Dans ce contexte, il est important de faire remarquer qu'il n'y a pas de bonnes solutions à 100 %. Les recommandations fournies dans ce manuel se fondent sur les connaissances acquises par un grand nombre d'experts des pays participants et de contacts internationaux. Toutefois, il reste nécessaire d'adapter les mesures au contexte géographique, ainsi qu'aux besoins et aux possibilités spécifiques du site. Ce manuel ne remplace donc pas les experts locaux (écologues, aménageurs et ingénieurs) et doit être utilisé en association avec leurs conseils.

2 Conseils d’utilisation

2 Conseils d'utilisation

Comment consulter ce manuel ? Les effets de barrière et de fragmentation dus aux infrastructures peuvent être éliminés ou réduits de plusieurs façons et à différents stades de la construction et de l'exploitation. Les problèmes de fragmentation peuvent souvent être évités si les bonnes décisions sont prises dès les premières étapes de la planification. L'effet de barrière peut être réduit en intégrant l'infrastructure dans le paysage ou en construisant des points de franchissement sûrs pour la faune. Les infrastructures existantes doivent avoir pour objet l'amélioration de leur perméabilité et la défragmentation du paysage.

Les étapes de la vie d'une infrastructure (planification, exploitation et déclassement) sont généralement plus ou moins séparées et requièrent la participation et les compétences de différents professionnels. La structure de ce manuel permet de rechercher les informations souhaitées selon l'étape concernée. Sur chaque page intercalaire, figure l'étape de la vie d'une infrastructure dont traite le chapitre (voir figure 2.1). En première page de chaque chapitre, figure une table des matières. Enfin, chaque page porte en marge le numéro du chapitre.

Le **chapitre 3** décrit brièvement les différents impacts écologiques des infrastructures de transport : la perte d'habitat, les effets de barrière, la mortalité animale, la pollution et, thème principal de ce manuel, la fragmentation des habitats. Le **chapitre 4** expose les solutions intégrées et les mesures d'évitement de la fragmentation, et souligne l'importance d'une prise en compte précoce de la fragmentation des habitats dans les projets de construction d'infrastructures.

Les **chapitres 5 à 7** donnent des recommandations pour réduire la fragmentation lors des phases de planification, de conception, de construction et de mise en œuvre des infrastructures de transport.

Il n'est parfois pas possible d'éviter la fragmentation pendant la planification ni de pallier totalement les effets des infrastructures par des mesures d'atténuation particulières. Il faut alors envisager des mesures écologiques compensatoires. Ce point est abordé dans le **chapitre 8**.

Pour identifier les exemples de bonnes pratiques et donner les principales recommandations en la matière, il faut contrôler les différentes méthodes d'atténuation de la fragmentation des habitats. Le **chapitre 9** décrit en détail les modalités de suivi des résultats et aborde la question de l'entretien.

Les **annexes** comprennent : 1) un glossaire, 2) une explication des abréviations, 3) une liste des participants au projet, 4) les liens aux sites Internet utiles et 5) une liste d'autres manuels et recommandations sur le sujet.

Figure 2.1 – Étapes de la vie d'une infrastructure.

Ch. 1 Introduction

Sujet du manuel

Ch. 2 Conseils d'utilisation
Structure du manuel et mode de consultation

Ch. 3 Effets des infrastructures sur la nature

Définition de la fragmentation des habitats. Impacts écologiques des infrastructures de transport. Effets primaires et secondaires.

Ch. 4 Conception de solutions intégrées

Planification d'infrastructures nouvelles ou réaménagement d'infrastructures existantes. Questions liées à la faune et à la flore. Méthode de réduction de la fragmentation des habitats adoptée dans ce manuel.

Ch. 5 Outils de planification

Réduction de la fragmentation des habitats due aux infrastructures nouvelles et existantes pendant la phase de planification. Utilisation de l'évaluation environnementale stratégique et de l'étude d'impact sur l'environnement. Déclassement. Coûts et avantages.

Ch. 6 Intégration dans le paysage

Principales solutions d'intégration des infrastructures dans le paysage, privilégiant les facteurs qui réduisent la fragmentation des habitats.

Ch. 7 Passages à faune et autres solutions techniques

Choix et emplacement des mesures d'atténuation selon les espèces et les habitats concernés. Passages supérieurs, passages inférieurs, passages pour animaux aquatiques, passages à usage mixte et passages modifiés. Mesures pour éviter ou réduire la mortalité.

Ch. 8 Compensation écologique

Lorsque les mesures d'atténuation ne peuvent pas éviter les dommages écologiques ou qu'il n'est pas possible de les mettre en œuvre, les mesures compensatoires peuvent constituer l'ultime recours. Méthodes et exemples.

Ch. 9 Suivi et évaluation

Recommandations pour la conception de programmes de suivi et pour l'évaluation de l'efficacité des mesures. Description des différentes méthodes de suivi. Contrôle qualité.

Ch. 10 Annexes

1. Glossaire
2. Abréviations
3. Participants
4. Liens Internet utiles
5. Manuels et recommandations

2

3 Effets des infrastructures sur la nature

Table des matières

3.1 Définition de la fragmentation des habitats 21
3.2 Effets écologiques des infrastructures de transport 22
3.3 Effets écologiques primaires 22
3.4 Effets écologiques secondaires 28
3.5 Perspectives en matière d'écologie du paysage 28

3.1 Définition de la fragmentation des habitats

Les réseaux de transport divisent les habitats naturels en petites parcelles isolées et créent des obstacles entre les parcelles restantes. Ce phénomène peut avoir deux principaux effets sur les espèces : premièrement, il peut réduire la taille des parcelles d'habitat de telle sorte que les populations d'espèces importantes ne peuvent plus y vivre ; deuxièmement, il peut isoler les parcelles restantes de telle sorte que les individus ont peu de chances de se déplacer de l'une à l'autre.

Dans cette situation, les espèces sont menacées d'extinction locale ou régionale. C'est par ces processus que la fragmentation des habitats due aux réseaux de transport et les phénomènes secondaires qui en résultent sont devenus les plus graves dangers qui pèsent sur la diversité biologique, à l'échelle de la planète. Bien que les activités humaines aient commencé à fragmenter le territoire il y a déjà plusieurs siècles, l'augmentation rapide de la densité des réseaux de transport et de leur accessibilité au XIX^{ème} siècle ont considérablement accéléré ces effets.

Figure 3.1 - Dans les vallées comme la Léventine, Alpes suisses, se trouvent souvent réunies voies ferrées, autoroutes et autres routes qui constituent des obstacles importants (photographie de V. Keller).

3.2 Effets écologiques des infrastructures de transport

Les infrastructures de transport ont des effets primaires et secondaires sur les milieux naturels. On peut distinguer cinq grandes catégories d'effets écologiques primaires influant négativement sur la biodiversité et un groupe d'effets écologiques secondaires (voir paragraphe 3.4).

Effets écologiques primaires

1. Perte d'habitat pour la faune et la flore ;
2. effets de barrière ;
3. mortalité animale : collisions entre véhicules et faune ;
4. perturbations et pollution ;
5. fonctions écologiques des accotements (abords des infrastructures).

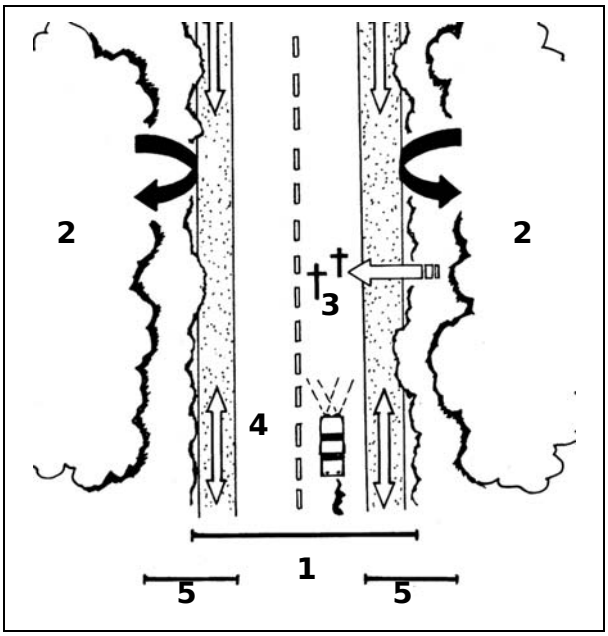


Figure 3.2 - Représentation schématique des effets écologiques primaires des infrastructures de transport. Les chiffres se réfèrent aux effets écologiques primaires, énumérés ci-dessus.

Dans la pratique, ces effets interagissent souvent les uns avec les autres, augmentant sensiblement leur portée par un mécanisme de synergie. Les conséquences sous forme de perte et de dégradation des habitats, d'effets de barrière, d'isolement et de perturbation peuvent être résumées par le terme « fragmentation ».

3.3 Effets écologiques primaires

Perte d'habitat pour la faune

L'effet direct de la construction routière est la modification physique dans l'occupation des terres adjacentes à la voie, puisque les habitats sont remplacés ou transformés par l'infrastructure de transport. L'impact de cette perte nette d'habitat naturel est accentué par les effets de perturbation et d'isolement qui conduisent à un changement inévitable dans la répartition des espèces. Les routes et leurs abords couvrent environ 0,3 % du territoire en Norvège et plus de 5 % aux Pays-Bas. À l'échelle régionale ou nationale, l'occupation des terrains par les infrastructures peut donc sembler une question mineure. En revanche, sur le plan local, l'attribution d'espaces pour les infrastructures entraîne nécessairement des conflits avec les autres objectifs d'aménagement du territoire, comme la protection de la nature, l'agriculture ou les habitations.

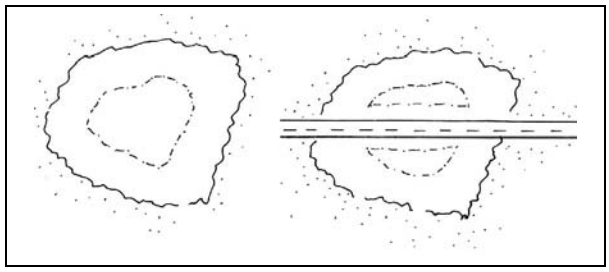


Figure 3.3 - Schéma montrant l'impact de l'aménagement d'infrastructures sur le milieu intérieur d'un habitat important de part sa flore et sa faune particulières. La taille du milieu intérieur perdu est bien plus grande que la taille du territoire occupé par la construction, en raison de l'augmentation de l'effet de lisière le long de la route.

Effets de barrière

L'effet de barrière des routes et des autoroutes constitue probablement l'impact écologique négatif le plus important. La capacité de dispersion des individus est un des principaux facteurs de survie des espèces. La possibilité de se déplacer à la recherche de nourriture, d'un abri ou d'un partenaire est réduite par les obstacles qui entraînent un isolement des habitats. Les effets sur les individus influent sur la dynamique des populations et menacent souvent la survie des espèces. La seule façon d'éviter l'effet de barrière est de rendre les infrastructures plus perméables pour la faune en créant des passages, en adaptant les ouvrages ou en gérant les flux de circulation. Une définition soignée du tracé d'une route à travers le paysage permet également de réduire l'effet de barrière.

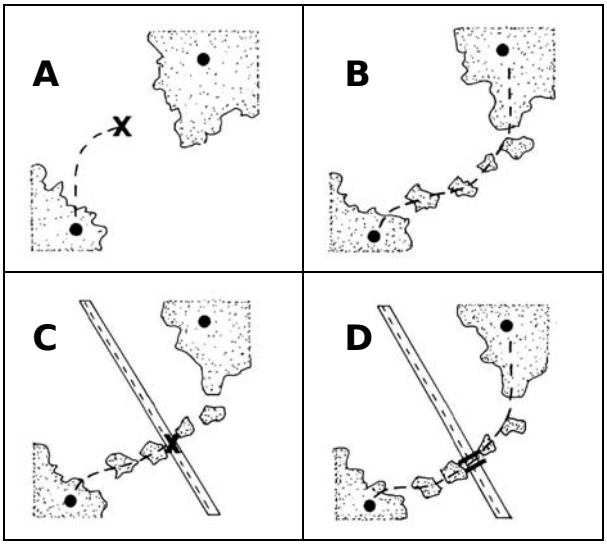


Figure 3.4 - Effet des corridors écologiques et des réseaux routiers sur la circulation des espèces.

A. Dans les paysages ouverts, sans corridors écologiques, les espèces peuvent se trouver dans l'incapacité de changer d'habitat.

B. De petits fragments d'habitat approprié peuvent servir d'îles entre deux parcelles d'habitat éloignées.

C. Les corridors écologiques associés aux infrastructures peuvent attirer les animaux, mais aussi les orienter vers les routes où ils peuvent être tués en essayant de traverser.

D. Les mesures d'atténuation telles que les passages à faune peuvent rétablir des liens entre des corridors écologiques.

Figure 3.5 – Le trafic crée de graves problèmes à la population de loutres en République Tchèque. Souvent, les individus migrateurs (essentiellement les mâles) refusent d'utiliser les passages à faune et tentent de traverser directement les routes (photographie de V. Hlaváč).

Barrière physique : pour la plupart des grands mammifères, les infrastructures de transport constituent des barrières infranchissables uniquement lorsqu'elles sont clôturées ou que la densité de trafic est élevée. Pour les petits animaux, et en particulier les invertébrés, la surface de la chaussée et des accotements constituent des obstacles bien plus importants, soit parce que les sols sont inhospitaliers, soit parce que les perturbations sont trop importantes.

Barrière comportementale : on sait que de nombreuses espèces animales de grande taille évitent les zones proches des routes et des voies ferrées selon le degré des perturbations causées par l'homme (densité de trafic, aménagements secondaires). Le renne sauvage de Norvège, par exemple, sous-exploite ses ressources en pâturage, à moins de 5 km des routes. D'autres animaux, comme les petits mammifères et certains oiseaux des forêts, développent des comportements d'évitement, associés notamment à la traversée de grands espaces ouverts.

Tableau 3.1 – Rapports entre la densité du trafic routier et l'effet de barrière chez les mammifères. Les clôtures longeant les infrastructures accentuent l'effet de barrière. En revanche, les clôtures avoisinant les passages peuvent conduire en toute sécurité les animaux vers ces derniers.

Densité de trafic	**Perméabilité**
Trafic routier inférieur à 1 000 véhicules/jour	Perméable pour la plupart des espèces animales.
Trafic routier compris entre 1 000 et 4 000 véhicules/jour	Perméable pour certaines espèces, mais évité par les espèces plus sensibles.
Trafic routier compris entre 4 000 et 10 000 véhicules/jour	Barrière importante : le bruit et le mouvement repoussent la plupart des individus ; la route tue aussi de nombreux individus lorsqu'ils tentent de la traverser.
Trafic autoroutier supérieur à 10 000 véhicules/jour	Imperméable pour la plupart des espèces.

Le tracé de deux types, ou plus, d'infrastructures de transport dans un même couloir (proximité étroite) peut être bénéfique pour certaines espèces, puisqu'il crée une seule barrière. Il est donc souvent avantageux de placer un ou plusieurs tracés parallèles aussi proches que possible, notamment dans le cas de couloirs multimodaux de transport (route et rail). L'inconvénient est que ces couloirs peuvent renforcer l'effet de barrière pour certaines espèces. Il a été clairement démontré que les solutions combinées, fragmentant les habitats montagneux et isolant les populations de rennes, constituent des obstacles importants. Lorsque les infrastructures parallèles ne sont pas placées dans un même couloir, les zones situées dans les espaces intermédiaires enregistrent souvent un déclin de la biodiversité locale et régionale.

Mortalité animale

La mortalité est probablement l'effet du trafic sur la faune le mieux connu. Des millions d'individus de nombreuses espèces animales sont tués chaque année sur les routes et les voies ferrées, et bien plus encore sont gravement blessés. Un nombre important d'animaux morts n'implique pas nécessairement une menace pour les populations, mais peut indiquer que ces espèces sont abondantes et très répandues localement. On considère que la mortalité par collision ne représente qu'une faible proportion (1 à 4 %) de la mortalité des espèces courantes (rongeurs, lapins, renards, moineaux, merles, etc.). Toutefois, pour les espèces plus sensibles, le trafic peut être une cause majeure de mortalité et un danger important pour la survie d'une population locale. Ainsi, dans les Flandres, plus de 40 % de la population de blaireaux sont tués sur les routes chaque année. Une telle perte représente une grave menace pour la survie à long terme des blaireaux dans la région. La mortalité aviaire peut aussi être élevée. Les grands projets routiers avoisinant ou traversant les zones humides peuvent obliger une grande diversité d'oiseaux à voler au-dessus des routes, augmentant ainsi le risque de mortalité par collision. Les grands oiseaux comme les rapaces et les chouettes sont attirés vers les accotements herbeux par les petits mammifères et les oiseaux qui s'y trouvent. Nombre d'entre eux sont tués alors qu'ils volent bas au-dessus de la route pour chasser.

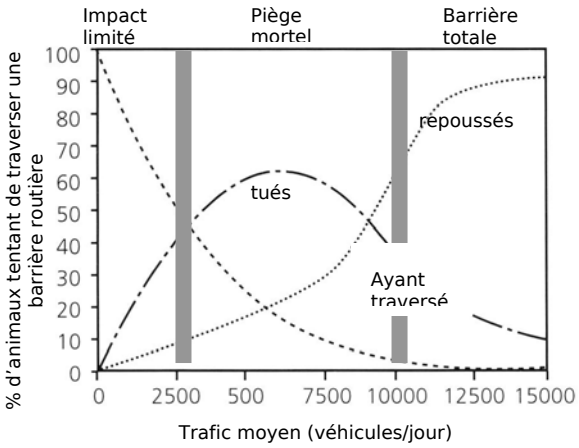


Figure 3.6 - Lorsque le trafic est faible (< 2 500), peu d'animaux sont tués ou repoussés. L'impact sur la proportion d'animaux parvenant à traverser la barrière routière est donc limité. Lorsque le trafic est moyen (2 500 à 10 000), la mortalité est importante, le nombre d'animaux repoussés augmente et la proportion d'individus parvenant à traverser la route diminue. Lorsque le trafic est élevé (> 10 000), une grande proportion d'animaux sont repoussés. Malgré une proportion de morts moins importante, seule une faible proportion d'animaux parviennent à traverser la route (graphique de Andreas Seiler, non publié).

Espèces particulièrement sensibles aux barrières routières et à la mortalité par collision :

- Les espèces rares ayant des petites populations locales et des domaines vitaux individuels étendus, comme les grands carnivores.
- Les espèces effectuant des migrations quotidiennes ou saisonnières entre des habitats locaux. Les amphibiens sont particulièrement sensibles à la mortalité routière lorsqu'ils traversent les routes à l'occasion de leurs déplacements saisonniers depuis ou vers les mares de reproduction. Certaines espèces de cervidés utilisent des habitats différents selon le moment de la journée et traversent souvent les routes et les voies ferrées pour satisfaire leurs besoins.
- Les espèces effectuant de longues migrations saisonnières pour rejoindre leurs aires d'alimentation d'été et d'hiver, comme les daims et les rennes.

Figure 3.7 - Une collision avec un grand mammifère comme l'élan peut être spectaculaire, mais pose surtout un problème de sécurité routière. Pour les petits mammifères et certains oiseaux, comme les chouettes effraies, la mortalité routière peut avoir un impact important sur la population locale (photographie de l'élan de H. Corneliussen, Fædrelandsvennen et photographie de la chouette effraie de G. Veenbaas).

La plupart des mesures prises pour réduire le nombre de collisions sur la route sont prises pour des raisons de sécurité routière. Cela est particulièrement vrai dans le cas de grands animaux comme les élans, les cerfs et les sangliers. En général, ces mesures visent à empêcher les animaux d'accéder à la route ou à la voie ferrée. En revanche, la nécessité de conduire les animaux vers des points de franchissement sûrs, pour réduire l'effet de fragmentation, est souvent négligée.

Le nombre et la densité des collisions sur les routes ou les voies ferrées varient selon certains facteurs comme la température, les précipitations, la saison et l'heure, et ont tendance à suivre les rythmes quotidiens du trafic et de l'activité animale. Les variations saisonnières de la mortalité animale sont influencées par les modes de reproduction, de dispersion et de migration saisonnière, ainsi que les perturbations saisonnières comme la chasse. Le contexte paysager des routes et des voies ferrées influe également sur les niveaux de mortalité animale par collision. Les routes longeant ou traversant les lisières entre la forêt et la prairie sont particulièrement dangereuses pour les animaux qui se déplacent régulièrement de leur abri en forêt à un habitat d'alimentation en prairie.

Perturbations et pollution

L'aménagement et l'exploitation de routes et de voies ferrées modifient les caractéristiques écologiques des habitats adjacents, ce qui peut induire des changements dans la façon dont les animaux les utilisent. La plupart de ces transformations peuvent influer la qualité des habitats sur une distance importante de part et d'autre des infrastructures. Les principaux types de perturbations associées aux infrastructures de transport sont les suivants.

Modifications hydrologiques : les déblais et les remblais modifient la topographie du paysage et induisent souvent des modifications hydrologiques à grande échelle. Les déblais peuvent accroître l'érosion des sols et abaisser le niveau des nappes phréatiques. Les remblais peuvent modifier le régime des eaux en produisant un assèchement ou une irrigation. Ces changements influeront sur la végétation, en particulier dans les zones humides et les habitats riverains.

Pollution chimique : le trafic routier et les chaussées sont source d'un grand nombre de polluants. Les moteurs émettent, par exemple, du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote, du dioxyde de soufre, des hydrocarbures dont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des dioxines et des particules. Les véhicules sont des sources de métaux lourds tels que le plomb, le zinc, le cuivre et le cadmium. Les sels de déneigement produisent du sodium et du chlorure. Les produits chimiques polluent les eaux superficielles et souterraines, les sols et la végétation longeant les routes. Les composés contenant de l'azote et du soufre contribuent à l'acidification et à l'eutrophisation. Les polluants peuvent causer des dommages ou des perturbations graves des fonctions biologiques, et ce sur plusieurs niveaux structurels (cellules, individus et populations).

Figure 3.8 - La pollution due au trafic produit des effets secondaires tels que la pollution par les sels de déneigement, qui détériore gravement la végétation des bords de routes, comme sur cet accotement en Norvège (photographie de M. Smeland).

Nuisances sonores et vibrations : les perturbations dues au bruit dépendent essentiellement du type de trafic, de son intensité, des propriétés du revêtement routier, de la topographie, du type de rail, ainsi que de la structure et du type de végétation adjacente. Les caractéristiques géologiques et pédologiques influent sur l'ampleur et la propagation des vibrations. Certaines espèces évitent les zones de nuisances sonores. Ainsi, aux Pays-Bas, la densité d'oiseaux baisse lorsque le bruit du trafic dépasse 50 dBA, alors que les oiseaux des bois sont sensibles aux niveaux de bruit dès 40 dBA. Certaines espèces ont le même taux de reproduction en zones perturbées, mais le taux de survie des jeunes est moins élevé.

Nuisances lumineuses et visuelles : l'éclairage artificiel peut influer la croissance des plantes, perturber les comportements de reproduction et d'alimentation des oiseaux ou modifier les mouvements des amphibiens nocturnes. Les phares peuvent aussi attirer les insectes (lampes à mercure) et en conséquence, accroître la densité de chauves-souris le long des routes, augmentant ainsi leur mortalité. On pense également que le trafic routier et ferroviaire perturbe plusieurs espèces sensibles, telles que le renne sauvage (voir aussi « Barrière comportementale », chap. 3.3).

Fonctions écologiques des accotements

La valeur des abords d'infrastructures est un thème souvent débattu. Ces zones peuvent constituer des habitats importants pour certaines espèces animales et végétales, mais elles peuvent aussi conduire les animaux vers des endroits où la mortalité est accrue, ou favoriser la prolifération d'espèces exotiques. Elles peuvent créer des liens dans le réseau écologique et servir de corridors de circulation, en particulier dans les paysages agricoles. Leurs fonctions dépendent de leur emplacement géographique, de la végétation, de l'habitat adjacent, de la gestion et du type d'infrastructure. Leurs effets positifs sont plus fréquents en Europe du Nord et leurs effets négatifs sont plus souvent associés à l'Europe du Sud.

Fonction d'habitat : de nombreux recensements effectués dans les pays fortement urbanisés ont montré l'intérêt des accotements en tant qu'habitats pour divers animaux et végétaux. Grâce à une gestion appropriée, les abords des infrastructures peuvent compléter et enrichir des paysages où la végétation naturelle a presque disparu. Ces zones ne peuvent cependant pas remplacer totalement l'habitat naturel en raison des nuisances et de la pollution. La composition des espèces animales des bords de routes est donc souvent modifiée et enregistre une plus grande proportion d'espèces allogènes et rudérales.

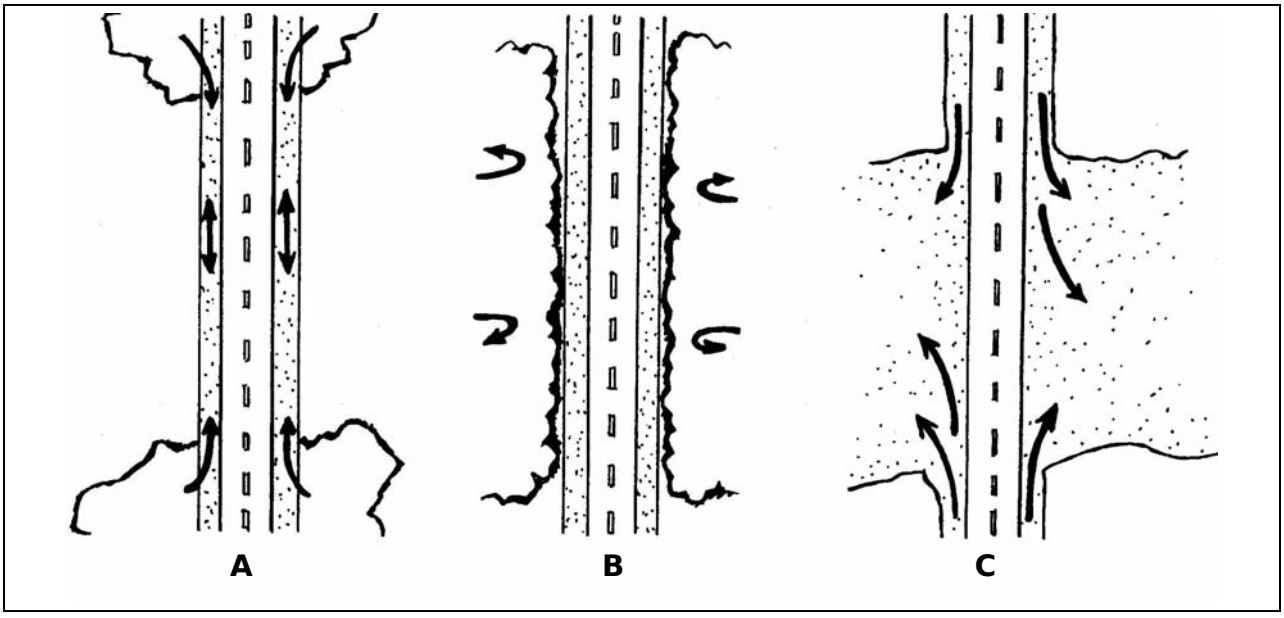


Figure 3.9 - Fonction de corridor des accotements dans différents paysages.
A. Dans les paysages ouverts et agricoles, les bords de routes couverts de végétation peuvent constituer d'importants corridors de déplacement et de zones d'habitat pour les animaux.
B. Dans les paysages naturels, les accotements ouverts et herbeux créent de nouveaux obstacles qui peuvent accentuer l'effet de barrière pour les espèces forestières, mais qui peuvent accroître l'effet de corridor et offrir un nouvel habitat pour d'autres espèces.
C. Les accotements peuvent servir de sources pour les espèces se développant sur de nouveaux habitats ou recolonisant des habitats vacants, mais ils favorisent aussi l'invasion des habitats naturels par des espèces allogènes ou la prolifération des prédateurs.

Dans les pays les plus urbanisés, les accotements peuvent constituer des habitats importants pour la faune et la flore. Aux Pays-Bas, 796 espèces végétales (plus de 50 % des espèces nationales) habitent ces zones. Ce chiffre inclut non seulement les espèces très répandues, mais aussi les espèces moins communes ou assez rares. Ainsi, 160 espèces rares (représentant 10 % du total national) vivent essentiellement sur les bords de routes. Les prairies faiblement à modérément fertilisées sont rares aux Pays-Bas en raison de l'agriculture intensive ; les accotements représentent donc d'importants refuges pour les espèces qui ont besoin de ce type d'habitat. Leur gestion ne consiste plus à entretenir une prairie basse comme dans les années 50 et 60, mais à réaliser simplement une ou deux opérations de fauchage par an. Les accotements sont donc plus variés et servent d'habitat à 50 % des espèces de papillons néerlandais (soit 80). On estime que 22 de ces espèces peuvent survivre sur le réseau des bords de routes. Même certaines espèces menacées (telles le collier-de-corail et le procris) peuvent survivre dans ces zones.

Figure 3.10 - Les pestes végétales envahissantes peuvent se développer le long des axes de circulation. C'est le cas, en Espagne, du séneçon du Cap, une mauvaise herbe toxique pour le bétail qui s'est répandue au bord des routes (photographie de E. Bassols).

L'entretien des accotements a un impact important sur la valeur de ces zones en tant qu'habitat. Les opérations de gestion qui influent sur la biodiversité sont les suivantes : coupe des arbres et des arbustes, fauchage de la végétation, curage des fossés et entretien des caniveaux, tunnels, clôtures, passages à faune et autres mesures. Les principes d'un entretien écologique des accotements sont les suivants : planification du fauchage comme dans les prairies de fauche, plantation d'arbustes et d'arbres indigènes, diminution des perturbations pendant la saison de la reproduction et réduction de l'utilisation des herbicides et insecticides chimiques. Cet entretien permet d'améliorer localement la biodiversité. Mais sans une planification appropriée, le nombre d'accidents peut augmenter et on peut créer des pièges écologiques pour certaines espèces. La planification doit donc prendre en compte le contexte local.

Fonction de corridor : les bords de routes et de voies ferrées peuvent servir de corridors pour la faune, favorisant ainsi la circulation des espèces le long des infrastructures. Cette fonction de corridor a des effets positifs et négatifs.

Les effets positifs ont été constatés essentiellement pour les petits mammifères et les insectes. Mais les corridors conduisent aussi les animaux vers les agglomérations, en particulier les chevreuils, les renards, les blaireaux et les reptiles.

La construction d'accotements larges à végétation basse, isolés de la forêt, permet de réduire le nombre d'accidents entre véhicules et grands mammifères sur les routes et les voies ferrées en améliorant la visibilité des conducteurs et des animaux. Les accotements sont considérés comme des éléments importants des réseaux écologiques en Europe du Nord.

Les effets négatifs sont la propagation des espèces spécifiques ou de mauvaises herbes le long des axes de circulation par les turbulences de l'air dues au trafic ou du transport de graines et de propagules par les véhicules. Les exemples du rhododendron au Royaume-Uni et du séneçon du Cap en Espagne (mauvaise herbe toxique pour le bétail) montrent comment les espèces allogènes peuvent se répandre rapidement sur de vastes zones géographiques par l'intermédiaire des infrastructures de transport. Les accotements peuvent aussi constituer un facteur important d'incendies de forêts dans les pays méditerranéens. Ainsi, en Espagne, plus de 24 % des incendies de forêt en 2000 ont été attribués à des départs de feu au bord des routes (mégots de cigarettes, en particulier) et, dans une moindre mesure, au bord des voies ferrées.

Les routes et les voies ferrées peuvent aussi servir de corridors pour la faune, augmentant ainsi la circulation d'espèces indésirables. La liaison des îles côtières au continent par la construction de ponts peut aussi provoquer la prolifération de prédateurs tels que le vison d'Amérique, les martres et les renards dans des colonies d'oiseaux autrefois isolées. Les résultats sont l'accroissement de la mortalité aviaire en raison des prédateurs et des effets de perturbation.

Les accotements ont rarement la même valeur que les corridors naturels, car les conditions d'habitat sont rarement constantes sur de longues distances et peuvent varier considérablement en qualité. Les routes croisent souvent d'autres infrastructures et peuvent conduire les animaux vers des intersections où le risque d'accident est élevé. Les accotements larges dont la végétation contraste avec celle du paysage environnant (bandes d'herbes longeant une forêt) peuvent aussi accroître l'effet de barrière et l'isolement des habitats.

3.4 Effets écologiques secondaires

Les changements dans, l'aménagement du territoire, les modes d'implantation humaine ou le développement industriel induits par la construction d'infrastructures de transport sont des effets secondaires. L'aménagement de nouvelles routes régionales peut entraîner la création de nouveaux lotissements et zones d'habitation, qui provoqueront à leur tour la construction de routes de desserte locales. Ces effets secondaires ne sont habituellement pas de la responsabilité du secteur des transports, mais doivent être pris en compte dans les évaluations environnementales (EES) et les études d'impact sur l'environnement (EIE) (voir chapitre 5). Dans les régions où un aménagement linéaire secondaire le long des réseaux routiers existants peut compromettre gravement les stratégies de protection de la nature, il peut être nécessaire d'adopter des mesures de modération du trafic ou de déclassement des routes (voir chapitre 7).

Une des principales menaces secondaires associées au développement des infrastructures est l'augmentation de l'accessibilité et des perturbations humaines. Les réseaux de petites routes forestières permettent aux chasseurs et aux touristes d'accéder à des habitats autrefois préservés. Certaines spécifications de conception ne prévoient pas d'aires de stationnement ni de points d'arrêt, précisément pour réduire les perturbations dans les habitats sensibles tels que les marais littoraux importants pour les oiseaux aquatiques.

Cependant, une fois l'aménagement des infrastructures effectué, il est très difficile de limiter l'accès aux terres adjacentes, même si elles ont une grande valeur sur le plan écologique. Les programmes de gestion des accès doivent donc être établis pendant la phase de planification et mis en œuvre parallèlement à l'aménagement de l'infrastructure.

3.5 Perspectives en matière d'écologie du paysage

Les recherches sur les effets des réseaux routiers au niveau du paysage ou de la région sont encore à l'état embryonnaire. L'étude des processus écologiques à grande échelle s'appelle l'écologie du paysage, mais c'est une science appliquée encore jeune dont les méthodes, les techniques et les applications sont nouvelles et en cours de développement. Il est très important de prendre en compte le contexte général des schémas d'infrastructures, car ces processus plus vastes risquent d'avoir des effets importants sur la nature. Toutefois, le recueil de données empiriques sur les effets de la fragmentation dus aux infrastructures de transport, à grande échelle et à long terme, est difficile et exige de nombreuses ressources.

Pour étudier les conflits éventuels entre protection de la nature et aménagement d'infrastructures, on utilise de plus en plus souvent de nouveaux outils tels que les simulations par ordinateur et la modélisation spatiale. Ceux-ci seront utiles à l'avenir pour établir des critères de conception applicables à l'aménagement des infrastructures. Les données paysagères de télédétection, associées à l'analyse des systèmes d'information géographique (SIG), offrent des ressources prometteuses pour intégrer les routes dans le paysage en réduisant au minimum les effets de la fragmentation des habitats. Le but des études écologiques est de prédire les effets des infrastructures de transport sur les individus et les populations, au niveau du site, du paysage et de la région.

4 Conception de solutions intégrées

Table des matières

4.1 Comment adresser le problème de la fragmentation des habitats **31**
4.2 Prise en compte précoce de la fragmentation des habitats **35**
4.3 Mise au point de solutions intégrées **35**

4

Résumé

Ce chapitre présente une méthode intégrée pour réduire la fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport (qui sera développée dans les chapitres suivants). Les notions de cadrage, de mesures d'évitement, de mesures d'atténuation et de mesures de compensation sont exposées. Enfin, l'importance d'une prise en compte précoce de la fragmentation des habitats et des différents niveaux de solutions intégrées est discutée.

4.1 Comment adresser le problème de la fragmentation des habitats

Les bonnes pratiques préconisées dans ce manuel pour la planification d'infrastructures nouvelles ou le réaménagement d'infrastructures existantes suivent les principes indiqués ci-dessous, pour répondre à la menace de fragmentation des habitats.

Évitement

↓

Atténuation

↓

Compensation

Le principe de base pour éviter les effets négatifs de la fragmentation des habitats est qu'"il vaut mieux prévenir que guérir". Lorsque les mesures d'évitement sont impossibles ou irréalisables, il faut concevoir des mesures d'atténuation faisant partie intégrante de la planification. Lorsque l'atténuation est insuffisante ou lorsque les effets résiduels sont importants, il convient d'envisager en dernier ressort, des mesures compensatoires. Bien que ce chapitre concerne essentiellement les routes nouvelles, ces principes peuvent aussi être appliqués aux routes existantes où, la remise en état et l'entretien, les rapports avec les autres facteurs de fragmentation et l'utilisation des ouvrages existants doivent être examinés.

Dans ce système, les deux principales questions sont : quand les mesures seront-elles nécessaires et quels sont les critères de réussite ? Cette démarche oblige les aménageurs à regarder au-delà des limites normales de l'axe de circulation pour étudier le développement de tout le réseau d'infrastructure ainsi que les questions plus vastes d'aménagement du territoire, dont les stratégies d'occupation de l'espace au niveau national et international. Les décisions prises sur l'infrastructure doivent prendre en compte l'occupation et l'aménagement des terres adjacentes, car celles-ci réduisent considérablement l'efficacité de toute mesure d'atténuation ou de compensation.

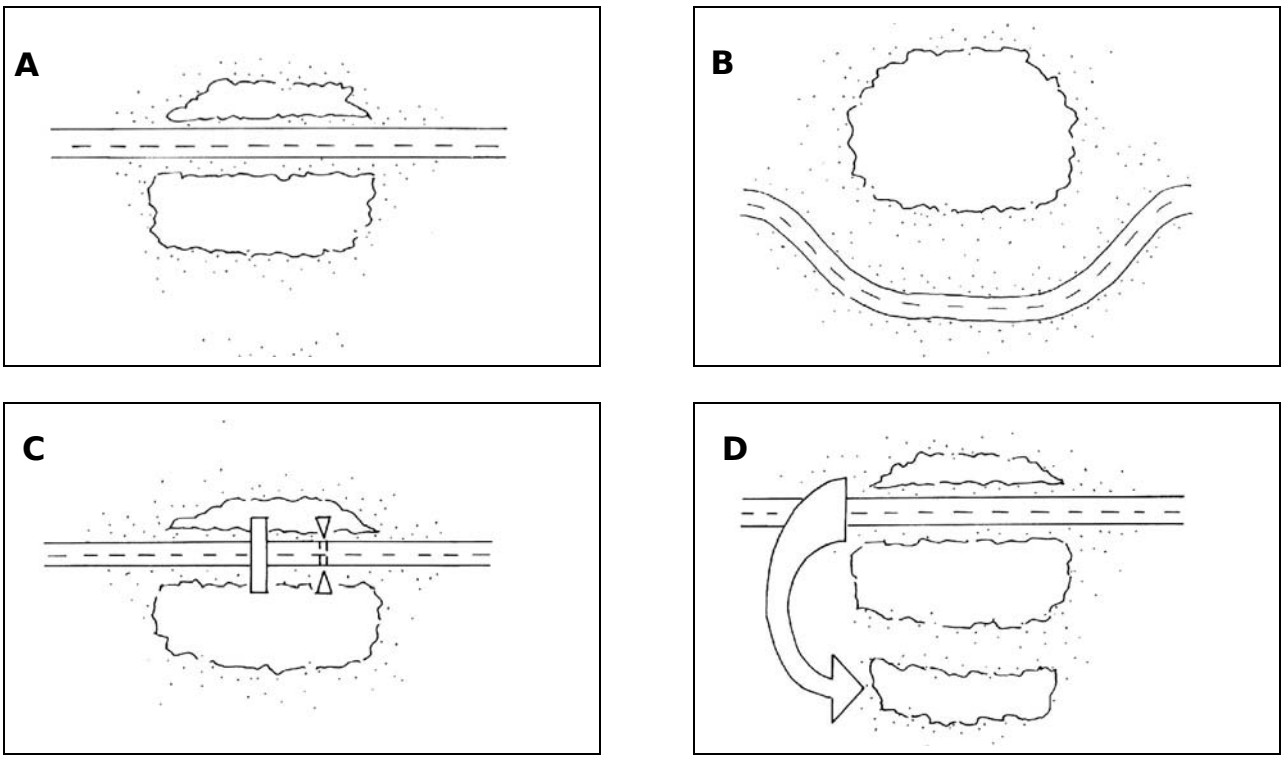


Figure 4.1 - Représentation schématique de A) la fragmentation, B) l'évitement , C) l'atténuation et D) la compensation.

Figure 4.2 - Les infrastructures de transport peuvent fragmenter les habitats, comme le montre cet exemple sur l'autoroute A36, en Alsace. Ce croisement avec une route secondaire entraîne une fragmentation de l'environnement, dans la forêt de la Hardt (photographie de J. Carsignol).

Cadrage : une procédure pour identifier les zones à éviter

La zone d'étude est évaluée en fonction des intérêts et des contraintes sur le plan environnemental, afin de déterminer les questions liées à la protection de la nature. Les critères utilisés peuvent être la diversité de l'habitat, la rareté des habitats, l'état de conservation, les éléments importants du paysage, la diversité des espèces, ainsi que la présence d'espèces figurant sur les listes rouges et d'espèces protégées. Ils sont expliqués plus en détail dans le chapitre 5.

Les critères de conservation servent de base à l'analyse des effets négatifs éventuels du tracé de l'infrastructure et à l'identification des points de conflit entre les caractéristiques naturelles importantes et les variantes proposées. La sensibilité des habitats et des populations à la fragmentation, la mobilité des animaux, la taille de leurs domaines vitaux et leur sensibilité aux perturbations sont des indicateurs écologiques à prendre en compte dans cette évaluation.

Tous les efforts doivent être faits pour maintenir les structures écologiques reliant les habitats et les populations.

Une attention particulière doit être portée aux rivières, aux cours d'eau, aux forêts riveraines, aux corridors boisés, aux réseaux de haies et aux fossés qui, dans un paysage exploité de manière intensive, peuvent souvent constituer le dernier refuge pour de nombreuses espèces.

Il est important que le travail de conception des infrastructures de transport soit coordonné à tous les niveaux, afin que tous les ouvrages prennent en compte les habitats et les besoins des espèces. Même des changements mineurs dans les spécifications techniques, la conception, où au niveau du projet détaillé du site, peuvent présenter des avantages significatifs pour la faune (voir chapitre 7).

Éviter ou réduire l'effet de fragmentation doit être une question fondamentale pendant la planification d'une nouvelle infrastructure, le réaménagement d'une route ou d'une voie ferrée existante et la gestion des problèmes associés aux routes et aux voies ferrées existantes.

Mesures d’évitement

Éviter les impacts écologiques en n’aménageant pas l’infrastructure proposée peut être la seule solution pour éviter la fragmentation des habitats vulnérables. Adapter le tracé de l’infrastructure pour éviter de diviser des habitats vulnérables, réduire l’emprise du couloir routier ou diminuer les perturbations dans les habitats adjacents atténue l’impact mais n’évite pas entièrement la fragmentation. Éviter la fragmentation des habitats doit devenir le premier principe à appliquer dans les phases suivantes :

- Planification, conception, construction et entretien, ainsi que réaménagement ou fermeture de routes et de voies ferrées existantes
- Participation plus large des groupes d’intérêt et collecte des données pertinentes pendant l’étape de cadrage de la procédure d’EIE et d’EES
- Coopération entre les autorités et les organismes compétents
- Adoption d’une approche intégrée et multidisciplinaire dans le cadre de la planification où tous les intérêts touchés sont pris en compte dans l’évaluation des schémas d’aménagement

Figure 4.3 - Il était prévu que l’autoroute A1, en Suisse, longerait la rive sud du lac de Neuchâtel. Ce tracé aurait fragmenté la plus grande zone humide du pays (au premier plan). Pour éviter cela, un autre tracé a été choisi, plus éloigné du lac (photographie de V. Keller).

Figure 4.4 - Les mesures d’atténuation permettent de réduire les effets de barrière d’une infrastructure. Voici un passage supérieur près de Lipnik nad Becvou, en République Tchèque, fréquemment emprunté par différentes espèces dont le chevreuil et le sanglier (photographie de V. Hlaváč).

Figure 4.5 - Si l'atténuation est impossible, il peut s'avérer nécessaire de compenser la perte d'habitat en créant de nouveaux habitats, comme ici sur l'A46, à Batheaston, au Royaume-Uni (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

Atténuation

L'effet de barrière d'une infrastructure de transport (voir chapitre 3) peut être atténué par différents types de mesures, tels que les passages supérieurs et inférieurs destinés à maintenir la perméabilité du milieu naturel (construction d'ouvrages de franchissement pour les animaux ou adaptation d'ouvrages existants). Un grand nombre de ces mesures sont décrites au chapitre 7. Les principales questions liées aux mesures d'atténuation sont les suivantes :

1) Quel est le problème et où est-il situé ?

2) Quel type de mesures peut permettre de le résoudre?

3) Quelle conception est appropriée à cette fin ?

Compensation

Lorsque la fragmentation est inévitable et que les mesures d'atténuation ne peuvent compenser la perte, l'atteinte ou la dégradation de l'habitat, la réponse appropriée peut être une compensation par la création d'un autre habitat, afin qu'il n'y ait pas de « perte nette » due aux schémas d'aménagement d'infrastructures (voir chapitre 8). La création d'habitat a pour but de fournir un nouvel habitat d'une qualité et d'un type appropriés pour compenser la perte ou les dommages causés par l'aménagement d'une infrastructure.

Suivi

Dans tous les cas (éviter, atténuer, compenser), les mesures adoptées doivent être contrôlées afin de s'assurer qu'elles sont conformes aux normes de conception et de qualité et qu'elles sont efficaces (voir chapitre 9).

4.2 Prise en compte précoce de la fragmentation des habitats

Pour l'aménagement de nouvelles infrastructures de transport, un tracé optimal de la route dans le paysage permet de réduire d'une part les conflits et d'autre part la nécessité de mesures d'atténuation telles que les passages à faune. Cela exige une expertise écologique dès le début et pendant toute la durée du projet. La participation précoce des riverains, la sensibilisation de la population et la coopération entre un grand nombre d'organisations représentant les intérêts locaux sont des opérations importantes dans la planification des nouveaux tracés, garantissant la sélection des meilleures solutions possibles. Lorsqu'une mesure d'atténuation est nécessaire, elles doivent faire partie intégrante de la planification et de la conception, où tous les autres aspects importants dans l'aménagement routier doivent être pris en compte. Les effets de fragmentation doivent donc être considérés dans le cadre plus général des contraintes techniques, des coûts, du paysage, du patrimoine culturel, des loisirs, de l'agriculture et de la forêt, ainsi que de leur impact sur la nature.

L'évaluation des effets éventuels de fragmentation ou de barrière, à un stade très précoce de la planification, permet de réduire sensiblement les coûts. Les mesures d'atténuation seront probablement plus efficaces si elles sont intégrées dès le début de la planification, et moins coûteuses que les mesures mises en œuvre après l'aménagement de l'infrastructure. En zone urbaine, des mesures particulières peuvent s'avérer nécessaires lorsque les contraintes exercées sur la nature sont déjà élevées et que les habitats restants sont sérieusement fragmentés.

4.3 Mise au point de solutions intégrées

La mise au point de solutions intégrées pour la planification des routes représente une difficulté majeure. Elle nécessite des informations sur les modalités de définition du tracé, afin de réduire les effets en fonction des contraintes financières et techniques. L'évaluation des nouvelles infrastructures s'orientera de plus en plus vers des solutions intégrées visant à déterminer le tracé et la conception ayant les effets les plus faibles et les avantages les plus intéressants pour le plus grand nombre. Ces solutions peuvent comprendre l'association de mesures d'évitement, d'atténuation et de compensation. Le processus d'intégration est particulièrement difficile dans les zones géographiques où la compétition pour l'espace est très forte, comme dans les vallées encaissées et sur les côtes. Déjà mises à l'épreuve par le développement des habitations, de l'agriculture et du drainage naturel, ces zones sont fragmentées en bandes linéaires par les routes et les voies ferrées, qui exercent des effets négatifs sur la plupart des intérêts en jeu. Les solutions intégrées pour la planification des infrastructures peuvent être envisagées à différents niveaux : site, paysage et région. Les mesures d'atténuation doivent être examinées à ces trois niveaux, lors de l'EIE et de l'EES :

- **Région :** les tracés éventuels sont étudiés pour la première fois en fonction de la topographie, de la géologie, du terrain et du drainage, en même temps que les types d'infrastructures et d'implantations existantes. À ce niveau, on prend en compte l'impact total du réseau d'infrastructures de transport ainsi que les schémas d'infrastructures.
- **Paysage :** les tracés des segments individuels sont planifiés pour éviter des conflits graves. À ce niveau, l'aménagement du territoire, le paysage, la nature, la culture et d'autres éléments sont également pris en compte. La structure du paysage ainsi que le volume et la disposition spatiale des habitats existants déterminent l'impact des aménagements d'infrastructures.
- **Site :** des solutions techniques spécifiques sont conçues pour répondre à la nécessité d'intégrer la route dans l'environnement, afin de réduire l'impact potentiel. Les contraintes physiques et techniques fixent les paramètres de la conception.

Les chapitres suivants décrivent en détail les méthodes utilisables pour réduire les effets de la fragmentation des habitats dus aux infrastructures de transport.

4

5 Outils de planification

Table des matières

5.1 Planification destinée à éviter et à réduire la fragmentation **39**

5.2 Phase d'élaboration du plan (EES) **39**

5.3 Phase d'élaboration du projet (EIE) **39**

5.3.1 Champ de l'EIE 40
5.3.2 Paramètres de l'EIE 40

5.4 Évaluation de l'effet de fragmentation de la nouvelle infrastructure et eie **40**

5.4.1 Définition de la zone d'étude 42
5.4.2 Phase d'inventaire 42
5.4.3 Procédure d'évaluation écologique 44
5.4.4 Procédure itérative de localisation et de conception du projet 46
5.4.5 Examen des variantes 46
5.4.6 Conception du programme de suivi 46

5.5 Ouvrages existants **46**

5.5.1 Amélioration du bilan écologique et résolution des conflits 46
5.5.2 Cartographie des obstacles 47
5.5.3 Identification et cartographie des points de conflit 48
5.5.4 Recensement et description des points de conflit 48
5.5.5 Recommandations de mesures et établissement de priorités 50
5.5.6 Modération du trafic 51
5.5.7 Déclassement de l'infrastructure 51

5.6 Réaménagement des routes et voies ferrées **51**

5.7 Coûts et avantages **52**

5.7.1 Description des coûts 52
5.7.2 Description des avantages 52
5.7.3 Investissements réduits dans une infrastructure existante 53
5.7.4 Longévité des solutions 53

5.8 Recommandations **53**

5

Résumé

Ce chapitre présente les méthodes de réduction de la fragmentation des habitats due aux infrastructures de transport. Celles-ci sont décrites en fonction des différentes étapes de la planification. Les critères de détermination des points de conflit existants ou éventuels entre l'infrastructure et les milieux naturels sont également discutés.

5.1 Planification destinée à éviter et à réduire la fragmentation

La fragmentation des habitats doit être réduite pendant la planification d'une nouvelle infrastructure ou le réaménagement d'une infrastructure existante. Les évaluations environnementales stratégiques (EES) des plans et programmes, ainsi que les études d'impact sur l'environnement (EIE) des projets permettent de prendre en compte les aspects environnementaux dès le début. L'EES et l'EIE doivent être effectuées conformément aux directives européennes et à leurs transpositions nationales (voir paragraphes 5.2 et 5.3).

L'EES et l'EIE ont pour principal objectif d'identifier les impacts environnementaux éventuels des plans et des projets avant de décider de leur mise en œuvre. Elles permettent également de consulter la population. En effet, avant d'adopter un plan ou un projet et avant de commencer une construction, toutes les EES et EIE sont soumises à enquête publique. À ce stade, les autorités compétentes, les parties prenantes, les ONG et la population peuvent formuler des observations sur le plan et influer sur le projet avant la prise de décision finale concernant la mise en œuvre (voir figure 5.1).

Étant donné qu'un certain degré de fragmentation ne peut être évité lors de la construction d'une route ou d'une voie ferrée, il faut envisager des mesures d'atténuation pour assurer la perméabilité de l'infrastructure dans les corridors de dispersion et les zones d'habitat prioritaires. Lorsque l'infrastructure traverse des zones particulièrement vulnérables ou lorsque les mesures d'atténuation sont inadéquates ou impossibles, des mesures compensatoires peuvent s'avérer nécessaires (chapitre 8).

Le problème de la fragmentation liée à une infrastructure existante est quelque peu différent. Il est possible que, pour une grande partie de l'infrastructure, des mesures d'atténuation n'aient pas été envisagées pendant la planification et la conception. Dans ce cas, il se peut que la zone soit déjà touchée par la fragmentation due à l'infrastructure existante, et que d'autres facteurs de fragmentation, non prévus lors de l'étude, soient apparus. Une nouvelle évaluation peut être nécessaire si les analyses effectuées initialement ne sont plus valables (voir paragraphe 5.5).

5.2 Phase d'élaboration du plan (EES)

Tous les nouveaux plans et programmes régionaux des États membres de l'UE et autres pays européens doivent être soumis à une Évaluation Environnementale (EES), conformément à la directive 2001/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 juin 2001. La date limite pour la transposition dans la législation nationale était le 21 juillet 2004. L'EES garantit que les aspects environnementaux seront pris en compte dans la définition des politiques de planification à grande échelle. Elle doit comprendre une description générale du plan ou du programme concerné, de ses principaux objectifs et de ses rapports avec d'autres plans et programmes importants. Sa procédure intègre les aspects environnementaux dans la prise de décision préalable à l'EIE du projet.

5.3 Phase d'élaboration du projet (EIE)

Tous les grands projets, y compris les projets d'infrastructure, sont soumis à une Étude d'Impact (EIE), conformément à la directive du Conseil (97/11/CE du 3 mars 1997).

L'EIE porte sur un projet spécifique. Cette procédure garantit une évaluation détaillée des effets environnementaux négatifs et positifs des différentes solutions, en fonction des évaluations détaillées effectuées lors de l'EES, qui varient selon les pays. Le cadrage, décrit au paragraphe 4.1 du présent manuel, sert de base à l'examen des variantes. Ces évaluations sont suivies de recommandations pour les mesures destinées à réduire ou à compenser les impacts négatifs sur l'environnement.

Tous les indicateurs environnementaux sont également évalués dans le cas où le projet ou le plan ne serait pas mis en œuvre. Cette situation est souvent appelée « scénario statu quo ». Elle est décrite essentiellement pour servir de référence. L'EIE est utilisée comme document de base pendant toutes les phases de planification et de conception du projet ; elle sert de référence commune et d'outil de communication.

5.3.1 Champ de l'EIE

Les évaluations portent sur tous les domaines de l'environnement, tel que l'air, le sol, les eaux superficielles et souterraines, et prennent en compte les impacts physiques et chimiques sur les écosystèmes, la flore et la faune, ainsi que les effets sur le paysage et le patrimoine ayant une valeur récréative ou culturelle. L'EIE examine également les interactions entre ces éléments, ainsi que les effets cumulatifs d'autres projets ou aménagements.

Elle doit comprendre au minimum :

- Une description du projet incluant des informations sur le site, la conception et la portée du projet à tous les stades
- Un aperçu des principales variantes examinées par le concepteur ou proposées par la population (y compris l'option « statu quo ») et une indication des principales raisons de ce choix, tenant compte des effets environnementaux
- Une description des mesures proposées pour éviter, atténuer et réduire les effets les plus négatifs sur l'environnement
- Une description complète de la méthode et des données utilisées pour l'évaluation, avec un aperçu des parties de l'évaluation pour lesquelles il manque des informations
- Un résumé non technique de l'évaluation

5.3.2 Paramètres de l'EIE

Pour décider si des mesures d'évitement, d'atténuation ou de compensation sont nécessaires, on utilise les paramètres suivants :

- Zones de conservation spéciale (patrimoine mondial, directive européenne "Habitats", convention Ramsar, etc.)
- Espèces animales rares et menacées (figurant sur les listes rouges de l'UICN)
- Communautés de plantes et types de végétation rares et menacés (forêts, prairies, zones humides, etc.)
- Vallées fluviales et zones humides (l'objectif est de supprimer tout obstacle dans les zones humides)
- Paysages naturels ou culturels préservés et de grande valeur
- Réseaux écologiques importants
- Corridors de dispersion dans les zones déjà fragmentées
- Autres types d'habitats importants

Outre ces indicateurs, la conception technique et la sécurité routière influent sensiblement sur les décisions d'éviter, d'atténuer et de compenser. L'EIE est souvent réalisée en même temps que la conception du projet, selon une procédure itérative incluant les aménageurs, les ingénieurs routiers, les environnementalistes et les architectes. La population fournit souvent des renseignements sur la répartition locale des espèces et des habitats importants. Pour plus de précisions sur la planification et la construction, voir chapitres 6 et 7.

5.4 Évaluation de l'effet de fragmentation de la nouvelle infrastructure et EIE

L'approche doit être analytique et doit comprendre une partie empirique. Elle doit être mise en œuvre par des écologues expérimentés, des biologistes de la conservation et des paysagistes.

Globalement, l'EIE est constituée des étapes suivantes :

- Définition de la zone d'étude
- Inventaire : cartographie, enquêtes sur le terrain et évaluation des caractéristiques naturelles
- Évaluation des conflits éventuels et du risque de fragmentation
- Discussion avec les concepteurs routiers, les aménageurs, les architectes et les environnementalistes
- Redéfinition du tracé et recherches complémentaires
- Choix des variantes à prendre en considération dans la procédure d'EIE
- Planification des mesures d'atténuation et de compensation

Dans la pratique, l'EIE est une procédure itérative, décrite plus en détail au paragraphe 5.4.4 et sur la figure 5.1, ci-contre.

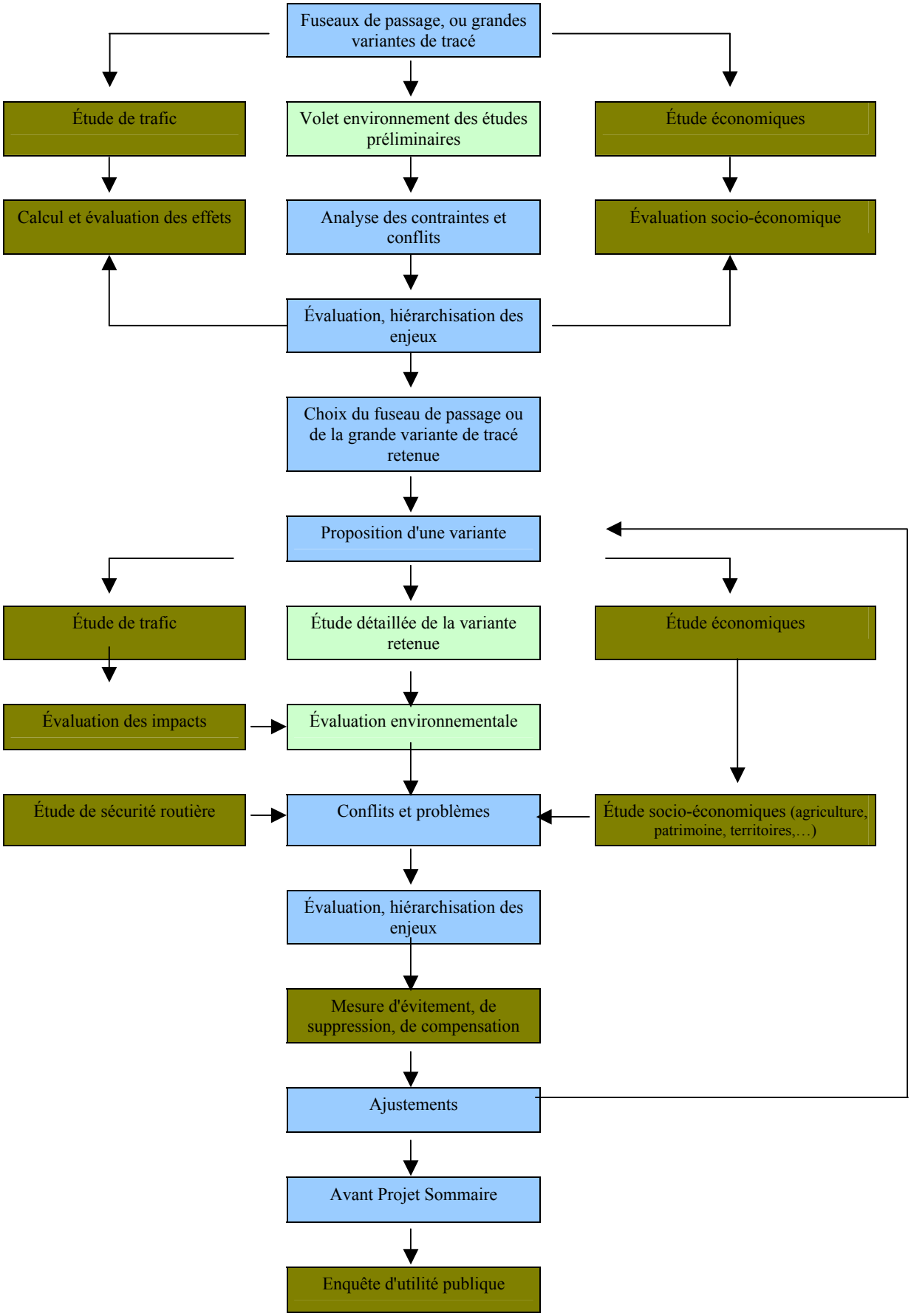


Figure 5.1 – Procédure d'élaboration d'un projet

5.4.1 Définition de la zone d'étude

Une définition claire de la zone d'étude est capitale pour effectuer une étude pertinente des problèmes de fragmentation. En général, la zone d'étude doit être beaucoup plus large que le couloir dans lequel est situé le projet et doit être déterminée par les structures, les fragments et les caractéristiques du paysage qui sont facteurs de fragmentation. Pour la définir, différents niveaux doivent être pris en considération :

- **Niveau national** : observation des grandes voies de migration, des goulets d'étranglement locaux et des liens entre populations isolées - même lorsque les espèces cibles ne vivent pas en permanence dans la zone. L'échelle appropriée pourrait être de 1:250 000.
- **Niveau régional** : examen des impacts de l'infrastructure, des autres obstacles existants dans la zone, de la connectivité topographique, des zones boisées, etc.. Le principal objectif est de décrire la fréquence et l'emplacement des mesures d'atténuation. L'échelle appropriée pourrait être de 1:50 000.
- **Niveau local** : études détaillées de la zone, notamment des populations, des habitats et de leurs emplacements. Les observations des spécialistes locaux, des chasseurs, du personnel des eaux et forêts, etc. constituent de précieuses informations. Le principal objectif est de décrire avec exactitude la fréquence, l'emplacement et les dimensions des mesures d'atténuation. L'échelle appropriée pourrait être de 1:5-10 000.

Les dimensions de la zone d'étude varient avec le degré d'urbanisation et le réseau d'infrastructures. Normalement, plus la densité démographique est faible, plus la zone d'étude est large. Plusieurs échelles cartographiques peuvent être utilisées : une vue générale de la zone est nécessaire pour analyser la fragmentation (soit 1:250 000 et 1:100 000), tandis que des vues plus rapprochées sont essentielles pour localiser avec précision les zones critiques, avant la prise de décision (cartes ou photographies aériennes au 1:25 000 ou même 1:10 000).

5.4.2 Phase d'inventaire

Cette étape comprend une étude des documents de planification, des inventaires de terrain et des cartes.

- Les éléments cartographiés sont les suivants :
- Sites classés, éléments paysagers, paysages non perturbés, et zones côtières et continentales protégées
- Cadre législatif et réglementaire : cartographie et réglementation des zones de protection spéciale, zones d'intérêt particulier pour la flore ou la faune (dont les corridors de dispersion), zones visées par la directive "Habitats" et la directive "Oiseaux", forêts, etc.
- Espèces : localisation des espèces végétales rares ou menacées, sites de grande valeur pour la faune (zones de reproduction ou d'hivernage)

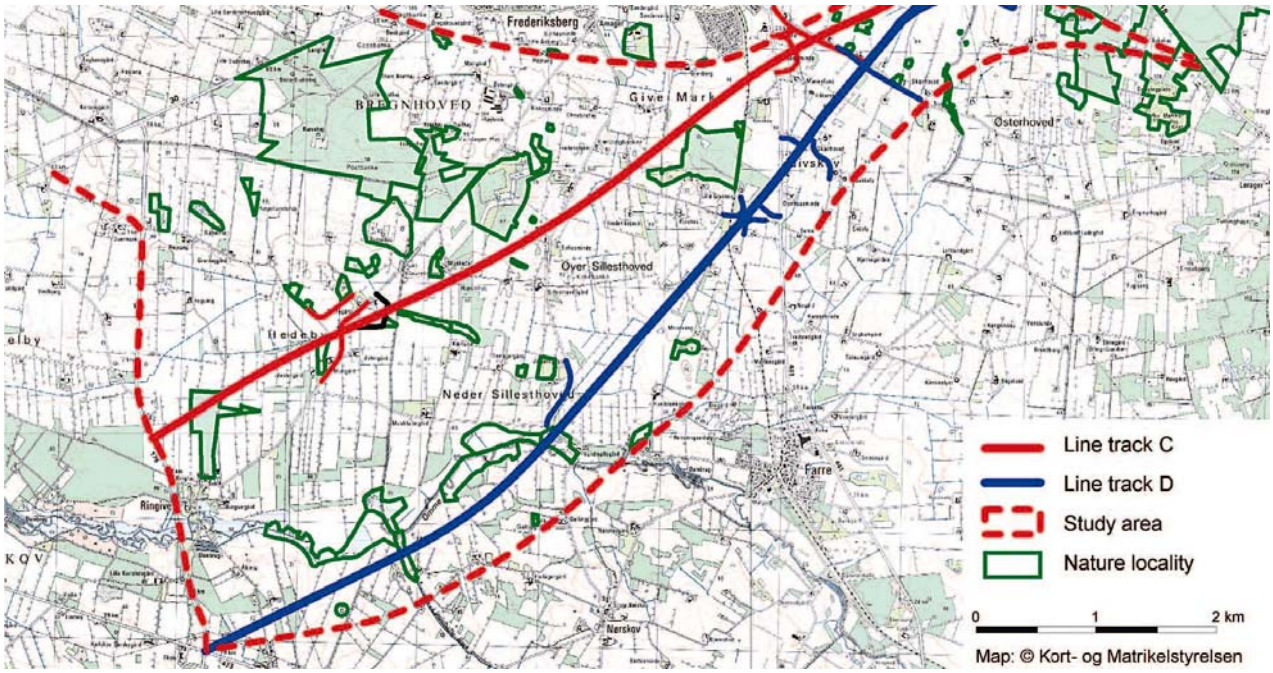


Figure 5.2 - La zone d'étude peut prendre la forme d'étroits couloirs ou de grandes régions lorsque les voies de migration constituent un élément important. Voici un exemple de zone d'étude incluant plusieurs zones d'intérêt écologique (Vejdirektoratet, VVM Brande-Riis, Danemark, 2001).

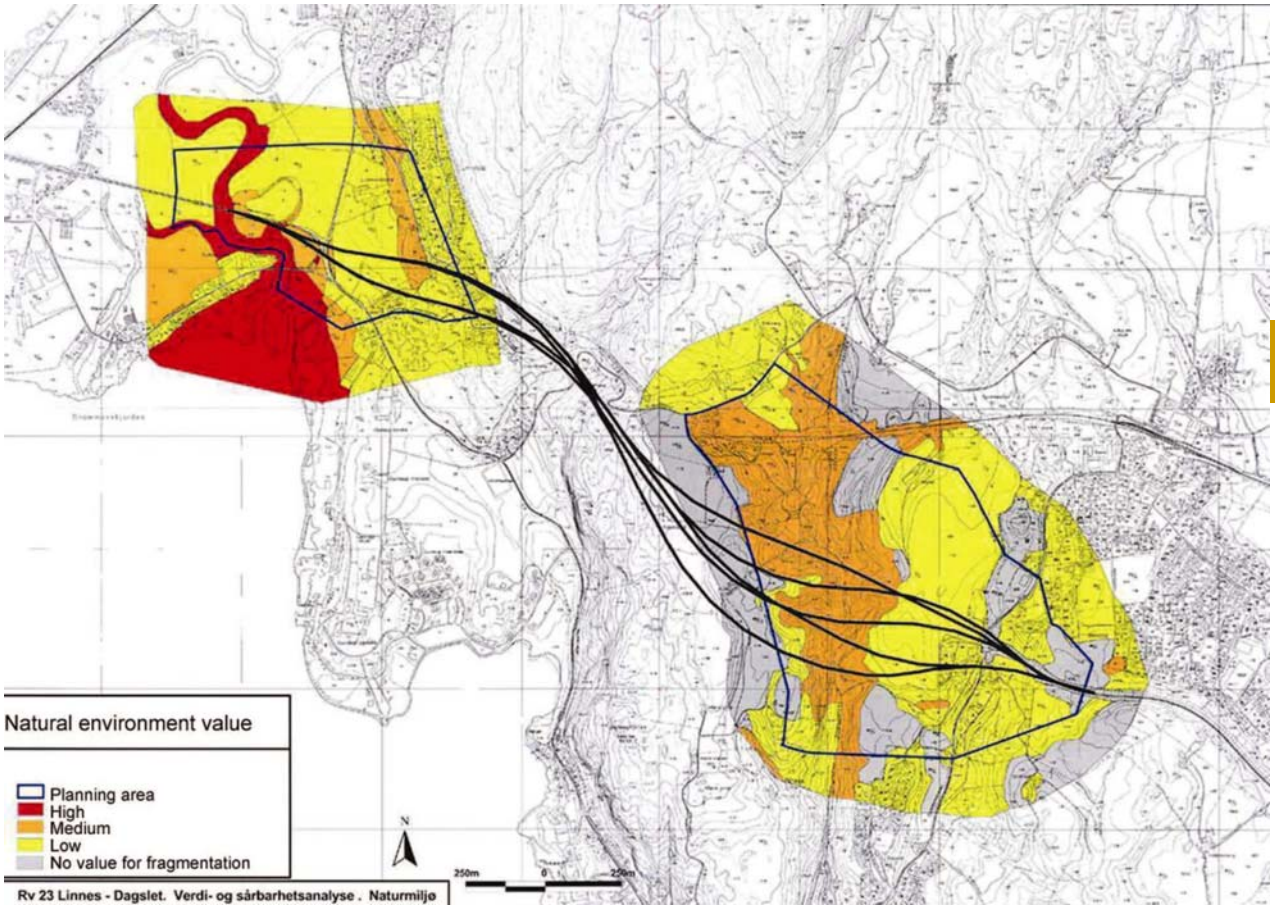


Figure 5.3 - Les échelles des cartes sont déterminantes. Plusieurs peuvent être utilisées parallèlement en fonction des objectifs. La cartographie doit être assez détaillée pour inclure tous les renseignements importants. Voici une carte norvégienne où figurent les caractéristiques des milieux naturels (analyse de la valeur écologique, HW23 Linnes-Dagslet, Statens Vegvesen, Norvège, 2001).

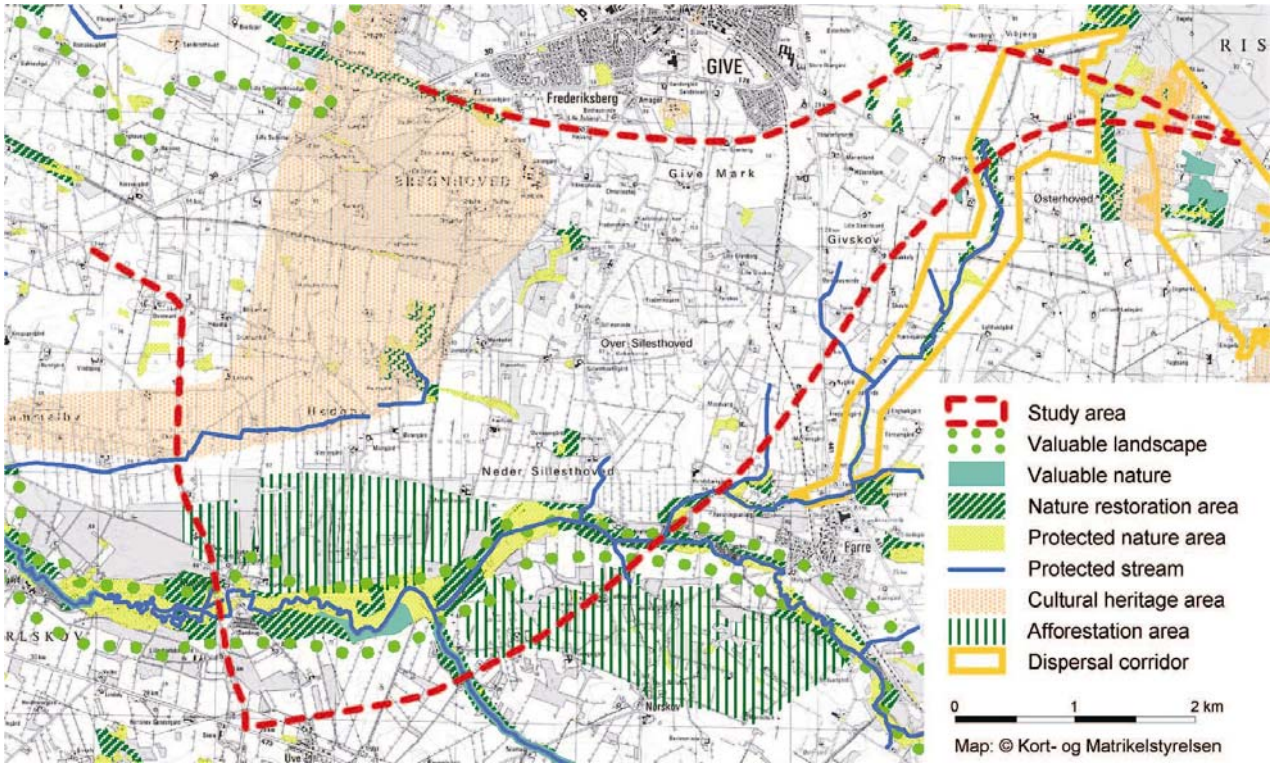


Figure 5.4 - Exemple de cartographie de données spatiales. Les données utiles doivent être cartographiées en tenant compte de la procédure itérative de la planification et de l'étude d'impact. L'utilisation de couches de données, de signes et de symboles compréhensibles facilite la communication entre les parties prenantes (Vejdirektoratet, VVM Brande-Riis, Danemark).

Toutes les couches d'informations spatiales relatives aux aspects environnementaux et au réseau d'infrastructures doivent être cartographiées, de préférence avec un SIG. Les cartes doivent indiquer les points de conflit avec les voies de migration, les effets négatifs éventuels sur les zones vulnérables, la fragmentation des habitats importants, etc.

5.4.3 Procédure d'évaluation écologique

Le patrimoine naturel de la zone d'étude doit être évalué, pour identifier les aspects environnementaux. Cette opération doit se fonder sur l'évaluation des éléments suivants :

Diversité de l'habitat

- Taille de l'habitat
- Degré de perturbation
- Rareté des habitats
- État de conservation (par exemple, réserve naturelle ou site Natura 2000)
- Éléments paysagers importants
- Diversité des espèces
- Présence d'espèces figurant sur les listes rouges, d'espèces protégées et d'espèces énumérées aux annexes des directives Oiseaux et Habitat
- Populations de gibier ou d'espèces emblématiques (espèces chargées d'une valeur culturelle ou émotionnelle forte)
- • Importance et intérêt sur le plan des loisirs et perturbations exercées sur la faune

Chaque option d'itinéraire figure sur une carte, ainsi que son impact et la sensibilité de la zone. Les illustrations doivent montrer les éléments suivants :

- Taille et emplacement des habitats, y compris les petits biotopes isolés, situés de chaque côté du tracé
- Taille approximative des populations de chaque côté du tracé (les populations faibles et isolées sont toujours vulnérables)
- Situation relative, répartition et espacement des fragments d'habitat
- Corridors de dispersion et de migration existants, y compris les connexions écologiques et paysagères et les zones de repos qui ne constituent pas toujours des habitats naturels
- Potentiel de restauration de l'habitat
- Effet de barrière de l'infrastructure sur les petits biotopes comme les mares des populations d'amphibiens
- Effet de barrière de l'infrastructure lié aux zones de loisirs et d'accès au public
- Les cartes servent de base pour analyser les effets éventuels du tracé et identifier les points de conflit entre les caractéristiques naturelles et les variantes proposées.

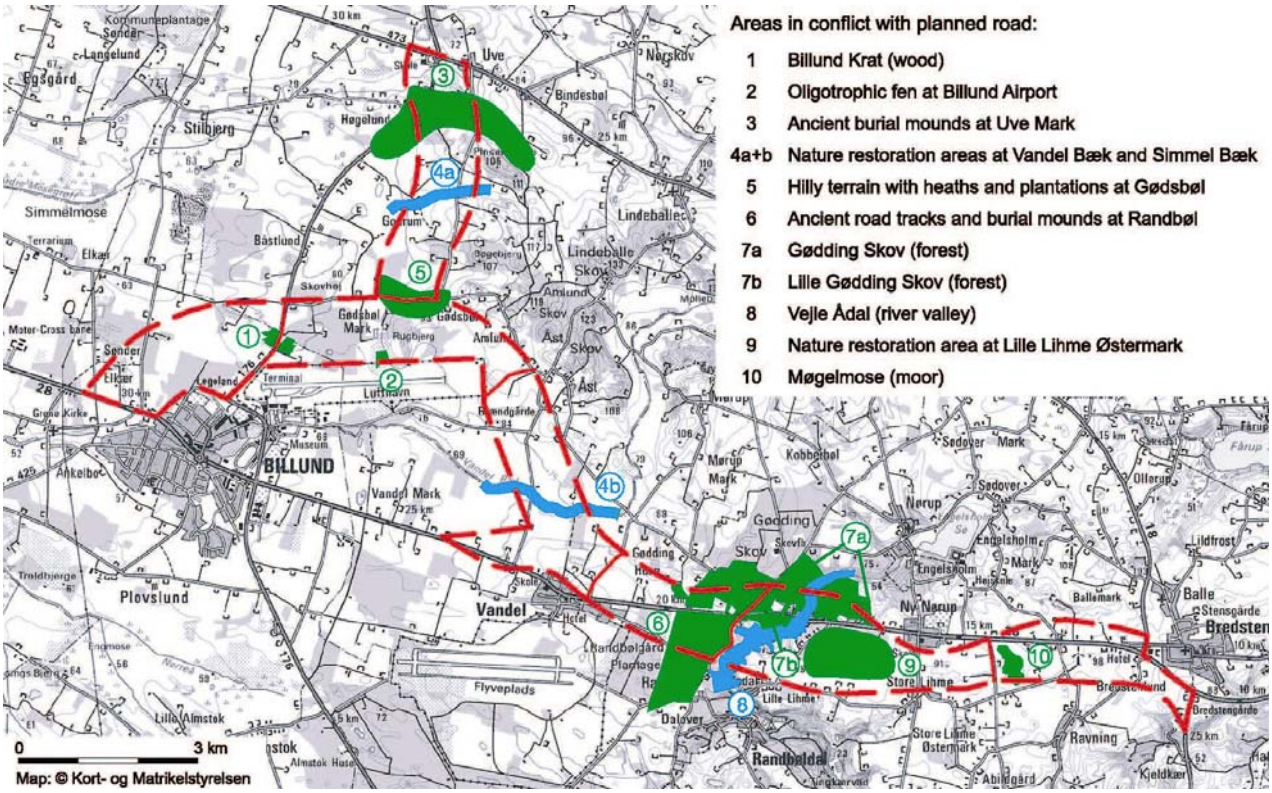
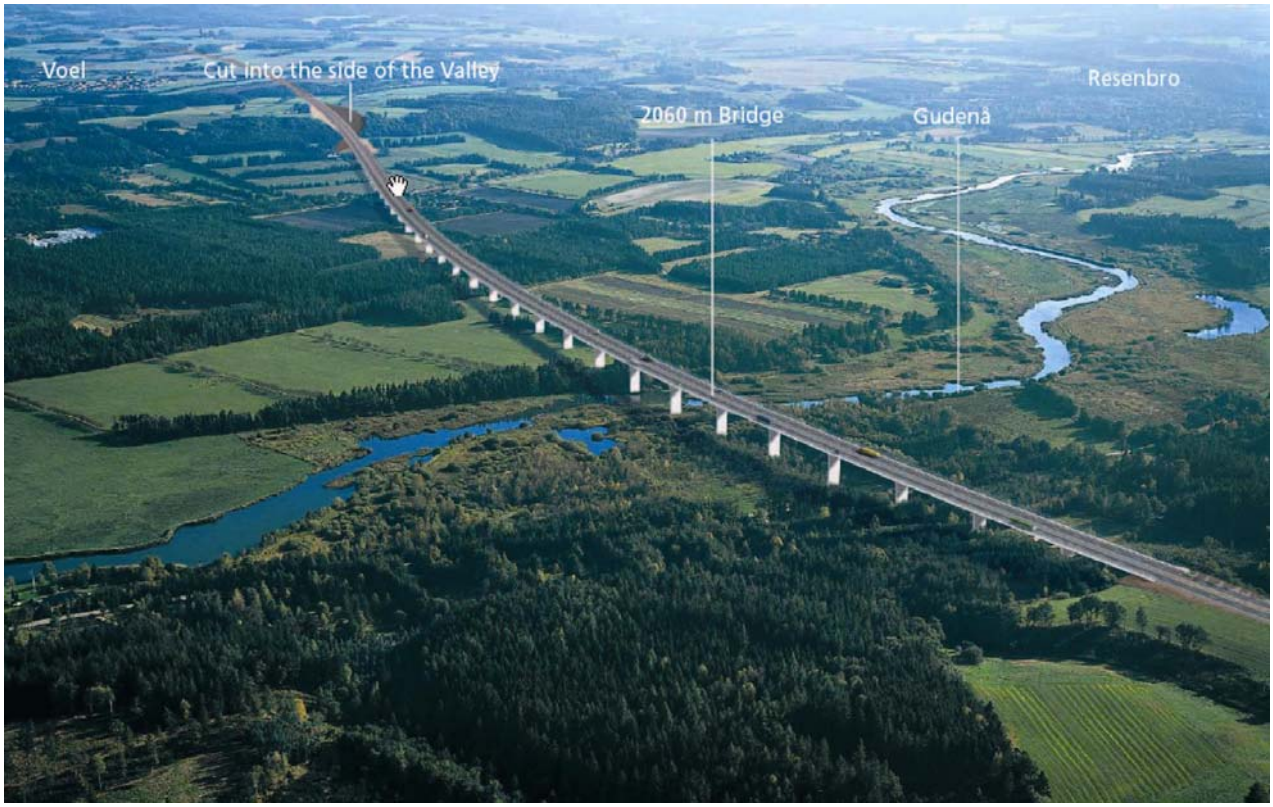


Figure 5.5 - Exemple de cartographie des conflits dans un couloir entre paysage, loisirs et biologie. Le graphisme utilisé doit mettre ces conflits en évidence. Dans le cas présent, il s'agit de la fragmentation des habitats et de l'utilisation récréative du paysage induites par le tracé proposé (Vejdirektoratet, VVM Billund omfartsvej Danemark).



Figures 5.6 et 5.7 - Visualisation par ordinateur des variantes de tracé d'un viaduc franchissant la vallée de la Gudenå, au Danemark (Vejdirektoratet, VVM Motorvejen Herning-Århus ved Silkeborg).

Il faut tenter de maintenir les structures linéaires qui relient des habitats et les populations. Une attention particulière doit être portée aux rivières, aux cours d'eau, aux forêts riveraines, aux corridors boisés, aux réseaux de haies et aux fossés qui, dans un paysage exploité de manière intensive, peuvent souvent constituer le dernier refuge pour de nombreuses espèces. Il convient d'évaluer les possibilités de franchissement de l'infrastructure : ponts, tunnels, conduits, etc. La densité des mesures d'atténuation doit se fonder sur les études de vulnérabilité. Pour plus de précisions, voir paragraphe 7.1

5.4.4 Procédure itérative de localisation et de conception du projet

La procédure itérative est idéale lorsque les ingénieurs routiers, les aménageurs, les architectes, les biologistes de la conservation, les écologues du paysage et les spécialistes du patrimoine culturel ont des éléments à apporter pendant la localisation et la conception du projet.

La procédure multidisciplinaire conduira à modifier les itinéraires et les tracés, à planifier des mesures d'atténuation et à effectuer d'autres adaptations à l'environnement. La procédure de localisation et de conception, qui fait partie de l'EIE, est indiquée à la figure 5.1.

Les conclusions de l'analyse des conflits réalisée pendant la phase d'évaluation doivent être présentées aux aménageurs et aux ingénieurs routiers au cours de l'étape suivante de la procédure.

5.4.5 Examen des variantes

La sélection et le classement des variantes de projet doivent se fonder sur les considérations et les recommandations suivantes (pour une description plus détaillée, voir chapitre 6) :

- La fragmentation doit être évitée, en particulier dans les zones à protéger en priorité et dans les zones non fragmentées.

- Les fonctions des corridors de dispersion doivent être maintenues. Le relief (vallées et sommets) offre souvent l'occasion de réduire les effets de barrière des infrastructures. Les rivières, les cours d'eau, les forêts riveraines, les haies et les rangées d'arbres doivent être pris en compte.

- Les infrastructures doivent être placées dans des couloirs de développement (zones déjà perturbées par l'urbanisation, l'industrialisation, les équipements techniques et les infrastructures), pour éviter la fragmentation des paysages préservés et originels.

- Conservation des éléments paysagers cohérents tels que les vallées fluviales, les littoraux et les sommets montagneux.

Les caractéristiques paysagères et biologiques doivent être évaluées sur le plan technique, visuel et esthétique. Le site a-t-il une grande valeur écologique (fait-il partie, par exemple, du réseau Natura 2000) ? Le tracé peut-il être modifié ? Le tourisme et les loisirs sont-ils importants pour la région ? Peut-on porter une attention particulière à la qualité architecturale des passages ?

Des décisions judicieuses, prises pendant la phase de planification, peuvent supprimer la nécessité de prendre des mesures ultérieures pour réduire les effets de l'infrastructure.

5.4.6 Conception du programme de suivi

Pendant la phase de planification et la procédure de sélection des mesures, l'attention doit également être portée sur le suivi et l'évaluation. Le programme de suivi doit décrire et mettre en œuvre des objectifs précis pour les solutions retenues, ainsi que des critères d'évaluation (voir chapitre 9).

5.5 Ouvrages existants

5.5.1 Amélioration du bilan écologique et résolution des conflits

La construction d'une nouvelle infrastructure, et dans la plupart des cas, le réaménagement d'une infrastructure existante, exigent la prise en compte des effets de fragmentation de l'habitat, notamment dans le cadre d'une EIE. En revanche, il n'existe pas de dispositions légales obligeant à résoudre les problèmes de barrière liés à l'infrastructure existante.

Néanmoins, en vertu de la directive Habitat (1992), les États membres de l'UE sont tenus « d'instaurer un système de contrôle des captures et mises à mort accidentelles des espèces animales énumérées à l'annexe IV point a) ».

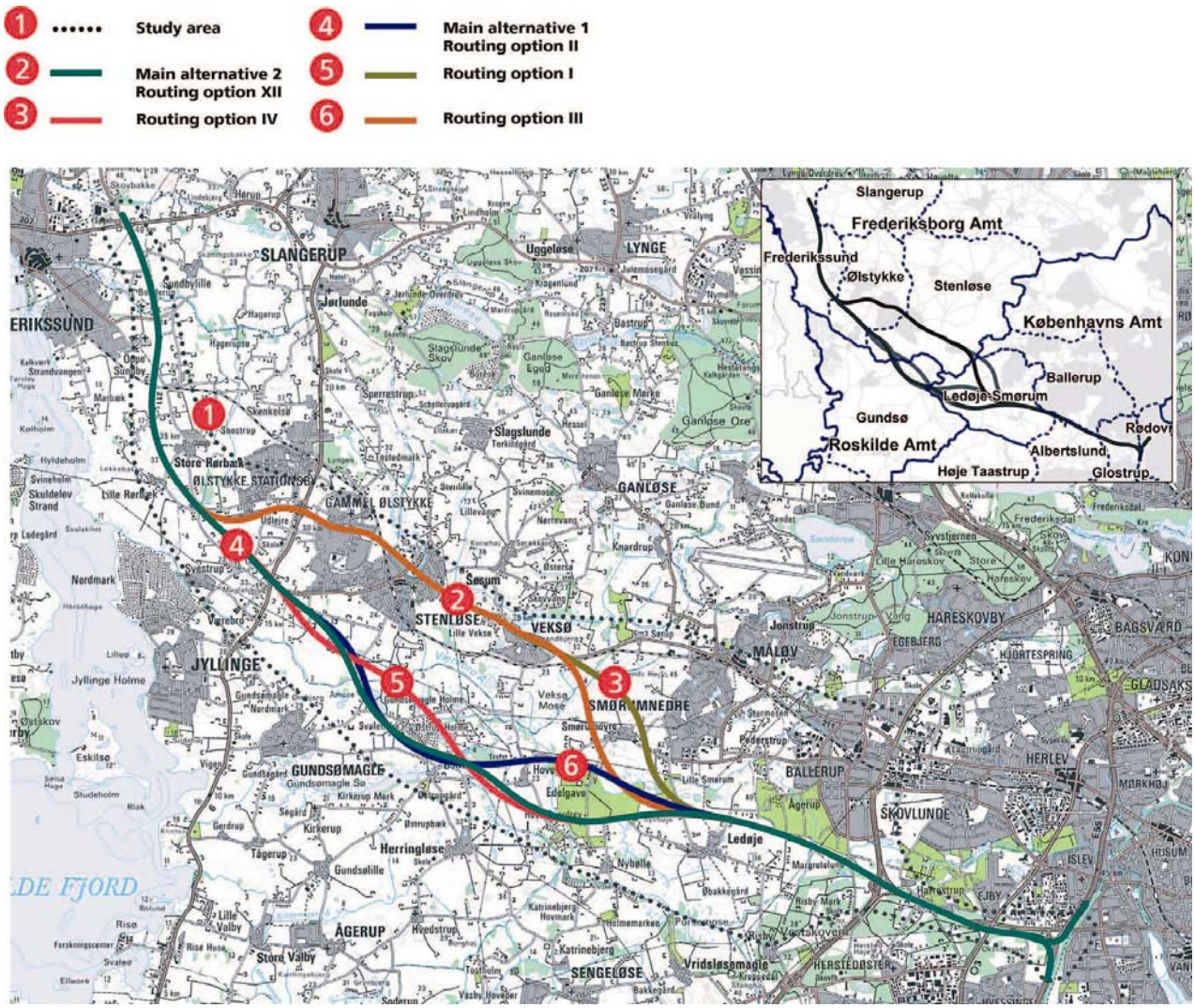


Figure 5.8 - Exemple d'un plan montrant les variantes de tracé et la zone d'étude (Vejdirektoratet, VVM Frederikssundsmotorvej, Danemark).

Cette clause vise donc aussi la mortalité routière et la directive s'applique aux routes existantes. L'annexe dispose que pour les espèces sur lesquelles les morts accidentelles s'avèrent avoir un effet négatif, des mesures de préservation doivent être prises.

5.5.2 Cartographie des obstacles

L'objectif de la cartographie des obstacles est d'identifier les points ou les sections sur lesquels la route entre en conflit avec les structures naturelles (rivières, vallées fluviales, forêts, etc.) qui font partie du réseau de dispersion principal ou qui sont des habitats ou des zones de dispersion importants sur le plan local.

Cette opération vise également à déterminer quand et comment améliorer les mesures existantes et s'il est nécessaire d'établir de nouvelles mesures pour compenser les effets négatifs de la route.

Avec une méthode simple, il est possible d'obtenir une vue d'ensemble de l'effet de barrière dû à l'infrastructure existante. Pour ce faire, il convient d'effectuer les tâches suivantes :

- Identification et cartographie des points de conflit
- Recensement et description des points de conflit
- Recommandations de mesures pour réduire les effets de barrière
- Classement des tâches par ordre de priorité

5.5.3 Identification et cartographie des points de conflit

Les critères utilisés pour identifier les points de conflit sont les mêmes que ceux mentionnés au paragraphe 5.4.3. Les autres éléments à prendre en compte sont les suivants :

- Zones enregistrant un grand nombre d'accidents
- Passages supérieurs et inférieurs existants pour les transports, les loisirs et l'agriculture

5.5.4 Recensement et description des points de conflit

La cartographie doit être suivie d'une description détaillée de chaque site examiné, portant sur les ouvrages existants, leurs caractéristiques, leur emplacement, leur type et leurs fonctions. L'état des constructions, des clôtures, des carrefours, des remblais et de la végétation existants doit être relevé. Une évaluation visuelle du site doit également être faite pour optimiser la conception en fonction de la situation spécifique et répondre aux objectifs fonctionnels et esthétiques.

Exemple : nombre de collisions de véhicules avec des élans et des chevreuils, enregistrées par la police, dans le sud-est de la Suède, entre 1995 et 1999

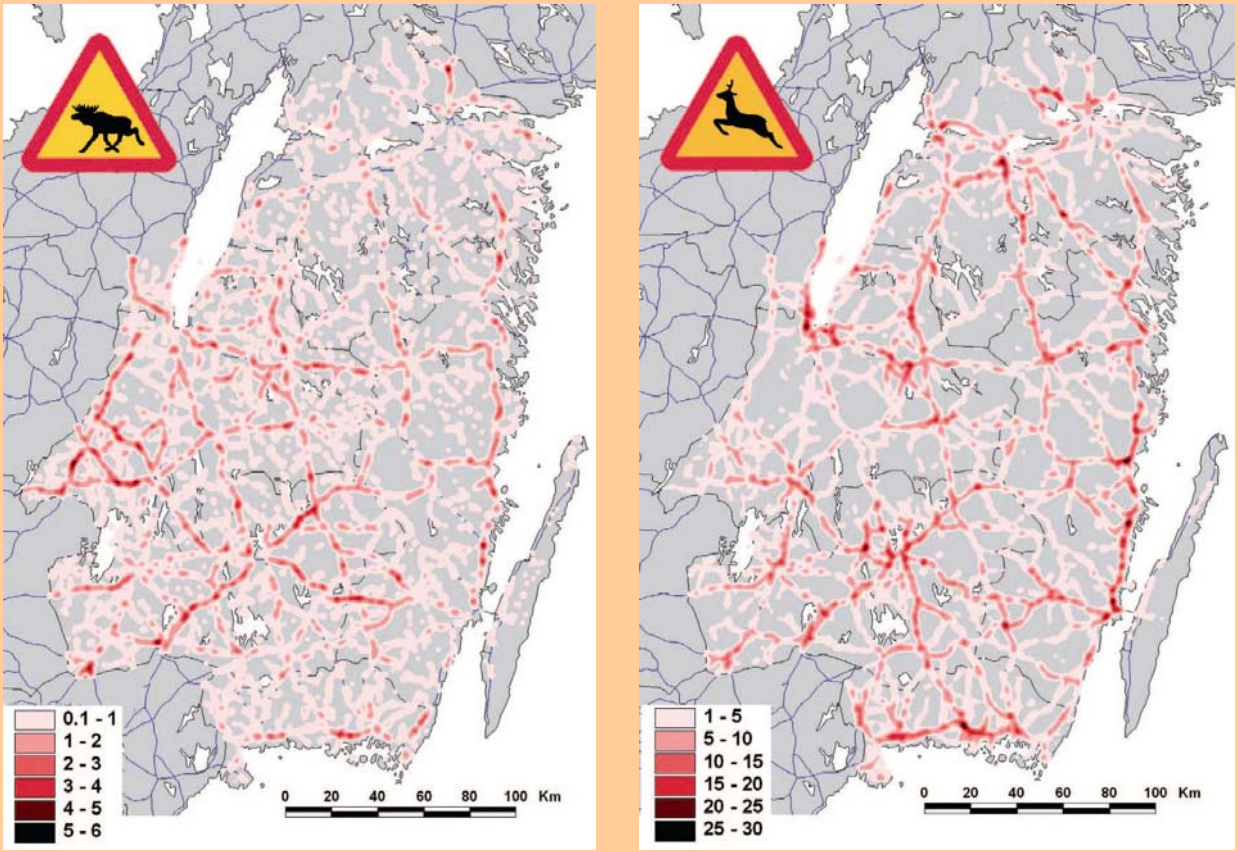


Figure 5.9 - Nombre de collisions de véhicules avec des élans (à gauche) et des chevreuils (à droite), enregistrées par la police, dans un rayon de 2 500 km sur une période de 5 ans (de 1995 à 1999), dans la région sud-est de l'administration suédoise des routes (Andreas Seiler, données non publiées).

Exemple : identification des points et des zones de conflit en République Tchèque

Figure 5.10 - Tous les accidents de la circulation avec des animaux sauvages ont été analysés et cartographiés sur une section de la route D1, de 64 km de long, en République tchèque. En l'espace de trois ans (2000-2003), 145 animaux ont été tués sur ce tronçon : 1 élan, 2 cerfs, 18 sangliers, 2 renards et 122 chevreuils (données non publiées).

Exemple : identification et conservation des corridors à faune en Suisse

La zone d'étude des EIE est généralement de quelques centaines de mètres autour de l'infrastructure prévue. Il est clair que, dans la plupart des cas, cela n'est pas suffisant pour apprécier la capacité relative d'un site à relier des habitats, à grande échelle. Cette étude suisse des corridors à faune s'est attachée à dresser un panorama de la situation sur tout le territoire national, soit 41 285 km^2. Les connaissances des experts ont été recueillies et intégrées dans des modèles basés sur les habitats. Cela a permis d'identifier les corridors à faune, c'est-à-dire les goulets d'étranglement circonscris de manière permanente par des structures naturelles ou anthropiques ou par des zones exploitées de manière intensive. Pour chaque corridor à faune, les mesures nécessaires pour maintenir ou restaurer la connectivité à grande échelle ont été identifiées.

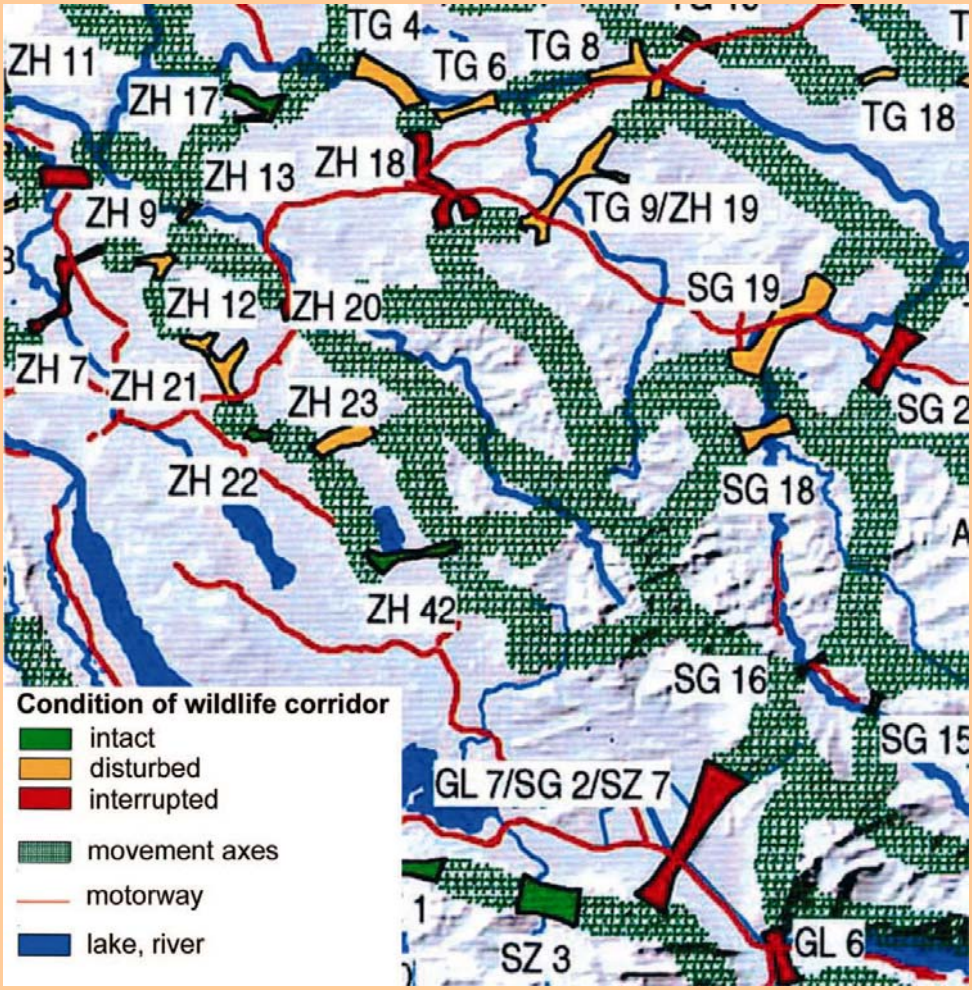


Figure 5.11 - Cet extrait de la carte des grands « axes de circulation » existant en Suisse (points verts) montre les connexions et les tronçons de corridors à faune les plus vulnérables, déjà dégradés ou partiellement interrompus. Il indique l'état de chaque corridor à faune (intact, perturbé ou interrompu). Les premiers travaux de restauration des corridors perturbés ou interrompus (construction de passages au-dessus des autoroutes existantes) ont été entrepris (Holzgang *et al.*, Danemark, 2001).

5.5.5 Recommandations de mesures et établissement de priorités

L'évaluation doit être suivie de recommandations sur les sites ou les sections à aménager pour réduire l'effet de barrière. Les recommandations portent généralement sur des modifications des tunnels existants, l'installation de tunnels nouveaux ou supplémentaires, des plantations et des changements dans les pratiques d'entretien. Il est beaucoup plus coûteux d'établir des passages au-dessus de barrières existantes que sur des routes et des voies ferrées en construction. Pour la majeure partie des infrastructures existantes, les ponts, tunnels et autres ouvrages peuvent être adaptés afin de servir de mesures d'atténuation.

Les passages à l'usage des personnes peuvent aussi, moyennant quelques adaptations, servir à un usage mixte.

Les recommandations doivent inclure :

- Une description des critères utilisés pour localiser les points de conflit

- Une description des objectifs et des cibles (espèces cibles et autres espèces susceptibles d'utiliser les passages)
- Une description des adaptations recommandées (construction, dimensions et matériaux)
- Autres possibilités
- Estimation globale des coûts

Pour plus de précisions sur la conception et la construction, voir chapitre 7.

Il est difficile de donner des recommandations générales pour classer les tâches par ordre de priorité, dans la mesure où les conditions régionales en matière de planification et d'écologie varient selon les pays. Toutefois, à long terme, la priorité doit être donnée à la préservation de l'intégrité du réseau écologique. Dans certains cas, néanmoins, il peut être nécessaire de préserver un habitat local pour une seule espèce. Dans d'autres, il peut être pratiquement impossible d'améliorer les conditions, étant donné l'emplacement de la route dans l'environnement par exemple. En outre, sur la plupart de sites, il faut privilégier les améliorations visibles et mineures des passages existants ou à la modification des pratiques d'entretien.

Principes fondamentaux pour les sections d'infrastructure nécessitant des mesures :

- Donner la priorité aux zones réunissant plusieurs points de conflit
- Évaluer les avantages à long terme des mesures d'atténuation par rapport aux coûts

5.5.6 Modération du trafic

Modérer le trafic en réduisant les dimensions des infrastructures peut être une bonne solution pour diminuer la mortalité animale et la fragmentation des habitats. Dans certains cas, la fermeture temporaire ou saisonnière d'une route peut être recommandée pour éviter, par exemple, la mort des amphibiens pendant les périodes de migration, ou pour empêcher le transfert de grandes quantités de neige de la chaussée vers les zones périphérique. Pour plus de précisions sur les mesures de modération du trafic, voir paragraphe 7.5.1.

5.5.7 Déclassement de l'infrastructure

Lors de la construction d'une nouvelle infrastructure parallèle, il convient d'envisager la suppression de l'ancienne infrastructure. Les possibilités de réduction de l'effet de barrière par la suppression ou le rétrécissement de la route ou de la voie ferrée doivent être prises en compte, en analysant la nécessité et l'utilité de l'ancienne infrastructure. Il existe plusieurs cas de voies ferrées enlevées en partie ou en totalité, qui constituent maintenant d'importants corridors verts dans des paysages urbains ou agricoles très exploités. Dans d'autres cas, d'anciennes lignes de chemin de fer ont été adaptées pour les loisirs (voir paragraphe 7.5.2).

5.6 Réaménagement des routes et voies ferrées

Le réaménagement d'une infrastructure accroît souvent l'effet de barrière. Si l'infrastructure existante n'a pas été construite en prévoyant des mesures d'atténuation, les nouveaux travaux sont une excellente occasion d'en intégrer. Il est généralement beaucoup plus coûteux d'établir des passages au-dessus de barrières existantes que sur des routes et des voies ferrées en construction.

Il se peut que les études environnementales réalisées initialement ne soient plus valables et qu'une nouvelle évaluation soit nécessaire : la fragmentation provoquée par l'infrastructure pourrait avoir déjà affecté le secteur et d'autres facteurs de fragmentation, non prévus au moment de l'étude, peuvent être apparus. En général, le réaménagement d'une infrastructure exige la réalisation d'une EIE similaire à celle décrite aux paragraphes 5.3.1 à 5.3.4.

Comme dans le cas précédent, cette étude permet de réaliser les opérations suivantes :

- Analyse et classement des priorités en superposant l'infrastructure à réaménager sur les cartes des caractéristiques naturelles et de la fragmentation existante.
- Identification des zones de conflit entre les caractéristiques naturelles et le tracé.
- Discussion sur les effets éventuels du tracé. La sensibilité des habitats à la fragmentation, la mobilité des animaux, la taille de leurs domaines vitaux et leur sensibilité aux perturbations sont tous des facteurs à prendre en compte.

- Les possibilités d'augmentation de la densité et de la vitesse du trafic, à la suite du réaménagement de la route, sont aussi à prendre en considération.

L'objectif de cette analyse est de décrire les moyens de réduction de la fragmentation causée par l'élargissement de l'infrastructure ou d'envisager d'autres solutions, en tenant compte des éléments suivants :

- Les routes anciennes, très courbes, peuvent être difficiles à élargir et à adapter aux critères de qualité et aux normes modernes de sécurité routière.

- Les barrières larges sont difficiles à franchir à l'aide de passages inférieurs, qui peuvent être plus longs et plus sombres et requérir des constructions plus grandes.

- Dans certains cas, l'environnement est mieux respecté en construisant une nouvelle infrastructure adaptée au paysage et équipée de ponts et d'écoducs, qu'en réduisant les barrières dues à l'ancienne infrastructure placée sans tenir compte du paysage ou des habitats.

5.7 Coûts et avantages

La planification d'une nouvelle infrastructure ou le réaménagement d'une infrastructure existante comprend l'examen des aspects économiques : coûts, effets et avantages de ces investissements. Bien que les effets environnementaux soient souvent difficiles à calculer en termes monétaires, les principes de l'analyse « coûts-avantages » ou de la méthode du « consentement à payer » sont souvent utilisés à cette fin. Ces méthodes sont basées sur des calculs monétaires et doivent être complétées par une description des avantages non monétaires, pour offrir une analyse complète des investissements et des conséquences.

Les calculs et les descriptions des coûts et avantages varient considérablement d'une région à l'autre et doivent donc être basés sur des indicateurs locaux.

Les aspects économiques sont décrits plus en détail dans le rapport européen COST 341, paragraphe 8.2 (Trocmé *et al.*, 2002).

5.7.1 Description des coûts

Pendant la procédure de planification, de nombreux paramètres sont examinés en même temps et la solution proposée est souvent le résultat de l'analyse de différents indicateurs fonctionnels, économiques et environnementaux. Il peut être très difficile d'isoler les coûts liés aux problèmes de fragmentation. Une méthode intégrée et une procédure de planification itérative permettront d'élaborer des solutions efficaces aux coûts réduits et aux avantages élevés. Le choix de solutions déterminées par la topographie permet souvent de réduire sensiblement les coûts des mesures d'atténuation. Dans d'autres cas, l'utilisation de matériaux de récupération pour construire les passages supérieurs peut constituer une solution rentable.

Une description des coûts liés à la fragmentation doit comprendre les éléments suivants :

- Coûts dus à l'évitement de la fragmentation par la définition d'itinéraires et de tracés plus longs ou plus coûteux

- Coûts dus aux mesures d'atténuation et aux clôtures ajoutées pour réunifier les milieux naturels

- Coûts dus aux limites imposées à l'optimisation d'autres aspects fonctionnels de l'infrastructure

- Coûts dus aux mesures de compensation de la fragmentation causée par la route ou la voie ferrée

5.7.2 Description des avantages

Une description des avantages liés aux questions de fragmentation doit inclure :

- Les avantages liés à la protection de la nature à long terme et de la biodiversité en général

- Les avantages liés au maintien de la cohérence écologique dans le paysage

- Les avantages liés à la préservation des habitats des espèces vulnérables

- Les avantages liés à l'évitement des accidents de la circulation causés par la faune

La valeur de la protection de la nature et de la biodiversité peut être déterminée à l'aide de la méthode du « consentement à payer". Il faudra interpréter les résultats en se rappelant que l'évitement, l'atténuation ou la

compensation de la fragmentation des habitats est un avantage à long terme, souvent irréversible. En d'autres mots, les avantages persisteront tant qu'on veillera à la qualité des interrelations entre l'infrastructure et la structure écologique. Les avantages peuvent souvent augmenter avec le temps, lorsque la nouvelle infrastructure exerce des effets secondaires sur l'urbanisation ou d'autres changements dans l'aménagement du territoire qui augmentent les contraintes exercées sur la fragmentation des habitats. Le calcul des avantages doit donc prendre en compte l'efficacité à long terme des mesures d'évitement et d'atténuation.

5.7.3 Investissements réduits dans une infrastructure existante

Les ouvrages anciens sur les routes et les voies ferrées peuvent souvent faire fonction de mesures d'atténuation, une fois légèrement adaptés ou modifiés. Ces investissements n'ont pas toujours un effet déterminant sur la fragmentation des habitats, mais ils peuvent renforcer la cohérence écologique du paysage environnant. Même les dépenses peu élevées peuvent alors procurer des avantages importants. La méthode de planification recommandée est décrite au paragraphe 5.5.

5.7.4 Longévité des solutions

La longévité des mesures d'évitement, d'atténuation et de compensation est essentielle. Les solutions solides et pérennes ainsi que les ouvrages d'une longue durée de vie sont vivement recommandés. La faune et la flore peuvent être très sensibles aux perturbations temporaires dues à une rénovation des mesures d'atténuation, qui pourrait accentuer l'effet de fragmentation. Les solutions bon marché peuvent réclamer un entretien plus coûteux et compromettre les avantages à long terme. Du point de vue du rapport coûts-avantages, les mesures d'atténuation doivent être conçues et construites pour durer aussi longtemps que l'infrastructure.

5.8 Recommandations

Pour planifier la réduction de la fragmentation, il convient d'envisager les aspects suivants :

- Intégration totale des questions de fragmentation dans l'EES et l'EIE, pour obtenir les meilleurs éléments de décision en ce qui concerne les programmes, les options de tracé et les détails de la conception.
- Les informations environnementales et écologiques doivent être détaillées pour planifier la réduction de la fragmentation due aux infrastructures nouvelles et existantes.
- Une EIE détaillée, similaire à celle utilisée pour la planification des routes nouvelles, est également nécessaire pour le réaménagement de routes et de voies ferrées.
- L'analyse coûts-avantages basée sur des calculs monétaires doit être complétée par une analyse des avantages non monétaires, afin d'offrir une estimation complète des investissements et des conséquences.

5

6 Intégration d’une infrastructure linéaire de transport dans le paysage

Table des matières

6 Intégration d’une infrastructure linéaire de transport dans le paysage 55

6.1 Introduction 57

6.1.1 Effets possibles de l’aménagement d’une infrastructure sur le relief 57
6.1.2 Approche multidisciplinaire 57
6.1.3 Principes d’atténuation 57

6.2 Tracé 58

6.2.1 Cas des paysages accidentés 59
6.2.2 Cas des paysages plats 60
6.2.3 Franchissement de vallées 60
6.2.4 Franchissement de cours d’eau 62
6.2.5 Échangeurs et giratoires 62

6.3 Terrassements : déblais et remblais 63

6.3.1 Emplacement 63
6.3.2 Ruptures de pente 63
6.3.3 Terrasses 64
6.3.4 Affleurements rocheux 64
6.3.5 Merlons 65
6.3.6 Nivellement de déblais et remblais 65

6.4 Solutions de conception 65

6.4.1 Tunnels 65
6.4.2 Utilisation de la végétation 66
6.4.3 Clôtures, murs et délimitations 68
6.4.4 Écrans 68
6.4.5 Éclairage 68
6.4.6 Drainage 69

6.5 Recommandations 70

6

Résumé

Ce chapitre décrit les principes et les éléments essentiels d'une intégration réussie des routes, des voies ferrées et des voies navigables dans les paysages et les habitats adjacents. L'accent est mis sur les aspects de l'intégration, les plus utiles, pour réduire la fragmentation des habitats.

6.1 Introduction

6.1.1 Effets possibles de l'aménagement d'une infrastructure sur le relief

La construction d'une nouvelle infrastructure peut influer sur le relief de nombreuses façons :

- Perte d'habitat et fragmentation des espaces naturels
- Modification de la nappe phréatique ainsi que des modes et des réseaux de drainage
- Barrière physique et intrusion visuelle dues à :
  i) l'infrastructure elle-même ;
  ii) des travaux de terrassement importants ;
  iii) des remblais traversant les vallées et les plaines ;
  iv) des déblais fragmentant les habitats et entaillant les collines ;
  v) des croisements inopportuns pouvant créer des obstacles à la circulation de la faune et faire intrusion dans le paysage.

Un bon tracé et une conception adaptée permettent de réduire l'ampleur de ces effets.

6.1.2 Approche multidisciplinaire

L'intégration et la réduction des effets de fragmentation d'une infrastructure linéaire de transport sont mieux réussies lorsqu'on engage une équipe de projet multidisciplinaire, composée d'ingénieurs et d'environnementalistes. Les décisions sur la conception doivent prendre en compte le rapport entre les contraintes environnementales et les coûts. Mais en dernier ressort, elles dépendront de la faisabilité technique et des questions de sécurité. Toutefois, il faudra envisager de modifier les normes techniques pour les adapter aux contraintes environnementales.

- Le principal objectif de conception est de créer une infrastructure linéaire de transport harmonieuse s'intégrant à l'environnement naturel.
- Afin de maintenir les liaisons et les corridors pour la faune et la flore la connection avec les milieux adjacents doivent être bien assurée au-dessus et au-dessous de la route, de la voie ferrée ou de la voie navigable.

Tous les éléments techniques de l'infrastructure doivent être conçus de façon à s'intégrer au mieux dans les habitats naturels (par exemple, construction d'un viaduc à la place d'un remblai important pour franchir une vallée).

6.1.3 Principes d'atténuation

Pour une atténuation optimale, il convient de choisir le tracé causant le moins de dommages, associé à une conception adaptée. Les principes fondamentaux sont d'éviter les dommages et les effets directs ou, si cela n'est pas possible, d'atténuer les impacts. Lorsque ceux-ci ne peuvent pas être véritablement atténués, des mesures compensatoires peuvent s'avérer nécessaires. Une attention particulière doit être portée à la conception détaillée des terrassements, qui sont indispensables à une atténuation réussie des impacts et qui peuvent se fondre dans le paysage adjacent. Ces travaux sont abordés plus en détail dans les paragraphes suivants. Les autres principes d'atténuation importants sont les suivants :

- Utiliser pleinement les pouvoirs conférés par la loi pour l'acquisition de terrains et/ou les procédures relatives à l'occupation des sols sur lesquels des mesures d'atténuation peuvent être mises en œuvre.
- Lorsqu'une route ou une voie ferrée nouvelle ou réaménagée touche un site d'importance européenne (visé par les directives « Oiseaux » ou « Habitats »), les terres réservées à la compensation de la dégradation de l'habitat doivent être protégées, aménagées et gérées de manière appropriée.
- Réaliser une conception permettant d'assurer un entretien efficace et tenant compte des contraintes majeurs liées au site

6.2 Tracé

Le tracé de l'infrastructure et la conception des terrassements doivent être adaptés à la topographie, à grande échelle, ainsi qu'au relief, à petite échelle. Le principe de base est de travailler sur la topographie en utilisant les techniques routières pour réduire la fragmentation de l'habitat en exploitant au maximum les connexions au-dessous et au-dessus de l'infrastructure. Les terrassements doivent s'adapter aux changements même mineurs dans les caractéristiques géologiques, rencontrés le long du tracé. La conception de chaque projet doit prendre en compte l'ensemble des normes relatives au tracé vertical et horizontal. Ces normes varieront considérablement selon le type d'infrastructure. Une route à chaussée unique en zone montagneuse, peu fréquentée, peut présenter des courbes plus étroites et une déclivité plus forte qu'une autoroute à 2 fois 3 voies qui, en raison de la vitesse et de la densité du trafic, devra présenter une déclivité plus faible et des courbes plus larges. Un assouplissement des normes de conception peut être utilement adopté pour contourner un site protégé sans compromettre la sécurité routière.

La présence d'espèces ou d'habitats protégés ou rares dans la région peut influer sur le choix du tracé et des terrassements dans la solution de conception. Pour limiter les intrusions dans un habitat de grande valeur, des solutions innovantes peuvent être nécessaires, comme un ouvrage de soutènement lorsque la route ou la voie ferrée est en déblai, ou bien un viaduc de faible hauteur, à la place d'un remblai. L'adoption d'un tracé suivant les contours naturels constitue en général une bonne pratique. Elle permet d'intégrer une route dans le paysage, de réduire la nécessité de terrassements et de diminuer les perturbations dans l'aménagement des terres adjacentes.

Figure 6.1 - Contournement Batheaston/Swainswick par l'A4 et l'A46, dans la région des Cotswolds, au Royaume-Uni. Cette zone naturelle protégée est adjacente à la ville de Bath, inscrite au patrimoine mondial. L'aménagement du paysage et la conception de la route ont été réalisés en même temps afin que l'infrastructure soit le mieux adaptée possible au relief. Les merlons et les remblais peu élevés ont été largement utilisés pour occulter la circulation et fondre les pentes artificielles dans le relief (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

6.2.1 Cas des paysages accidentés

Un tracé longeant le pied d'un grand massif permet de cacher l'infrastructure dans le paysage. Un tracé adapté peut même s'intégrer à un massif de faible altitude ; pour camoufler l'ouvrage, une élévation de cinq mètres suffit. Les avantages pour la faune sont la réduction du bruit, la diminution des perturbations causées par les phares des véhicules et la suppression du salage.

Bien que les tracés découpant l'horizon doivent généralement être évités, un tracé longeant la crête d'un grand massif peut présenter des avantages environnementaux puisqu'il évitera le fond de la vallée, où l'infrastructure pourrait avoir un impact important sur les habitats sensibles des zones humides.

Lorsque l'infrastructure gravit ou longe le flanc d'une vallée, l'effet d'intrusion peut être important.

Dans ce cas, les terrassements doivent être situés et conçus de manière appropriée. Les grands travaux peuvent être évités en suivant les contours des sommets de la vallée.

Les routes à chaussées séparées et les pentes adoucies et rendues à leur usage initial sont de bonnes solutions de conception.

Toutefois, il faut prendre soin de ne pas niveler des pentes dans des zones d'habitat d'espèces à protéger.

Figure 6.2 - Le contournement de Brighton par l'A27 longe la zone naturelle protégée des South Downs, dans le sud de l'Angleterre. L'aménagement de déblais et de remblais d'une pente de 1/6 a permis d'adapter la route au relief de ces plaines vallonnées (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

Il sera possible de placer de courtes sections d'infrastructure sur des viaducs de faible hauteur afin de maintenir un point de contact dans le paysage. Pour plus de précisions, voir paragraphe 7.3.1. Suivre le fond d'une vallée ne peut constituer une solution satisfaisante que si le tracé évite ou réduit les occasions de franchissement des cours d'eaux et autres caractéristiques linéaires.

6.2.2 Cas des paysages plats

Le caractère des paysages plats peut varier énormément ; un tracé et une conception appropriés doivent prendre en compte l'échelle et le contexte du paysage, ainsi que les principes suivants :

- La fragmentation de l'habitat doit être réduite en intégrant des points de franchissement réservés aux espèces cibles dans la conception du projet. Ainsi, sur les remblais peu élevés, on peut construire des passages hydrauliques à banquettes sèches ou des tunnels spécifiques, pour blaireaux ou amphibiens (voir paragraphe 7.3.5).
- Toutes les infrastructures de transport doivent respecter le plus possible les niveaux du relief, tout en prévoyant un point de franchissement d'une hauteur libre suffisante pour la faune, comme un tunnel ou un passage inférieur pour mammifères.
- Les tracés utilisant les caractéristiques topographiques, le drainage et la végétation existants sont souvent les meilleurs.
- Les paysages plats, en particulier les zones humides, sont souvent d'une grande valeur sur le plan environnemental ; les perturbations des sols doivent être réduites. La construction d'un viaduc d'une faible hauteur peut constituer la meilleure solution pour franchir une zone humide lorsque cela est inévitable.
- Les caractéristiques paysagères (fossés et haies) doivent être respectées.

6.2.3 Franchissement de vallées

Les infrastructures peuvent franchir les vallées à l'aide de remblais ou de viaducs. Ces derniers présentent des avantages pour l'environnement si le point de franchissement est bien choisi. Ils sont adaptés aux vallées étroites et encaissées, pour les raisons suivantes :

- Ils réduisent l'emprise sur le paysage et la fragmentation dans la vallée en préservant les cours d'eau et tous les éléments présentant une valeur écologique qu'ils surplombent.
- Ils maintiennent la continuité nécessaire à la circulation des espèces.
- Ils préservent la vue de la vallée, depuis le fond et le sommet.

Pour plus de précisions, voir paragraphe 7.3.1.

Les remblais sont plus adaptés aux vallées larges et évasées, pour les raisons suivantes :

- Ils permettent de maintenir quelques liaisons si les tunnels et les passages inférieurs sont bien situés et dimensionnés. Dans les autres cas, un tracé peu élevé peut permettre la construction d'un passage supérieur.
- Ils peuvent être bien intégrés au relief grâce à une utilisation appropriée des terrassements et des plantations.
- Ils sont plus adaptés à l'implantation de rideaux de verdure.

Figure 6.3 - M6, région de Cumbria, dans le nord de l'Angleterre. La route longe le sommet d'un grand massif et évite la vallée fluviale. Sur les accotements, la végétation typique de ces plateaux a été restaurée (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

6.4 - Les viaducs réduisent l'emprise sur le paysage et la fragmentation dans les vallées en préservant les cours d'eau et tous les éléments présentant une valeur écologique qu'ils surplombent. Ce viaduc transporte l'A9 au-dessus d'une grande zone humide bordant le fleuve Miño, en Galice, au nord-est de l'Espagne (photographie de AUDASA, Espagne).

Figure 6.5 - M40, vallée de la Cherwell, dans l'Oxfordshire, au Royaume-Uni. Le remblai domine le paysage, mais on a pris soin de respecter le caractère et la forme de la rivière, des deux côtés de la route (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

6.2.4 Franchissement de cours d'eau

Le détournement ou le franchissement d'un cours d'eau sont souvent inévitables ; une bonne conception est nécessaire pour adapter l'infrastructure au paysage et réduire les perturbations sur le cours d'eau et l'environnement. Un franchissement doit diminuer les impacts sur les caractéristiques d'écoulement et la végétation, tout en augmentant les possibilités de création de nouveaux habitats.

En général, les cours d'eau nouveaux ou modifiés doivent être larges et bordés de rives basses pour permettre l'établissement de plantations adaptées, de chaque côté. La conception technique doit respecter les caractéristiques naturelles de l'écoulement et du substrat de la rivière existante. Il existe de nombreux géotextiles et systèmes modulaires, tels que les matelas de gabions, qui permettent de créer des rives résistantes à l'érosion, pouvant accueillir la végétation. Les matériaux employés doivent être locaux et la conception doit être adaptée au site. Il est important de s'assurer que les animaux pourront sortir du fleuve, de la rivière ou du canal ; les pentes escarpées et les éléments en béton doivent donc être évités. Lorsque leur utilisation est

absolument nécessaire, il faut prévoir des marches ou des pentes douces. Les moyens de protection de la nature sont la plantation d'espèces spécifiques, poussant dans les milieux aquatiques comme les saules ou la création d'éléments spéciaux comme les nichoirs pour les oiseaux, des berges sèches et autres aménagements de rives pour les petits mammifères.

6.2.5 Échangeurs et giratoires

Les échangeurs autoroutiers et les giratoires peuvent constituer des pièges ou des isolats pour la faune et sont inesthétiques, sauf lorsqu'ils sont bien situés et construits à l'aide de terrassements modérés, réduisant l'impact des panneaux, portiques, dispositifs d'éclairage et ponts. Ils doivent être conçus de manière à éviter la fragmentation, en prévoyant des passages supérieurs et inférieurs pour les espèces indigènes.

- Les grands carrefours doivent être situés sur un terrain bas, caché par le relief, autant que possible.
- En général, les giratoires doivent être placés à faible hauteur ; leur forme doit être simple et circulaire.

Figure 6.6 - A73, Limburg, Pays-Bas. Les échangeurs ont été plantés d'une végétation dense pour réduire la fragmentation de la forêt (photographie de Rijkswaterstaat, Pays-Bas).

Les zones comprises dans les échangeurs peuvent être très vastes (jusqu'à 40 ha) et, dans certains cas, permettent d'importantes plantations et la création de zones de grande valeur écologique (prairies abritant de nombreuses espèces et zones humides avec bassins d'écrêtement). Toutefois, ces zones

ne doivent pas être isolées des terres voisines, car elles se transformeraient en pièges pour la faune. Elles ne peuvent servir à la création d'un habitat compensatoire.

- Les points de contact avec les différentes parties d'un grand échangeur sont importants pour la circulation de la faune et peuvent être assurés par des conduits ou des tunnels.
- Il peut être nécessaire de poser des clôtures adéquates pour empêcher les grands mammifères de traverser les routes et les voies ferrées à ces intersections, carrefours et croisements très fréquentés.
- Les zones clôturées doivent être équipées de sorties pour les grands mammifères.
- Dans ces échangeurs, la végétation existante doit être préservée autant que possible.

Il faut étudier la disposition des différents éléments de ces intersections (routes, voies ferrées, clôtures) pour éviter de désorienter les animaux et de les conduire vers la route.

6.3 Terrassements : déblais et remblais

6.3.1 Emplacement

Lorsque le profil de l'infrastructure tranche dans le paysage, un déblai peut être un bon moyen de le cacher. Mais les déblais peuvent aussi être inesthétiques, fragmenter les habitats, découper l'horizon ou entailler le flan d'une colline. Un tracé courbe sur un terrain élevé et l'installation de ponts aux endroits appropriés permettent de réduire l'effet d'un déblai sur la ligne d'horizon. Les ponts peuvent être adaptés pour servir à la circulation de la faune et de la flore.

6.3.2 Ruptures de pente

Les déblais sont habituellement construits selon une pente uniforme de 1:2, contrastant avec les pentes naturelles qui sont plus variées et irrégulières. Une bonne conception facilite leur intégration dans le relief naturel et la création de plusieurs sortes d'habitats.

- Les différents types de roche créent des pentes naturelles différentes, que les déblais doivent refléter dans la mesure du possible.
- Les déblais peu profonds, notamment sur les plateaux, peuvent découvrir des formations rocheuses présentant une valeur écologique.
- Il est souhaitable de mettre à nu les strates de la roche mère pour assurer une pente stable qui ne nécessitera pas, pour des raisons de sécurité, l'utilisation d'écrans pare-pierres, de filets de protection ou autres éléments techniques artificiels.
- Dans les zones de bois et de pâturage, une surface de déblai irrégulière facilitera l'intégration de l'infrastructure dans les zones environnantes. Elle pourra offrir des niches pour certains invertébrés et végétaux.
- Il est utile d'adoucir les sommets des déblais pour créer un profil mieux adapté, assurant une meilleure transition avec le relief naturel.

6.3.3 Terrasses

Les terrasses peuvent adoucir les talus des déblais profonds afin qu'ils dominent moins le paysage. Elles peuvent contribuer à la stabilité des sols et faciliter l'établissement de la végétation. Elles créeront également des niches microclimatiques pour un grand nombre de végétaux et d'animaux. Les terrasses doivent être construites en fonction des strates des roches mères.

6.3.4 Affleurements rocheux

Les affleurements rocheux peuvent donner le sentiment d'espace, agrémenter le voyage et protéger la nature. Ils sont souvent préférables aux tentatives de végétalisation des talus trop raides.

- Un profil varié est nécessaire pour des raisons esthétiques et pour l'établissement de la végétation. Une régénération naturelle est préférable.
- Une distance de sécurité doit être ménagée entre l'affleurement et la chaussée.
- Les roches, les sols et la végétation doivent être périodiquement contrôlés et stabilisés.

Figure 6.7 – Autoroute A6, Derbyshire, Royaume-uni. Cet affleurement sur lequel la végétation s'est établie naturellement, et découvrant une belle formation calcaire, donne un caractère particulier à la route. Le mur de pierres sèches le met en valeur (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

Figure 6.8 – Les terrasses adoucissent les talus des déblais profonds et créent de nouveaux microclimats pour de nombreux animaux et végétaux, comme ici sur la route D1, en République Tchèque (photographie de V. Hlaváč).

6.3.5 Merlons

Les merlons sont un moyen d'occulter la route (aux personnes et aux animaux) dans le paysage (une profondeur de 2 m est suffisante pour cacher les voitures). Ils sont particulièrement appropriés sur les terrains légèrement ondulés, où il est impossible de réaliser un déblai naturel. Pour obtenir le meilleur effet, leur revers doit être aménagé comme les terres adjacentes. Le long des sites protégés, les merlons permettent de cacher les effets de l'exploitation d'une infrastructure, comme l'épandage et l'accumulation de sels de déverglaçage, l'éclairage et le bruit.

6.3.6 Nivellement de déblais et remblais

Le nivellement des ouvrages de terrassement facilite l'intégration dans le paysage, tout en assurant une meilleure utilisation des matériaux. Les caractéristiques artificielles dominantes peuvent être adoucies et retrouver un aménagement approprié. Lorsque les talus des déblais ont une pente inférieure à 1:2, on peut éviter le compactage des sols et faciliter l'établissement de la végétation. Il est souvent préjudiciable de niveler les déblais et remblais importants parce que le volume des terrassements rend l'opération impraticable ou que le nivellement se prolongerait dans des zones protégées. Dans ce cas, l'attention doit être davantage portée aux détails du sommet des déblais ou du pied des remblais, aux ruptures de pente et aux surfaces finies.

6.4 Solutions de conception

6.4.1 Tunnels

Un tunnel peut constituer la meilleure solution de conception pour protéger les paysages de grande valeur (voir chapitre 5). Bien que les coûts de construction puissent être élevés, les avantages pour l'environnement seront incalculables (voir chapitre 6). Ces derniers dépendent en effet de la méthode de construction utilisée. Les tunnels forés préservent les sites protégés de grande valeur écologique et causent moins de dommages à l'environnement. Les tunnels en tranchée couverte sont adaptés aux sites de moindre valeur, mais où le maintien de la connectivité des habitats est souhaitable. Les méthodes de restauration de l'habitat permettent d'offrir un point de franchissement à un grand nombre d'espèces.

Figure 6.9 –. Les tunnels forés préservent les habitats situés au-dessus. Ils sont particulièrement appropriés dans les zones vallonnées, comme ici en Bavière, Allemagne (photographie de B. Georgii).

L'emplacement des têtes de tunnel, le traitement de leur paysage, le tracé de la route d'accès, ainsi que la conception et l'emplacement des conduits d'aération et des équipements de contrôle constituent les principales questions de conception environnementale. En effet, les tunnels peuvent représenter une intrusion dans les habitats et être cause de pollution et de perturbations locales pour les espèces sensibles.

Tunnels en tranchée couverte

Un tunnel en tranchée couverte peut être une solution préférable à une tranchée ouverte, car il permet de restaurer le paysage au-dessus de l'infrastructure.

Les éléments paysagers doivent être adaptés au site et soigneusement conçus pour être installés au-dessus de l'ouvrage qui doit être capable, si nécessaire, de supporter des arbres de haute futaie. Les sols originels peuvent être réutilisés s'ils ont été enlevés et conservés de manière à éviter au minimum le compactage et la perte de structure.

Le profil des sols doit être adapté aux terres avoisinantes, en reproduisant leurs caractéristiques hydrologiques ainsi que leur structure physique et leurs propriétés chimiques.

Lorsque le tunnel en tranchée couverte doit être emprunté par un grand nombre d'animaux, le type de végétation naturellement présent dans l'habitat des espèces concernées doit être planté au-dessus du tunnel et sur ses abords.

6.4.2 Utilisation de la végétation

Au stade de la conception, il est important de comprendre le type de végétation et la composition des essences appropriés au cadre de la nouvelle infrastructure de transport. L'intégration dans le paysage, la protection de la nature et l'agrément du voyage sont les principaux aspects à prendre en considération. Lorsque cela est possible, les espèces choisies pour les plantations doivent être indigènes (notamment en zone rurale) et pousser naturellement sur le type de sol adjacent à l'infrastructure. Elles ne doivent pas avoir besoin d'irrigation pour s'établir. S'il y a lieu, la régénération naturelle peut aussi être envisagée comme méthode de remplacement pour repeupler les nouveaux paysages. Si on permet à la végétation de se régénérer naturellement, on obtiendra un habitat beaucoup plus adapté à l'environnement. Certaines régions méditerranéennes font l'objet d'une réglementation particulière relative aux plantations sur les dépendances. En raison du grand nombre d'incendies de forêts qui démarrent depuis les bords de routes, certaines autorités routières, comme en Catalogne au nord-est de l'Espagne, ont interdit l'utilisation de plantes pyrophytes telles que les hélianthèmes, sur les bords de routes. Dans la même région, il est également obligatoire de réaliser des tranchées coupe-feu dans la végétation d'arbres et d'arbustes des accotements et des forêts adjacentes.

Maintien de la végétation existante

- La valeur de la végétation existante et en particulier de la végétation mature, pour la protection de la nature, doit être respectée car elle est associée à un écosystème mature, comprenant également des lichens, des invertébrés, des oiseaux et de petits mammifères (voir chapitre 9).
- La végétation existante doit être maintenue lorsqu'elle a des chances de survivre tout en contribuant à la protection de la nature et à l'intégration de l'infrastructure.
- Le maintien des arbres adultes permet de préserver les habitats de nombreuses espèces.
- Lorsque l'infrastructure traverse une forêt, les arbres en bord de route doivent être élagués et éclaircis pour constituer des accotements plus agréables et plus stables.
- Il est possible de planter des espèces de lisière, essentiellement des arbustes, pour accroître la valeur écologique de la forêt.

Fonction d'écran

- Les écrans de verdure élevés peuvent constituer des barrières qui décourageront certaines espèces d'oiseaux, comme la chouette effraie, de chasser le long des routes ou des voies ferrées. Ces écrans les obligeront à voler plus haut au-dessus de la zone perturbée par la circulation (voir aussi le paragraphe 7.3.6). Il convient de s'assurer que les essences utilisées dans les écrans ou sur le terre-plein central n'attirent pas les oiseaux à la recherche de nourriture.
- Une épaisseur minimale de 10 m est nécessaire pour un écran d'arbres et de 5 m pour un écran d'arbustes.
- La végétation doit avoir une hauteur minimale de 4,5 m pour occulter les poids lourds ; les grands arbres doivent être plantés à une distance de sécurité de la chaussée, fixée par les réglementations locales ou nationales.
- Une conception selon les bonnes pratiques doit prévoir un écran de largeur et de hauteur variables, ne gênant pas la vision à longue distance.
- Sur les paysages plats, les plantations doivent être disposées autour des caractéristiques existantes.
- Les plantations hors site (pas à proximité immédiate du couloir de transport) peuvent être utiles à cet égard. Un accord avec les propriétaires terriens sera généralement nécessaire pour établir et entretenir ces plantations.

Plantation de forêts

Les forêts sont souvent le résultat d'une longue période d'entretien d'arbres et d'arbustes se régénérant naturellement ou d'un boisement artificiel. Dans les deux cas, elles ne présentent pas une répartition naturelle des espèces. De nouvelles plantations sont l'occasion de créer un type de forêt plus naturel, qui donnera un caractère particulier à la zone et favorisera la faune et la flore.

Une structure boisée naturelle est une mosaïque de groupes de mêmes espèces répondant aux caractéristiques locales des sols, de la topographie et du drainage. Dans le domaine atlantique, par exemple, la forêt de hêtres est presque entièrement dominée par une seule espèce alors que la forêt de frênes et d'érables champêtres est plus variée. D'autres essences peuvent dominer dans des zones plus confinées et des habitats plus spécialisés, comme les saules et les aulnes sur les terrains humides et les ormes dans les sols plus riches.

- La structure et la composition de la forêt doivent s'adapter aux zones boisées adjacentes.
- Les espèces doivent être indigènes.
- Il est essentiel de choisir des distances de plantation appropriées pour permettre une bonne installation.

Groupes d'arbustes et d'arbres

Les communautés d'arbustes peuvent être aussi variées que les forêts ou bien constituer de vastes zones uniformes d'espèces courantes telles que les aubépines et les prunelliers. Il convient d'évaluer avec soin les conditions locales et d'éviter l'introduction arbitraire des espèces. Ainsi, certains pays méditerranéens ont des réglementations ou législations régissant la disposition des plantations pour réduire les risques d'incendie.

- Les arbustes et les petits groupes d'arbres sont utiles pour adoucir les lisières des forêts et intégrer l'infrastructure dans le paysage, tout en favorisant la faune et la flore.
- Les plantations alternées de ce type sont particulièrement importantes dans des paysages tels que les plaines et les zones humides, où les plantations de grandes dimensions ne sont généralement pas adaptées.

Haies

Les haies doivent être plantées lorsqu'elles sont caractéristiques du paysage adjacent. Elles sont importantes pour la protection de la nature, en particulier parce qu'elles facilitent la circulation d'espèces telles que les chauves-souris, les oiseaux et les petits mammifères. Elles doivent être placées de façon à être accessibles au personnel d'entretien. Les arbres de haies sont un élément important dans l'ensemble végétal composant les haies et doivent être intégrés dans la conception.

- • La composition des essences doit refléter celle des haies avoisinantes ; les plantes doivent être disposées sous la forme d'une haie double en quinconce.
- Une clôture constituée de piquets métalliques et de grillage défensif s'avère souvent nécessaire pendant la croissance de la haie.

Prairies et landes

Les grandes plantations d'arbres et d'arbustes ne constituent pas toujours la meilleure stratégie paysagère pour une nouvelle infrastructure. Lorsque les écrans ne sont pas nécessaires, il peut être intéressant de créer un paysage de prairie, de lande ou de broussailles destiné à la protection de la nature.

- Les prairies doivent être constituées d'espèces réclamant peu d'entretien, semées avec une certaine diversité dans des sols aux conditions appropriées (de préférence, peu fertiles).
- La lande, formation végétale en nette régression, doit être plantée lorsqu'il y a lieu, en utilisant des plantes ou des semences indigènes.
- Un programme d'entretien adapté au site est indispensable pour assurer l'établissement d'habitats destinés à la protection de la nature ; la fréquence et la hauteur des tailles sont des éléments essentiels.

Le choix des semences des différentes variétés de fleurs sauvages est complexe et doit être effectué avec soin afin d'être adapté aux conditions du site et aux disponibilités. Si on utilise des plantes, elles doivent être d'origine autochtone. La gestion de tous les types de végétation est une condition essentielle pour les mener jusqu'à l'âge adulte. Cet aspect doit être pris en compte dès l'étape de la conception ; le choix de la taille des plantes, les distances de plantation, la préparation des sols et les conditions d'entretien détaillées doivent être établis dans le cahier des charges.

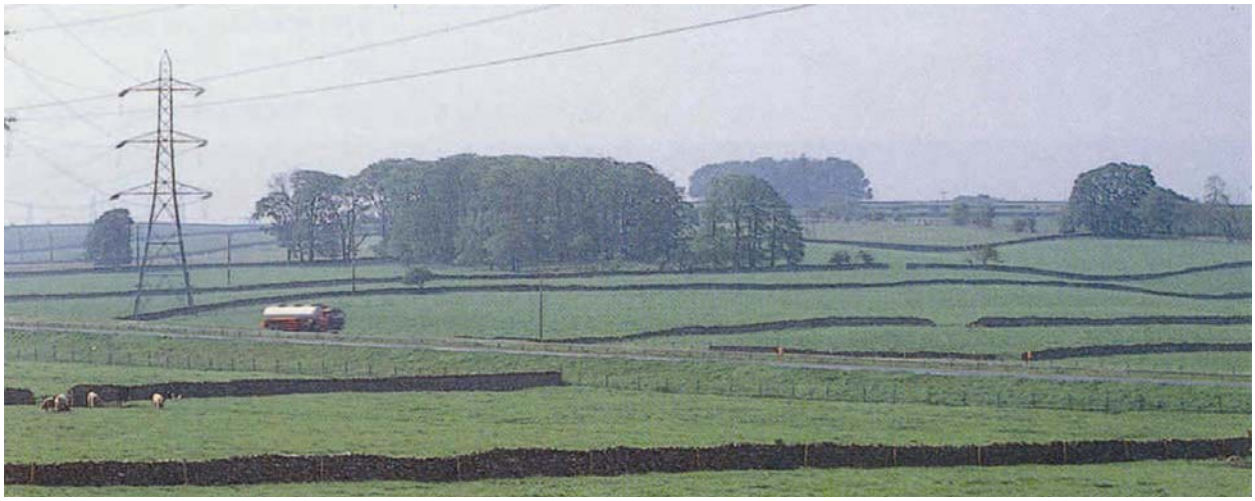


Figure 6.10 - M6, Cumbria, Royaume-Uni. La route se fond dans le paysage caractérisé par des murs de pierres sèches qui attirent le regard (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

6.4.3 Clôtures, murs et délimitations

Les clôtures et les murs peuvent avoir des effets de barrière importants et un impact sensible sur l'aspect de la route dans le paysage. Leur usage doit être limité aux sites où ils sont absolument nécessaires. Les détails techniques les concernant figurent au chapitre 7, mais les principes généraux pour les intégrer dans le paysage sont indiqués ci-dessous.

- Il convient d'utiliser des styles et des tracés appropriés pour fondre les clôtures dans le paysage.
- Les haies peuvent souvent compléter les clôtures et présentent de grands avantages en matière de protection de la nature, car elles assurent un habitat et un corridor pour les espèces mobiles.
- Les clôtures sur les culées de ponts et les carrefours doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de ne laisser aucun interstice.
- Les clôtures et les murs doivent refléter les styles et les matériaux locaux.
- Dans la mesure du possible, les clôtures ne doivent pas dominer le paysage et ne doivent être pas posées sur la ligne d'horizon.
- Les clôtures ne suivent pas nécessairement les limites des propriétés. Les tracés suivant la route et longeant les limites des champs adjacents sont préférables (voir paragraphe 7.4.1.).

6.4.4 Écrans

Les barrières environnementales sont des ouvrages destinés à réduire l'impact de la route sur les propriétés adjacentes (remblais, clôtures continues, murs en briques, écrans en béton, etc.). Il est important de prévoir des passages à faune lorsque ces barrières sont longues. En cas contraire, ces écrans sonores et visuels deviennent des facteurs importants de fragmentation.

6.4.5 Éclairage

L'éclairage doit être conçu de façon que la pollution lumineuse au-delà de la chaussée ou de la voie ferrée et son effet sur la faune soient réduits au minimum. Pour plus de précisions sur sa conception, voir paragraphe 7.4.6.

6.4.6 Drainage

Une conception des drains et des canaux adaptée au site est nécessaire pour intégrer le système de drainage à celui des terres avoisinantes. Les éléments de drainage doivent être dissimulés par des géotextiles et la couverture végétale plutôt que par des cloisons en parpaings ou en béton. Lorsque l'utilisation de matériaux durs est inévitable, ils doivent être d'origine locale. S'il y a lieu, les caractéristiques du drainage peuvent être conçues pour la protection du paysage et de la nature. Les canaux peuvent aussi servir de tampons entre l'infrastructure et les sites protégés adjacents.

La conception du drainage doit essentiellement prendre en compte la nécessité de protéger les cours d'eau et les nappes phréatiques de la pollution, des inondations et de l'érosion. Les décanteurs et les bassins d'écrêtement peuvent s'avérer nécessaires dans certains cas.

- Les bassins d'écrêtement sont l'occasion de créer des caractéristiques paysagères favorisant la faune et la flore, à condition que la solution de conception soit adaptée au site.
- Les bassins d'écrêtement doivent avoir des contours ondulés, naturels et des rives basses pour permettre l'établissement de la végétation (roseaux et prairie humide), ainsi que la migration des amphibiens.
- La faune et la flore ne s'établiront que si la qualité de l'eau est bonne en permanence.
- Le rehaussement du fond des bassins d'écrêtement doit être envisagé pour assurer un habitat humide toute l'année, lorsque cela est nécessaire dans le contexte paysager.

Les drains filtrants, avaloirs et puisards peuvent constituer des pièges pour les amphibiens et les reptiles. Il faut donc s'attacher à réduire ce risque pendant la conception, l'entretien et/ou le remplacement de ces éléments. Pour plus de précisions, voir paragraphe 7.4.6.

Les opérations d'entretien nécessaires pour que les canaux et les bassins puissent assurer leur fonction hydrologique doivent être soigneusement planifiées et programmées afin que la faune et la flore concernées puissent rester dans une partie protégée

Figure 6.11 - Les bassins d'écrêtement créent des caractéristiques paysagères favorisant la faune et la flore (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

6.5 Recommandations

Les équipes de projet doivent s'attacher à :

- Choisir un tracé :
  - i) respectant le relief existant ;
  - ii) nécessitant le moins de terrassements possible ;
  - iii) limitant au minimum la perte d'habitat ;
  - iv) évitant les sites protégés et, si possible, préservant les ressources non renouvelables (forêt ancienne) ;
  - v) maintenant les liaisons à l'aide d'ouvrages qui supportent le paysage au-dessus de l'infrastructure ou qui le préservent au-dessous de l'infrastructure.
- Concevoir des profils reflétant la topographie locale ; les remblais et les déblais doivent être nivelés pour s'adapter aux pentes environnantes et doivent réduire les nuisances sonores et visuelles.
- Faire un usage durable des matériaux extraits (créer un équilibre déblais-remblais et réduire les besoins en matériaux extraits hors du site).
- Faire en sorte que le relief et la structure des sols créés permettent les plantations et/ou la restauration de la végétation pour un usage approprié.
- Concevoir des plantations (disposition et choix des essences) reflétant le paysage adjacent et éviter la création d'un corridor végétal séparé.
- Restaurer autant que possible le parcellaire des champs, forêts, landes, etc.
- Établir un objectif de conception précis et un programme d'entretien pour chaque élément du projet.

7 Passages à faune et autres solutions techniques

Table des matières

7.1 Approche générale **73**

7.1.1 Comment lire ce chapitre 73

7.1.2 Types de mesures et principales fonctions 73

7.1.3 Passages à faune dans le cadre de la perméabilité générale du paysage 75

7.1.4 Choix des mesures appropriées 75

7.1.5 Densité et emplacement des passages à faune 78

7.1.6 Adaptation des ouvrages à l'usage animal 82

7.1.7 Résolution de problèmes sur les routes et voies ferrées existantes 82

7.1.8 Entretien et suivi des mesures d'atténuation 83

7.2 Réduction de l'effet de barrière : passages supérieurs **83**

7.2.1 Passages à faune supérieurs et ponts verts 83

7.2.2 Ponts modifiés : passages supérieurs multifonctionnels 91

7.2.3 Passages supérieurs sur canopée 93

7.3 Réduction de l'effet de barrière : passages inférieurs **94**

7.3.1 Passages sous viaducs et ponts 94

7.3.2 Passages inférieurs pour la grande et moyenne faune 98

7.3.3 Passages inférieurs modifiés et à usage mixte 100

7.3.4 Passages inférieurs pour la petite faune 102

7.3.5 Passages hydrauliques modifiés à l'usage des animaux terrestres 106

7.3.6 Passages pour poissons et autres animaux aquatiques 108

7.3.7 Passages pour batraciens 113

7.4 Prévention et réduction de la mortalité animale **118**

7.4.1 Clôtures 118

7.4.2 Répulsifs 123

7.4.3 Panneaux de signalisation de danger 124

7.4.4 Systèmes d'avertissement avec capteurs 124

7.4.5 Adaptation de la végétation adjacente à l'infrastructure 125

7.4.6 Adaptation de l'infrastructure 125

7.5 Réduction de l'effet de barrière et de la mortalité : autres mesures **130**

7.5.1 Modification de la largeur de la chaussée et réduction de la densité de trafic 130

7.5.2 Déclassement de l'infrastructure 130

7.1 Approche générale

7.1.1 Comment lire ce chapitre

Description des mesures

Ce chapitre décrit les mesures techniques conçues pour atténuer les effets négatifs des infrastructures de transport (voir chapitre 3). Chaque mesure fait l'objet d'une description générale, suivie des principales informations sur la conception et des points d'intérêt particulier. Les spécifications techniques des matériaux et les détails de conception technique sont présentés lorsqu'ils revêtent une importance particulière pour assurer l'efficacité de la mesure. Toutefois, ce manuel destiné à être utilisé dans toute l'Europe n'a pas pour objet de donner des instructions de conception précises aux ingénieurs. Il existe déjà, dans plusieurs pays, des manuels traitant de certaines questions présentées ci-dessous et apportant souvent des informations plus détaillées. En outre, les manuels de conception technique peuvent être utiles pour élaborer des solutions de construction adaptées. Une liste des manuels nationaux et régionaux figure en annexe 5.

État des connaissances

Certaines mesures ont fait l'objet d'essais concluants et sont amplement connues. Les autres sont nouvelles et sont en cours de développement ou d'étude. Le nombre d'informations présentées sur chaque mesure reflète cette disparité, mais correspond toujours aux bonnes pratiques, fondées sur les connaissances et de l'expérience actuelles. Cela signifie que certaines recommandations peuvent être différentes de celles des manuels existants, en particulier des plus anciens. Elles peuvent aussi, dans certains cas, différer de celles d'un pays particulier, prenant en compte des aspects régionaux, tels qu'un climat ou un habitat spécifique.

Mesures non recommandées

Certaines mesures encore largement utilisées se sont avérées inopérantes. Elles sont mentionnées dans le présent manuel, mais les détails de leur conception ne sont pas indiqués, puisque leur utilisation n'est pas recommandée dans de futurs projets.

Relation avec les autres chapitres

Ce chapitre ne doit pas être lu isolément. La fragmentation doit être prise en compte dès la planification générale de l'infrastructure et le premier objectif est de l'éviter. Les mesures d'atténuation spécifiques doivent être envisagées dans le cadre d'une solution intégrée. Avant de lire la description détaillée d'une mesure, consultez les chapitres 4, 5 et 6. Enfin, les paragraphes 7.1.2 à 7.1.8 apportent d'autres d'informations sur les rapports entre les différentes mesures et orientent sur le choix de ces dernières. Ils mettent l'accent sur les passages à faune, conçus spécifiquement pour réduire la fragmentation de l'habitat.

Plan du chapitre

Pour plus de clarté, les mesures sont décrites séparément. Mais dans un projet, elles doivent souvent être associées les unes aux autres. Ce chapitre commence par les passages conçus spécifiquement pour les animaux. Les adaptations apportées aux ouvrages pour améliorer leur utilisation par la faune sont également décrites. Les clôtures et autres mesures essentiellement destinées à réduire la mortalité animale sont ensuite exposées. S'y ajoutent quelques mesures visant à protéger les animaux sur les bords de routes et de voies ferrées, ainsi que les mesures spécifiques aux voies navigables artificielles.

7.1.2 Types de mesures et principales fonctions

Améliorer la connectivité ou réduire la mortalité ?

Les mesures destinées à protéger la faune aux abords des infrastructures de transport et à réduire la fragmentation de l'habitat peuvent être divisées en deux groupes (figure 7.1) :

- Mesures réduisant directement la fragmentation en assurant la connectivité des habitats touchés par l'infrastructure, c'est-à-dire les ouvrages de franchissement pour les animaux ou passages à faune (supérieurs, inférieurs, etc.)
- Mesures améliorant la sécurité routière et réduisant l'impact du trafic sur les populations animales par une baisse de la mortalité

Dans la pratique, cette distinction est souvent floue. Les mesures peuvent remplir les deux fonctions, mais peuvent aussi avoir un effet négatif associé. Ainsi, les clôtures sont un bon moyen de réduire le nombre de collisions entre véhicules et grands mammifères, mais en même temps, elles accroissent la fragmentation de l'habitat.

Elles ne peuvent donc être envisagées comme une mesure d'atténuation de la fragmentation qu'en association avec des passages à faune compensant leur effet de barrière. Ainsi, les passages inférieurs à loutres bien conçus relient les habitats de chaque côté de l'infrastructure et en même temps, réduisent le nombre d'animaux tués sur les routes et les voies ferrées. Les mesures destinées à réduire la mortalité animale comprennent aussi l'adaptation des ouvrages qui pourraient constituer des pièges mortels, en particulier pour les petits animaux, comme les drains, conduits et avaloirs longeant les chaussées. Les perturbations dues aux routes ou aux voies ferrées peuvent augmenter sensiblement les effets de fragmentation de l'habitat sur la faune et la flore (voir chapitre 3). Les mesures destinées à réduire ces perturbations ne sont pas traitées ici en détail, mais doivent être envisagées avec les autres mesures destinées à réduire les émissions des véhicules (bruit, éclairage et pollution chimique).

Mesures spécifiques ou modifications des ouvrages ?

Une autre distinction peut être effectuée concernant l'objectif des mesures techniques particulières. Les passages à faune peuvent être conçus uniquement pour les animaux et être interdits aux personnes. Par ailleurs, les ponts, tunnels et autres ouvrages construits pour les personnes peuvent être modifiés afin d'accroître la perméabilité de l'infrastructure pour les animaux. Là encore, il n'y a pas de distinction nette entre les deux catégories. Ainsi, un ouvrage supérieur réservé à la faune peut être associé à une piste forestière, si l'infrastructure doit être franchie occasionnellement par des forestiers. La modification des ouvrages est souvent le meilleur moyen de réduire l'effet de barrière dû aux routes et aux voies ferrées existantes. La plupart de ces adaptations ne sont pas coûteuses et peuvent améliorer sensiblement la perméabilité de l'infrastructure.Types de mesures

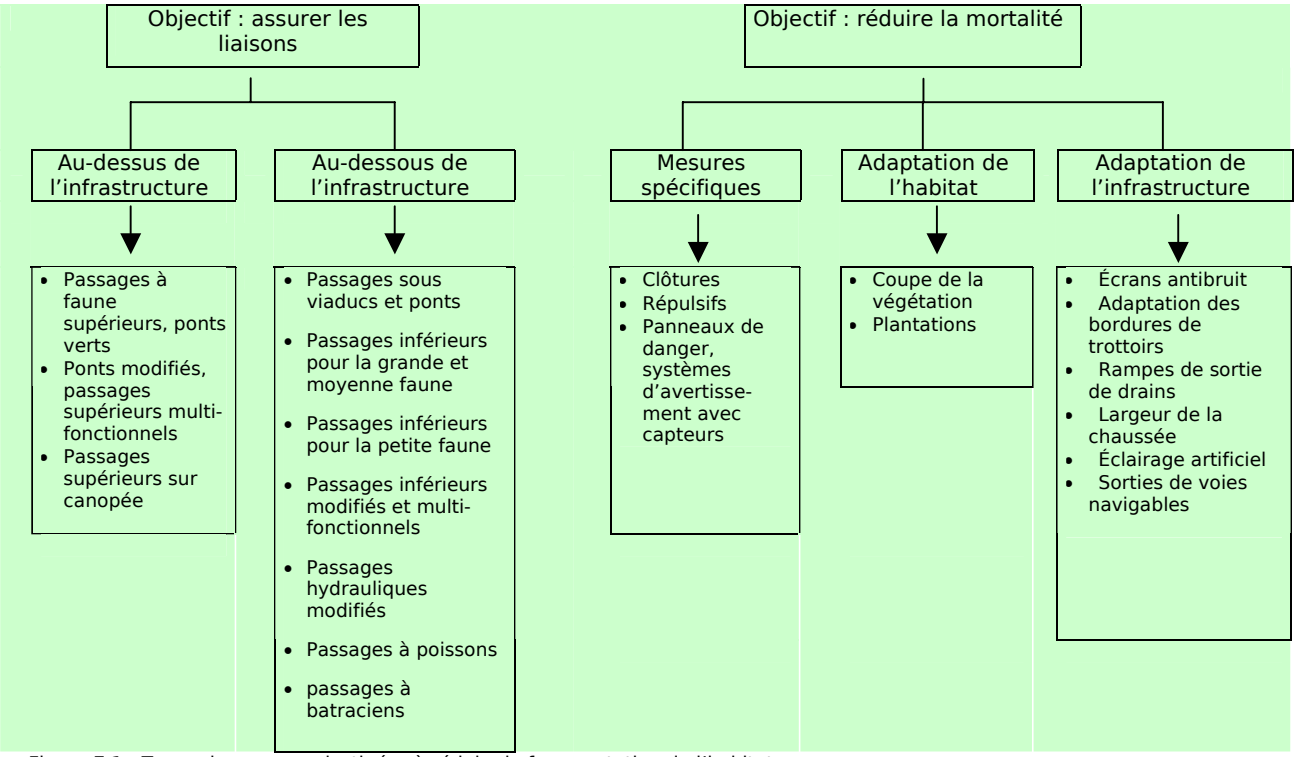


Figure 7.1 - Types de mesures destinées à réduire la fragmentation de l'habitat.

7.1.3 Passages à faune dans le cadre de la perméabilité générale du paysage

Les passages à faune et autres ouvrages adaptés pour faciliter le franchissement de l'infrastructure de transport par les animaux ne doivent jamais être envisagés isolément. Ils doivent faire partie intégrante du concept général de « perméabilité », destiné à maintenir les liens entre les populations d'animaux. Ce concept privilégie la connectivité des habitats, au moins sur le plan régional, et prend en compte non seulement l'infrastructure de transport, mais aussi la répartition des habitats et autres barrières éventuelles telles que les agglomérations. Les passages à faune peuvent alors être considérés comme de petits éléments, bien qu'importants, servant à relier les habitats en facilitant la circulation des animaux d'un côté à l'autre de l'infrastructure.

À un niveau plus spécifique, le concept de perméabilité peut être utilisé pour un projet de route ou de voie ferrée particulier. Tous les ouvrages de franchissement, comme les tunnels, les viaducs ou les routes surélevées, les ponts, les conduits et les passages conçus spécialement pour les animaux doivent être intégrés dans le concept de perméabilité. Là encore, le principal objectif est de maintenir la perméabilité de l'infrastructure de transport pour la faune, afin d'assurer la connectivité des habitats, à grande échelle.

Les mesures d'atténuation, notamment les passages à faune, sont nécessaires si l'infrastructure de transport divise des parcelles d'habitats importantes et crée un obstacle sur les voies de migration, et s'il est impossible de l'éviter en modifiant le tracé (voir chapitres 3 et 4). Les passages à faune sont nécessaires dans les cas suivants :

- Une route ou une voie ferrée dégrade ou détruit des habitats, des communautés ou des espèces particuliers.
- Une route ou une voie ferrée touche des espèces particulièrement sensibles aux barrières et à la mortalité par collision.
- La perméabilité générale du paysage, c'est-à-dire la connectivité des habitats dans le paysage à grande échelle, est sensiblement détériorée par l'aménagement de l'infrastructure.
- Les passages à faune apparaissent comme une bonne solution pour atténuer l'effet de barrière dans le contexte concerné.
- Les autres mesures moins coûteuses risquent d'être inopérantes.
- La route ou la voie ferrée est clôturée sur toute sa longueur.

7.1.4 Choix des mesures appropriées

Les passages à faune et les modifications de l'infrastructure favorisant la circulation des animaux en toute sécurité sont les mesures les plus importantes pour atténuer la fragmentation de l'habitat au niveau d'une infrastructure particulière. La plupart des principes régissant, par exemple, l'emplacement ou le nombre d'ouvrages sont identiques pour les différents types de passages. Les paragraphes suivants abordent ces aspects généraux.

Types de passages

Le choix des types de passages à faune les plus appropriés requiert la prise en compte du paysage, des habitats touchés et des espèces cibles. L'importance des habitats et des espèces doit être évaluée au niveau local, régional, national et international, dans le cadre d'une EIE (voir chapitre 5). En général, plus la connectivité des habitats est importante pour les espèces cibles, plus les mesures d'atténuation doivent être sophistiquées (voir figure 7.2). Lorsqu'un corridor de circulation pour les grands mammifères, d'importance internationale, est coupé par un projet d'infrastructure et que cela ne peut pas être évité, un grand pont vert peut être la seule mesure permettant de maintenir une connectivité fonctionnelle. En revanche, une petite canalisation peut suffire à maintenir un corridor de migration pour une population d'amphibiens localement importante. Toutefois, dans la pratique, une seule mesure est rarement suffisante pour atténuer efficacement la fragmentation de l'habitat. Il faut plutôt une série de mesures intégrées abordant les problèmes sur des sites spécifiques et sur l'ensemble de l'infrastructure. L'association de mesures adaptées à différents groupes d'animaux sera souvent la meilleure solution.

Passages supérieurs ou passages inférieurs ?

Peu de règles générales permettent de décider si l'un ou l'autre type de passage est plus approprié. Le choix est partiellement déterminé par la topographie. Sur un terrain vallonné, il est souvent aussi aisé de construire des passages supérieurs que des passages inférieurs, tandis que sur les paysages plats, les passages inférieurs peuvent être plus faciles à construire, si le niveau des eaux souterraines n'est pas trop élevé. Des exemples de passages supérieurs et inférieurs selon les situations topographiques, sont présentés dans les paragraphes correspondants. Les passages supérieurs présentent l'avantage de créer plus facilement des microhabitats différents, car la végétation y pousse mieux que dans les passages inférieurs : un plus grand nombre d'espèces les emprunteront.

En revanche, les passages supérieurs sont généralement secs : les passages inférieurs semblent mieux adaptés aux animaux qui ont besoin d'un milieu aquatique ou humide. Le choix dépend donc aussi des habitats adjacents, reliés à l'ouvrage. D'après les suivis effectués, lorsque des passages supérieurs et des passages inférieurs sont construits à proximité, les élans et les cerfs préfèrent utiliser les passages supérieurs. Pour les animaux fouisseurs, c'est l'inverse qui semble se produire.

Choix des passages à faune selon l'importance de la zone ou du corridor de circulation

Plus la zone, la population ou le corridor sont importants, plus les mesures doivent être spécifiques et nombreuses

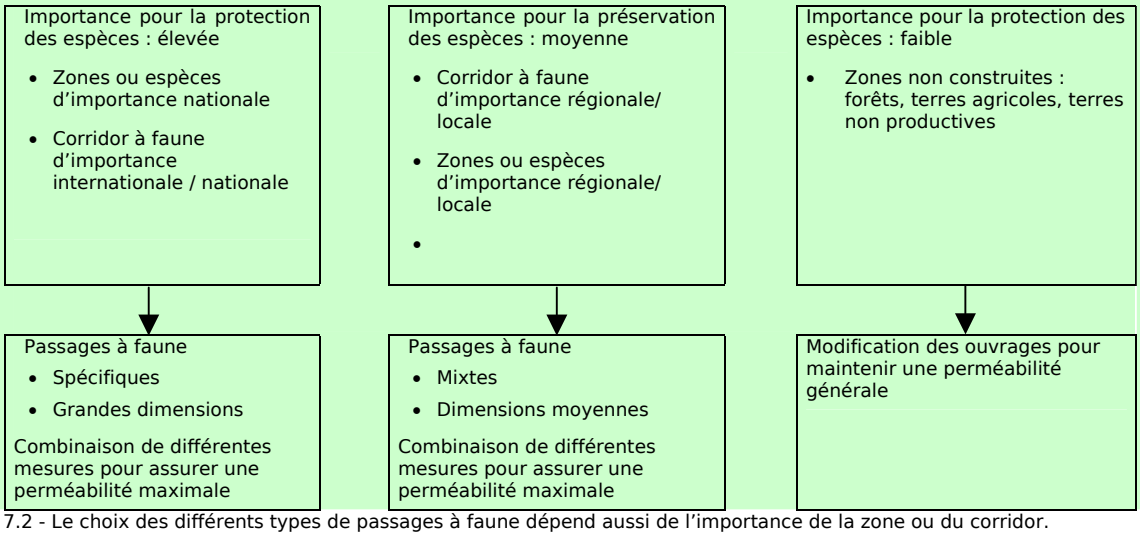


Figure 7.2 - Le choix des différents types de passages à faune dépend aussi de l'importance de la zone ou du corridor.

Figure 7.3 - Le lynx ibérique est menacé d'extinction. La construction de points de franchissement sûrs au-dessus des autoroutes constitue une mesure de protection essentielle pour cette espèce qui dispose habituellement de domaines vitaux très vastes (photographie de Ministerio de Medio Ambiente, Espagne).

Figure 7.4 - Les collisions entre véhicules et élans peuvent avoir des conséquences mortelles. Les élans et autres grands mammifères sont donc souvent les espèces cibles des passages à faune, même lorsque leurs populations ne sont pas menacées (photographie de V. Hlaváč).

Figure 7.5 - Les petits vertébrés comme cette tortue et autres reptiles, ainsi que les petits mammifères, peuvent être les espèces cibles des passages à faune, de même que les insectes non volants et autres invertébrés qui ont également besoin de liaisons entre leurs habitats (photographie de H. Bekker).

Figure 7.6 - Les crapauds communs enregistrent un taux de mortalité élevé lorsqu'ils traversent les routes pour rejoindre leurs sites de reproduction. C'est pourquoi ils sont souvent une espèce cible des passages spécifiques pour amphibiens (photographie de N. Zbinden).

Espèces cibles

Tout espèce indigène d'une région peut être une espèce cible. Ce n'est pas le cas des espèces allogènes, qui ne font pas partie de l'écosystème naturel et dont le développement ne doit pas être encouragé. Dans la pratique, les enveloppes budgétaires pour la construction de passages à faune seront destinées en priorité aux espèces importantes sur le plan local ou régional, menacées par le projet d'infrastructure. L'identification des espèces cibles est une étape essentielle de la planification lorsque l'emplacement et la conception des passages à faune sont déterminés, dans une large mesure, par la situation et les mouvements des espèces cibles (voir paragraphe 5.3). Elle sert également à planifier les procédures de suivi qui permettront d'évaluer les résultats d'une mesure (voir paragraphe 7.1.8 et chapitre 9).

Même si l'identification des espèces cibles est importante pour décider de l'intérêt et de l'emplacement des passages à faune, la conception de ces derniers ne doit pas prendre en compte une seule espèce. Ainsi, un passage au-dessus d'une autoroute, construit pour protéger la voie de migration du cerf, peut aussi assurer la connectivité des habitats des populations d'invertébrés (insectes) ou de petits vertébrés (lézards ou souris). Néanmoins, l'expérience a montré que certaines conceptions sont mieux adaptées à certaines espèces qu'à d'autres. Le tableau 7.1 donne des indications sur les types de passage appropriés pour des espèces ou des groupes d'espèces particuliers.

Tableau 7.1. - Intérêt des différents types de passages à faune pour une sélection d'espèces ou de groupes d'espèces non volantes.

	Ponts écologiques 7.2.1	Passages à faune supérieurs 7.2.1	Ponts modifiés, passages supérieurs ouvrages fonctionnels 7.2.2	Passages supérieurs sur canopée 7.2.3	Passages sous viaducs et ponts 7.3.1	Passages inférieurs pour la grande et moyenne faune 7.3.2	Passages inférieurs modifiés et à usage mixte 7.3.3	Passages inférieurs pour la petite faune 7.3.4	Passages hydrauliques modifiés 7.3.5	Passages pour poissons (petite et moyenne dimension) 7.3.6	passages à batraciens 7.3.7
Ongulés											
Elan, cerf	●	●	=	=	●	○	=	=	=	=	=
Chevreuil, chamois	●	●	○	=	●	●	○	=	=	=	=
Sanglier	●	●	○	=	●	●	○	=	=	=	=
Carnivores											
Ours brun	●	●	○	=	●	○	○	=	=	=	=
Lynx	●	●	○	=	●	●	○	=	=	=	=
Loup	●	●	●	=	●	●	●	=	=	=	=
Renard	●	●	●	=	●	●	●	●	○	=	=
Blaireau	●	●	●	=	●	●	●	●	●	=	=
Loutre	○	○	○	=	●	●	●	●	●	○	=
Martre	●	●	●	?	●	●	●	●	●	=	=
Petits mustélidés	●	●	●		●	●	●	●	●		
Genette	●	●	●	=	●	●	●	●	○	=	=
Lagomorphes											
Lièvre	●	●	○	=	●	●	●	=	=	=	=
Lapin	●	●	○	=	●	●	●	●		=	=
Insectivores											
Hérisson	●	●	●		●	●	●	○	=	=	=
Musaraigne	●	●	●	=	●	●	●	●	○	=	○
Rongeurs											
Écureuil roux	●	●	●	●	●	●	●	=	=	=	=
Loir	●	○	○	?	○	=	=	=	=	=	=
Souris, campagnol	●	●	●	=	●	●	●	●	○	=	○
Castor	=	=	=	=	●	=	?	=	?	=	=
Reptiles											
Serpent	●	●	●	=	●	○	○	=	?	=	=
Lézard	●	●	●	=	●	○	○	○	=	=	=
Tortue	●	●	●	=	●	?	?	?	=	=	=
Amphibiens	●	○	○	=	●	●	●	○	○	=	●
Poissons	=	=	=	=	=	=	=	=	=	●	=
Invertébrés (non volants)											
Espèces de milieux secs	●	●	●	=	●	○	○	○	=	=	=
Espèces de milieux humides	○	○	○	=	●	○	○	○	○	=	○

● Solution optimale
○ Utilisable avec quelques adaptations aux conditions locales
= Inadapté
? Effets inconnus ; expérience supplémentaire nécessaire

7.1.5 Densité et emplacement des passages à faune

Densité des passages

La densité des passages à faune nécessaire pour maintenir la connectivité des habitats est un élément majeur dans la planification des mesures d'atténuation. Les décisions sur le nombre et le type de mesures à adopter dépendent des espèces cibles et de la répartition des types d'habitats dans la zone. Dans certains cas, un ou plusieurs passages larges suffiront, tandis que dans d'autres, un plus grand nombre de mesures à petite échelle s'avérera nécessaire. Un autre argument pour construire plusieurs passages est de compenser le risque qu'un passage ne soit pas utilisé comme prévu.

Pour déterminer le nombre de passages nécessaires, il peut être utile de suivre le comportement des espèces cibles. La zone d'attraction des passages à faune (zone d'où proviennent les animaux) est limitée même pour les espèces mobiles. Ainsi, pour la plupart des invertébrés, s'il existe des corridors d'habitats conduisant jusqu'au passage, la zone d'attraction sera au plus de 200 à 300 m. Pour la grande faune, les dimensions des domaines vitaux et les interactions sociales entre les individus limiteront la zone depuis laquelle les animaux pourront utiliser le passage.

Pour déterminer la fréquence des passages, tous les moyens de franchissement de l'infrastructure par les animaux doivent être envisagés, même ceux qui sont déjà disponibles, par exemple une route reliant un tunnel.

En général, la densité des passages doit être plus élevée dans les zones naturelles (forêts, zones humides) et les zones d'agriculture traditionnelle, que dans les zones d'urbanisation dense ou d'exploitation agricole intense. Toutefois, dans les régions où il existe de nombreuses barrières artificielles dues aux infrastructures de transport ou dans les zones urbaines, les passages à faune peuvent être essentiels pour maintenir la perméabilité générale du paysage. Dans ce cas, les solutions peuvent être intégrées avec tous les autres corridors ouverts.

La densité des passages nécessaire en fonction des objectifs environnementaux a été peu étudiée et doit faire l'objet de recherches supplémentaires.

Figure 7.7 - La route à trois voies B 31 neu, au sud de l'Allemagne, coupe une zone longeant le lac de Constance. Une densité élevée de passages évite l'isolement des habitats. Il s'agit de passages supérieurs à faune de grandes dimensions et de passages plus étroits, associés à des chemins agricoles et à des pistes forestières (photographie de V. Keller).

Exemple : recommandations concernant la densité des passages pour mammifères en République Tchèque

Dans la plupart des régions de la République Tchèque, le paysage est relativement peu fragmenté par les infrastructures ; une mosaïque de forêts et de zones agricoles offre un bon habitat à de nombreuses espèces de mammifères. Le réseau autoroutier sera élargi dans les années à venir. Pour préserver la connectivité des habitats des mammifères, les mesures suivantes ont été adoptées :

1. La répartition réelle et potentielle ainsi que les corridors de circulation des mammifères de grande et moyenne taille ont été cartographiés.
2. À partir de ces données, les différentes régions ont été classées en fonction de leur importance pour les mammifères (voir figure 7.8).
3. L'utilisation des différents types de passages et le comportement des mammifères dans l'environnement des autoroutes existantes ont été étudiés.
4. À partir de ces résultats, des recommandations sur la densité des passages ont été formulées (voir tableau 7.2).

Table 7.2 - Distances maximales recommandées entre les passages pour différentes catégories de mammifères, dans des zones d'importance variable

	Catégories de zone	Catégorie de mammifère		
Cat.	Zone	Cerf	Chevreuil	Renard
I	Importance exceptionnelle	3-5 km	1,5-2,5 km	1 km
II	Importance élevée	5-8 km	2-4 km	1 km
III	Importance moyenne	8-15 km	3-5 km	1 km
IV	Importance minime	Inutile	5 km	1 km
V	Sans importance	Inutile	Inutile	1-3 km

(Source : Hlaváč et Andel, 2002)

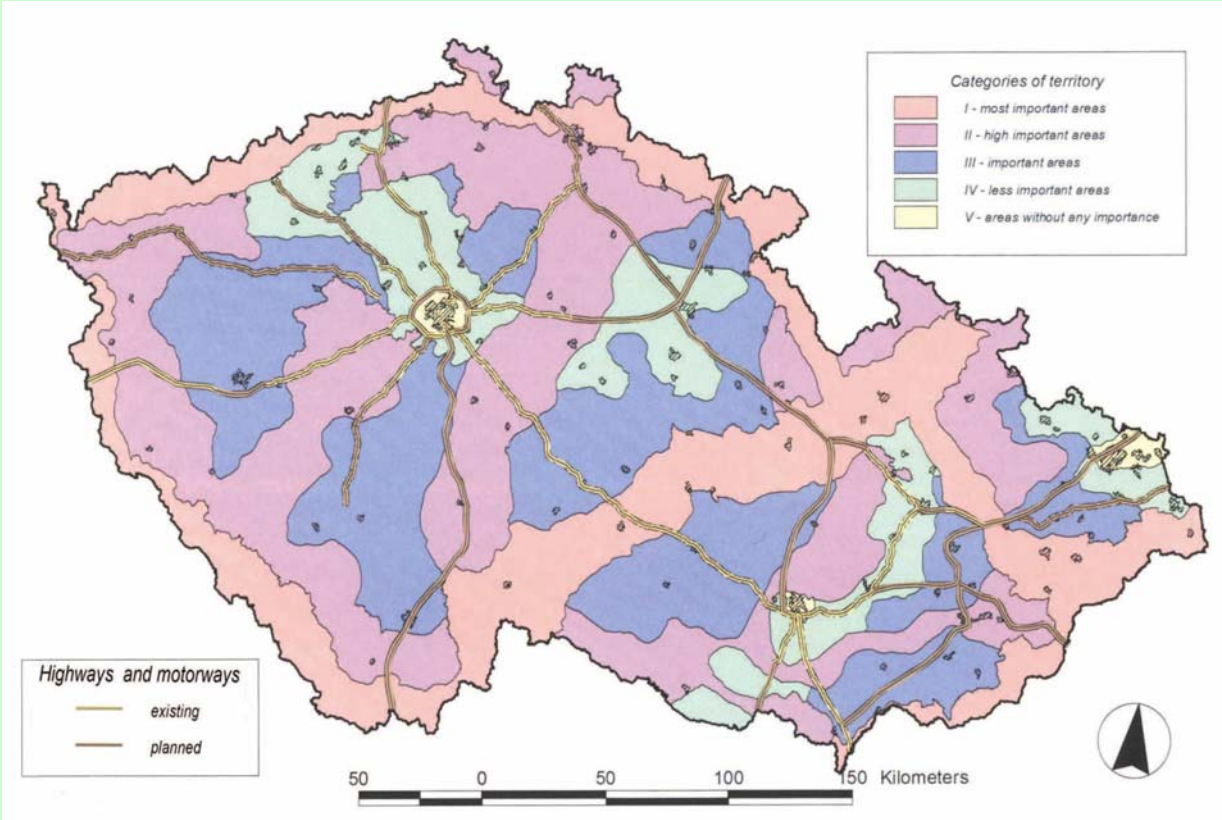


Figure 7.8 - Catégorisation du territoire de la République Tchèque, en fonction de son importance pour les mammifères.

Emplacement des passages

L'emplacement des passages doit être déterminé à partir de connaissances solides sur les déplacements des animaux et la répartition des habitats importants. Lorsqu'on observe des pistes d'animaux bien tracées, les passages doivent être placés le plus près possible. La topographie et la structure du paysage aident souvent à identifier des voies de migration possibles, telles que les fonds de vallées, les cours d'eau, les haies et les bandes de forêts. Lorsque le principal objectif est de relier des types d'habitats particuliers, les passages doivent assurer la connectivité des habitats appropriés, de chaque côté de l'infrastructure prévue. Toutes les autres barrières existant dans le paysage doivent être prises en compte pour définir l'emplacement des passages.

L'accès aux passages doit être garanti à l'avenir. La première étape dans l'identification des sites appropriés doit donc consister à vérifier que des passages seront construits sur tous les « points de conflit » connus (voir chapitre 5). Si la densité de passages résultante semble trop faible pour établir le niveau de perméabilité nécessaire dans la région concernée, il faut sélectionner des sites supplémentaires.

Intégration dans l'environnement

Les passages à faune doivent être bien reliés à leur environnement par des corridors d'habitats conduisant les petits animaux ou par des structures linéaires orientant les grands animaux. Les chances que les animaux rencontrent un passage à faune peuvent être nettement améliorées par des dispositifs directifs. Les obstacles empêchant les animaux d'atteindre les passages ou les désorientant doivent être supprimés ou réduits. Lorsqu'il existe d'autres ouvrages aux alentours, il faut utiliser une méthode intégrée pour réunifier le paysage.

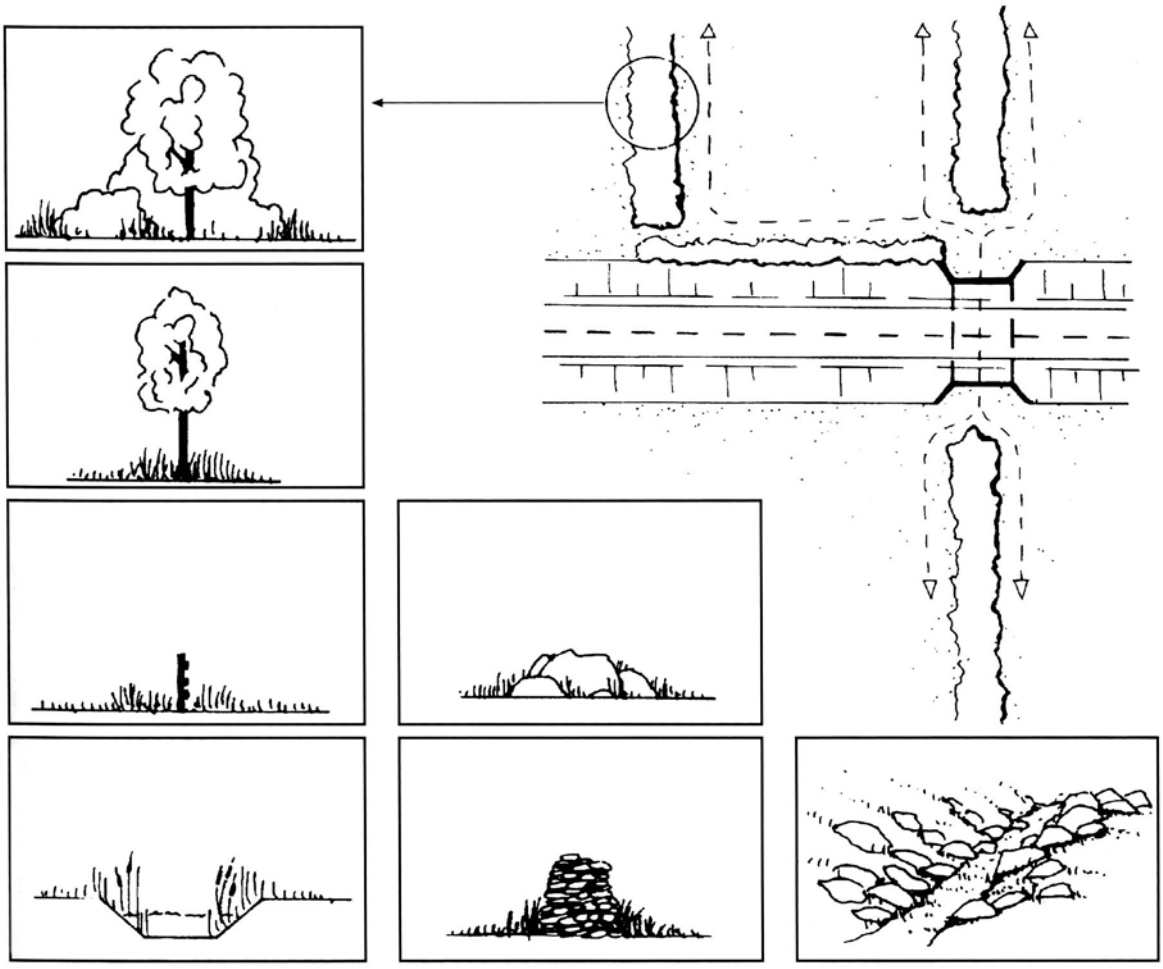


Figure 7.9 - Les animaux utiliseront les passages à faune s'ils sont bien orientés jusqu'à leur entrée. Les structures linéaires (artificielles) pouvant servir d'abri guident mieux les animaux. En voici quelques exemples (de haut en bas en commençant par la colonne de gauche) : haie, rangée d'arbres, clôture pour le bétail, fossé, rangée de pierres, mur de pierres, petit cours d'eau (d'après Oord 1995).

7.1.6 Adaptation des ouvrages à l'usage animal

Les ouvrages sont conçus et construits pour le passage de deux flux de circulation. Il peut s'agir de deux directions de circulation (route franchissant une autre par un passage supérieur), de deux moyens de transport (canalisation d'eau passant au-dessous d'une route ou aqueduc passant au-dessus d'une route), et depuis plus récemment, de deux types de circulation (véhicules et faune). Les ponts routiers et les canalisations ne sont généralement pas utilisés par les animaux pour franchir une route ou une voie ferrée, car ils ne réunissent pas les conditions nécessaires pour les espèces les plus exigeantes. En revanche, si les besoins des animaux sont pris en compte, ces ouvrages peuvent être adaptés pour servir de passages à faune. Assurant la circulation des animaux et celle des véhicules ou de l'eau, ils sont appelés passages mixtes.

Les viaducs et autres grands ouvrages nécessitent souvent peu d'adaptations pour faire fonction de passages à faune. Toutefois, sur les sites importants, les passages supérieurs ou inférieurs modifiés ne constituent généralement pas de bonnes solutions de remplacement. Ils peuvent néanmoins améliorer la perméabilité de l'infrastructure à peu de frais.

Les recommandations actuelles pour la conception de routes, de passages supérieurs et inférieurs, de conduits, etc. portent essentiellement sur le drainage, la sécurité routière et les aspects connexes. Dans la plupart des cas, les éléments pour la faune peuvent être implantés sur ces ouvrages sans compromettre la sécurité. Leur planification doit être entreprise conjointement par des spécialistes de la faune et des ingénieurs.

La prise en compte des besoins de la faune dans la planification de l'infrastructure est le moyen le plus approprié et le plus aisé de proposer des solutions rentables. Mais de nombreuses modifications peuvent aussi être réalisées sur des sites existants (voir paragraphe 7.1.7).

La plupart des principes de conception concernant les passages spécifiques pour la faune s'appliquent aussi aux passages modifiés et mixtes. Certaines considérations d'ordre général contribueront cependant à améliorer le fonctionnement des ouvrages à usage mixte :

- Les conditions écologiques et techniques doivent être connues et les conflits éventuels doivent être identifiés.
- Les grandes dimensions facilitent l'utilisation mixte.
- La circulation humaine (véhicules et piétons) doit être séparée autant que possible de celle des animaux.
- La construction d'abris pour les animaux réduit les perturbations et accroît la fréquentation du passage.
- La réduction du trafic de manière permanente ou à certaines heures (la nuit, par exemple) peut favoriser l'utilisation du passage par les animaux.

7.1.7 Résolution de problèmes sur les routes et voies ferrées existantes

En Europe, on a construit des milliers de kilomètres d'autoroutes, de routes et de voies ferrées avant de prendre conscience des problèmes qu'ils pouvaient causer à la faune. Il s'avère essentiel d'adapter les ouvrages existants lorsqu'il existe un nombre élevé de collisions entre véhicules et animaux. Un taux de mortalité animale élevé et la nécessité de rétablir des corridors de circulation peuvent amener à prendre des mesures sur une route ou une voie ferrée en exploitation.

Pour planifier les adaptations à apporter aux infrastructures existantes, il faut tenir compte des principes généraux exposés dans ce manuel, et pas simplement de la situation locale. Cela est particulièrement vrai en cas de pose de clôtures pour réduire le nombre de collisions entre véhicules et animaux. Ces clôtures augmentent l'effet de barrière et ne doivent jamais être posées sans mesures d'accompagnement (voir aussi le paragraphe 7.4.1). La plupart des mesures décrites au chapitre 7 conviennent aussi aux infrastructures existantes ou peuvent être adaptées en conséquence (voir en particulier le paragraphe 7.1.6).

Les principes relatifs aux infrastructures existantes sont résumés ci-dessous :

- La construction de nouveaux ouvrages (passages, etc.) au-dessus ou au-dessous des routes existantes est la solution qui donne les meilleurs résultats, mais qui souvent est aussi la plus coûteuse.
- L'adaptation d'ouvrages existants, conçus pour d'autres usages (hydraulique, forestier) n'est souvent pas la meilleure solution, mais est généralement la moins coûteuse. L'adaptation d'un grand nombre de passages peut, dans certains cas, donner de meilleurs résultats que la construction d'un nouveau passage spécifique, pour un prix identique.

- La modification des procédures d'entretien (traitement de la végétation) peut améliorer la situation.

7.1.8 Entretien et suivi des mesures d'atténuation

Toutes les mesures d'atténuation doivent être régulièrement inspectées et entretenues pour assurer leur fonctionnement à long terme. Les aspects liés à l'entretien, y compris le coût, doivent être envisagés le plus tôt possible, c'est-à-dire pendant la conception. La planification doit définir le type et la fréquence des procédures, ainsi que l'organisation et les responsabilités en matière d'entretien. Dans la plupart des cas, l'entretien est réalisé par les équipes d'entretien routier, mais une délégation aux associations de protection de la nature, aux agriculteurs,... s'est avérée une bonne solution de remplacement, pour certains types de mesures. Les questions d'entretien spécifiques sont traitées dans les paragraphes présentant les mesures concernées.

L'entretien et le suivi des mesures sont étroitement liés. Les procédures de suivi sont essentiellement conçues pour vérifier si une mesure remplit bien son objectif, mais elles permettent aussi d'identifier les déficits et les besoins en matière d'entretien. Un bon suivi nécessite une définition précise des objectifs visés et une planification des programmes parallèlement à la conception des mesures. Les procédures de suivi sont traitées au chapitre 9.

7.2 Réduction de l'effet de barrière : passages supérieurs

Les passages supérieurs comprennent tous les passages à faune au-dessus des routes et des voies ferrées. En général, le terme « passages à faune supérieurs » désigne les connexions visant le maintien des axes de déplacement de la faune, tandis que le terme « ponts verts » désigne les connexions au niveau du paysage et de l'ensemble de l'écosystème. Bien qu'il existe un continuum entre ces deux extrêmes, ces termes permettent de faire une distinction entre plusieurs niveaux.

La principale différence entre les deux types de passages supérieurs est la largeur, car plus un passage supérieur est grand, plus il peut remplir de fonctions différentes. La distinction entre les deux types de passages supérieurs est artificielle et est définie par la largeur recommandée. Les écarts inférieurs et supérieurs par rapport à cette largeur doivent être justifiés.

Les ponts verts et les passages à faune supérieurs peuvent être conçus de différentes façons (tunnels en tranchée couverte ou adaptations de ponts routiers). Les tunnels forés ont souvent la même fonction que les ponts verts. Ils évitent la fragmentation de l'habitat en maintenant intact l'habitat naturel. C'est pourquoi ils ne sont donc pas traités ci-dessous (voir chapitre 6).

7.2.1 Passages à faune supérieurs et ponts verts

Description générale et objectifs

Les passages à faune supérieurs et les ponts verts sont des ponts spécialement construits pour la faune, généralement au-dessus d'une route à plusieurs voies et/ou supportant un trafic dense et rapide, au-dessus d'une ligne ferroviaire à grande vitesse ou au-dessus de l'association des deux. C'est un moyen coûteux mais efficace de réduire, au moins localement, l'effet de fragmentation d'une infrastructure de transport pour tous les groupes d'animaux terrestres. Plusieurs techniques ont déjà été utilisées ; elles sont décrites ci-dessous.

La largeur, la conception et la végétation dépendent en grande partie des espèces cibles, qui sont habituellement des ongulés ou de petits mammifères, bien que les invertébrés, les reptiles et les amphibiens puissent aussi être concernés. Pour les petits animaux, un pont peut être assez large en son point le plus étroit pour servir de corridor d'habitat. Pour les grands mammifères, la largeur et l'emplacement d'un passage sont plus déterminants que les détails de conception, le substrat ou la végétation. Il a également été démontré que les passages supérieurs orientent les oiseaux, les chauves-souris et les papillons, améliorant la circulation des animaux volants qui craignent de traverser des paysages ouverts et réduisant ainsi la mortalité.

Cependant, des ouvrages coûteux comme les passages supérieurs ne doivent pas être construits uniquement pour une ou deux espèces. Dans la plupart des cas, l'objectif doit être de relier les habitats au niveau de l'écosystème. Cela nécessite de reproduire sur le passage les habitats existant de chaque côté de l'infrastructure, en tenant compte de la végétation et d'autres aspects environnementaux comme le type de sol, l'humidité, la température et l'éclairage. Ainsi, pour établir une liaison entre des forêts, il faut au moins la présence d'éléments d'habitat forestier similaires sur le passage.

Emplacement

L'emplacement des passages supérieurs se détermine par rapport aux espèces cibles et la connaissance de leur comportement. (voir aussi paragraphe 7.1.5).

- Pour les grands mammifères, le passage doit être placé le long des chemins qu'ils empruntent habituellement. Les chemins peuvent être identifiées in situ par une inspection sur la neige ou de la poussière de marbre, par une exploration de nuit à l'aide de projecteurs, par un recensement des animaux morts sur la route ou en interrogeant la population à l'aide de questionnaires spécifiques.
- Les zones perturbées par les activités humaines doivent être évitées.
- Les profils caractérisés par de grandes dénivellations ou des remblais doivent être évités.
- L'emplacement doit être choisi en fonction des autres moyens de franchissement à la disposition des animaux.
- Lorsque les espèces cibles dépendent d'un type d'habitat particulier, l'accès au passage supérieur et à l'habitat doit être situé dans leur environnement proche.

Dimensions

La largeur des passages supérieurs est indiquée dans ce manuel du point de vue des usagers. Les constructeurs routiers l'appellent habituellement longueur (section de la route ou de la voie ferrée couverte par le passage).

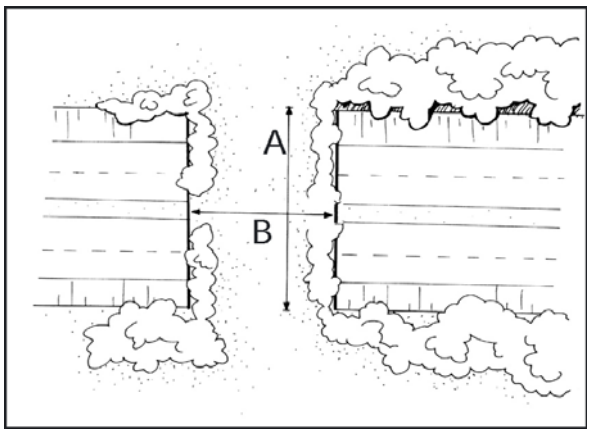


Figure 7.10 - Terminologie utilisée pour définir la longueur (A) et la largeur (B) d'un passage supérieur. Dans ce manuel, la longueur et la largeur sont définies du point de vue des animaux empruntant le passage.

Recommandations générales

Passages à faune supérieurs

- En général, les grands mammifères ont besoin de passages supérieurs plus larges que les petits vertébrés. Toutefois, les petits vertébrés et les invertébrés dépendent plus des caractéristiques particulières de l'habitat, qui ne peuvent être reconstituées que sur des passages relativement larges.
- Une largeur normalisée de 40 à 50 m (entre clôtures) est recommandée. Cette largeur peut être réduite à un minimum de 20 m si le seul objectif est de construire un corridor de circulation pour des espèces peu sensibles, telles que le chevreuil, ou lorsque la topographie conduit tout naturellement les animaux vers le passage.
- Une largeur inférieure à 20 m n'est pas recommandée. L'expérience a montré que les mammifères habitués des lieux peuvent utiliser des passages supérieurs plus étroits, mais la fréquentation est généralement moins élevée que sur des passages supérieurs plus larges. En outre, on ne sait pas comment les animaux inexpérimentés, comme les jeunes individus en phase de dispersion, réagissent devant des passages supérieurs plus étroits,. Dans certains cas, les passages supérieurs en forme d'entonnoir, d'une largeur minimale inférieure à 20 m, mais d'une largeur à l'entrée d'environ 40 m sont utilisés par le chevreuil.
- La largeur nécessaire augmente avec la longueur du passage. Ainsi, un passage au-dessus d'une autoroute à six voies doit être plus large qu'au-dessus d'une double ligne ferroviaire à grande vitesse. Le rapport entre la largeur minimale et la longueur doit être supérieur à 0,8.

Ponts écologiques

La largeur recommandée des ponts "verts" est >80 m. Elle permet l'établissement de différents habitats pour assurer une liaison au niveau de l'écosystème (figure 7.4). La largeur optimale dépend de la diversité et de l'importance écologique des habitats qui doivent être reliés. Dans les zones de grande valeur, un pont vert doit mesurer plusieurs centaines de mètres de largeur pour préserver la connectivité du paysage.

Végétation

- L'objectif est de guider les espèces cibles et un grand nombre d'autres animaux vers le passage.
- La végétation sur le passage doit refléter les habitats situés de chaque côté de l'infrastructure.
- Seules les espèces végétales indigènes doivent être utilisées.
- L'ensemencement en plantes prairiales n'est pas toujours nécessaire. Un établissement spontané peut donner de bons résultats.
- Le transport de la masse nécessaire à la germination (couche arable et graminées des abords du passage) peut être une solution à l'utilisation coûteuse de semences.
- Les structures en forme de haies d'un côté à l'autre du pont servent de lignes directives, d'écrans et de protections contre la lumière et le bruit de la route, en particulier pour les grands mammifères.
- Lorsque les petits vertébrés et les invertébrés sont concernés, la végétation doit être conçue pour ressembler autant que possible à celle avoisinant le pont, pour former un corridor d'habitat approprié.
- Les espèces végétales constituant l'alimentation préférée des herbivores peuvent être utilisées pour les attirer jusqu'au passage.
- Les racines des arbres peuvent poser des problèmes d'entretien sur le passage. Le choix des essences doit donc prendre en compte l'entretien et la sécurité routière.

Couverture du sol

- Le sol est essentiel à la végétation ; sa profondeur dépend des types d'habitats.
- Profondeurs de sol recommandées :
  - Graminées/herbes : 0,3 m
  - Buissons/arbustes : 0,6 m
  - Arbres : 1,5 m
- Terre végétale ou des terreaux spéciaux peuvent être utilisés.
- Selon le type de végétation à favoriser, la profondeur des sols peut être différente, ce qui réduira les coûts et assurera un micro-relief varié.

Figure 7.11 - Le passage supérieur Schwarzgraben, au sud de l'Allemagne (50 m de largeur au-dessus de la B 31 neu, associé à une route locale) est couvert d'une végétation dense de buissons et de petits arbres, car il doit relier les forêts adjacentes (photographie de V. Keller).

Figure 7.12 - Sur le pont vert Weiherholz en Allemagne (80 m de largeur au-dessus de la B 31 neu), seuls des buissons ont été plantés. Les herbes et les graminées ont pu se développer spontanément et sont entretenues par des opérations de fauchage (photographie de V. Keller).

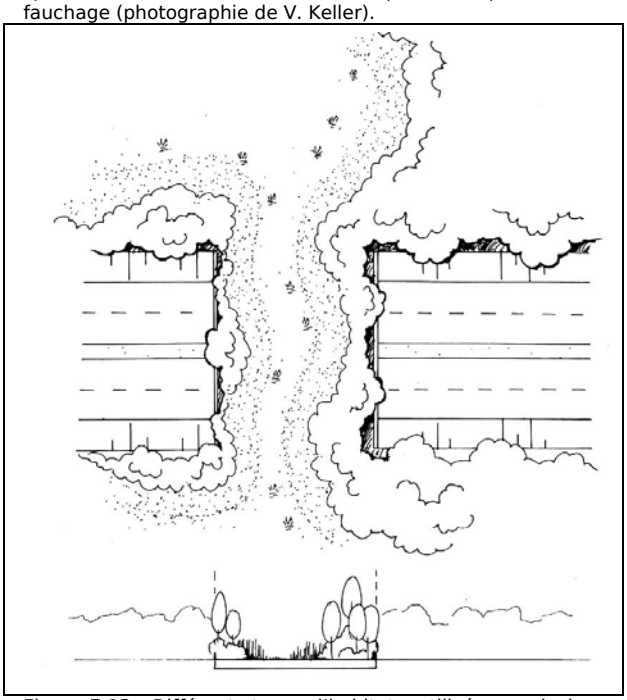


Figure 7.13 - Différents types d'habitats, utilisés par plusieurs groupes d'espèces, sont reliés aux deux côtés du passage supérieur (d'après Oord 1995).

Écrans

Les écrans réduisent les nuisances lumineuses et sonores causées aux animaux. Il faudra opter pour des écrans techniques sur les passages supérieurs relativement étroits. Des haies latérales, implantées de préférence sur de petits talus, sont suffisantes sur les passages supérieurs d'au moins 50 m de largeur.

- La hauteur des écrans latéraux doit être d'environ 2 m. Aucune clôture n'est alors nécessaire sur le passage.
- Sur les passages supérieurs d'une largeur <20 m, recommandés uniquement dans certains cas (voir paragraphe sur la largeur), les écrans élevés doivent être évités car ils peuvent créer un effet de tunnel négatif sur les animaux.
- Les écrans sont probablement plus importants dans les zones où les seules émissions lumineuses viennent de l'infrastructure inférieure que dans les zones où il existe d'autres émissions aux alentours.
- Afin que la largeur disponible pour la circulation des animaux soit la plus grande possible, il est préférable de placer les écrans sur le bord extérieur de la construction.
- Les écrans doivent être correctement reliés aux éléments tels que les murs antibruit longeant la route.
- Les talus de terre situés sur le bord extérieur du passage supérieur et continuant le long de l'infrastructure de transport, constituent de bons écrans. Ils sont particulièrement appropriés pour les passages à faune supérieurs et pour les ponts verts.
- Les haies denses utilisées comme écrans doivent être placées de préférence sur un talus de terre peu élevé.

Figure 7.14 - Le passage à faune supérieur de Bœrskotten, aux Pays-Bas, est équipé d'un écran en bois. Les écrans doivent être placés au plus près du bord extérieur pour que le passage reste aussi large que possible. Le rebord extérieur assure l'accès du personnel d'entretien (photographie de H. Cormont).

Clôtures

Les clôtures sont nécessaires pour guider les animaux jusqu'au passage. Leur conception et leurs spécifications sont détaillées au paragraphe 7.4.1.

- En l'absence d'écran, il est indispensable d'implanter des clôtures sur le bord extérieur du passage.
- En présence d'écrans constituant des parois solides, il n'est pas nécessaire d'implanter des clôtures.
- Les clôtures du passage doivent être parfaitement raccordées aux clôtures longeant l'infrastructure.

Figure 7.15 - Dans cet exemple en Hongrie, l'autoroute n'a pas été tracée en déblai dans l'environnement. Les accès ont donc dû être nivelés. Les clôtures guident les animaux le long de la route jusqu'au passage (photographie de P. Farkas).

Conception

Il existe plusieurs types de construction disponibles. Le choix dépend essentiellement de la topographie, de la stabilité du sous-sol, du coût, de l'esthétique et des habitudes de conception locales. Voici quelques exemples qui peuvent donner des idées aux ingénieurs de la construction. Ils ne comprennent pas tous les détails techniques, mais mettent en évidence les caractéristiques nécessaires pour assurer le fonctionnement du passage. Les principes de construction essentiels à cet égard sont les suivants :

- Faire passer l'infrastructure dans un déblai naturel ou artificiel pour construire le passage au niveau des terres adjacentes (voir aussi le chapitre 6).
- Lorsque le passage est surélevé par rapport aux terres adjacentes, les rampes d'accès ne doivent pas être trop raides et doivent être bien intégrées dans le paysage. Jusqu'à présent, on sait peu de choses sur la pente maximale tolérée par les différents animaux. Dans les zones vallonnées, les pentes raides peuvent être mieux tolérées que dans les paysages plats. Certains passages supérieurs, actuellement utilisés par les animaux, ont une pente allant de 16 % dans les paysages plats (Hongrie) à 25 % ou plus dans les régions montagneuses.
- La forme et les matériaux utilisés doivent assurer les caractéristiques essentielles (couverture du sol, végétation) du passage et la connectivité des terres adjacentes.
- Sur les routes existantes, l'utilisation d'arcs préfabriqués réduit le temps de construction sur le terrain.

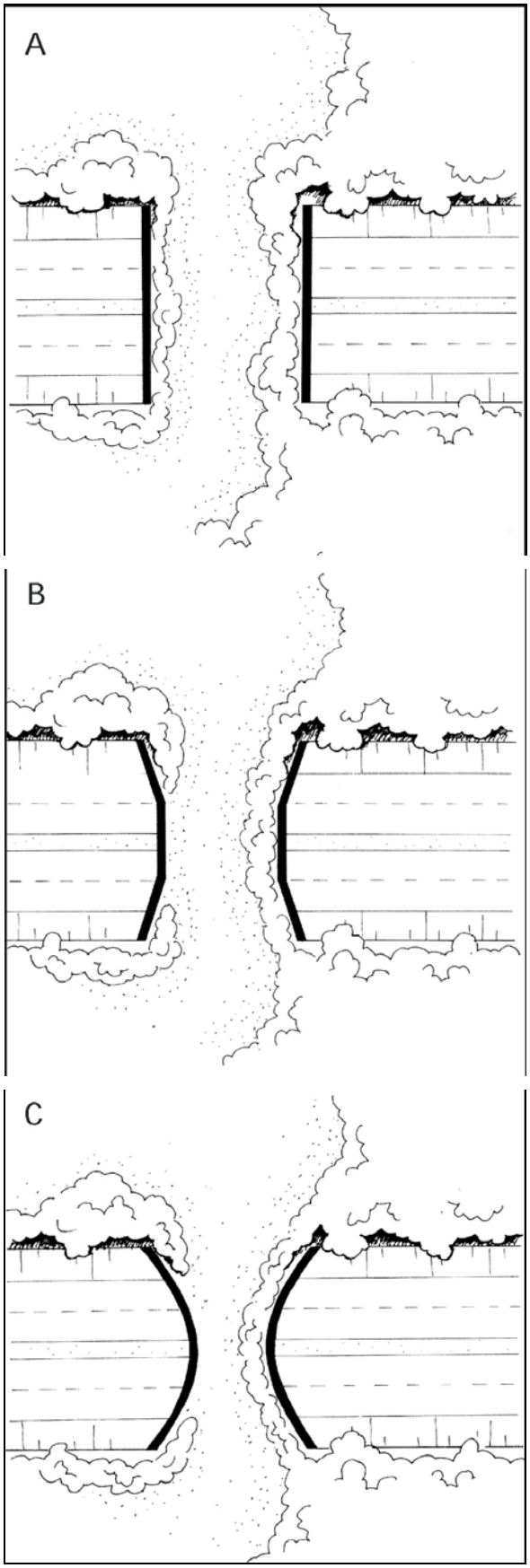


Figure 7.16 - Différentes formes de passages supérieurs en plan. La forme parabolique ou en entonnoir (B, C) est souvent choisie car elle permet de réduire les coûts qui augmentent avec la superficie du passage. La forme purement parabolique (C) est plus difficile à construire et plus coûteuse que la forme en entonnoir à angles obtus (B).

Figure 7.17 - La vue latérale du passage de Terlet, au nord d'Arnhem, Pays-Bas, montre une construction droite en béton sur piles. La route a été abaissée pour que le passage supérieur soit au niveau des terres adjacentes (photographie de V. Keller).

Figure 7.18 - Le passage à faune de Harm van der Veen, à Kootwijk, Pays-Bas, a été construit en 1998, au-dessus des deux chaussées séparées de l'autoroute A1. Il marque une étape importante puisque c'est le premier passage supérieur aux Pays-Bas construit sur une autoroute existante (photographie de H. Bekker).

Figure 7.19 - Ce passage à faune, dans le parc national de Banff, sur la transcanadienne, a été construit avec des éléments préfabriqués, au-dessus d'une route existante (photographie de H. Bekker).

Figure 7.20 - La forme du pont vert de Hirschweg, de 80 m de large au-dessus de la B 31 neu, au sud de l'Allemagne, épouse la pente de la colline et conduit les animaux de l'autre côté de la route, construite en déblai. La photographie a été prise avant que l'écran de buissons n'ait grandi. Le passage est néanmoins très fréquenté par les mammifères depuis qu'il a été couvert de terre (photographie de V. Keller).

Figure 7.23 - Passage à faune supérieur, à l'est de Vienne, en Autriche, faisant partie d'un ensemble de cinq ouvrages construits au-dessus de l'A4 (photographie de H. Bekker).

Figure 7.21 - Passage à faune supérieur en République Tchèque, muni de deux arcs préfabriqués en béton (photographie de H. Bekker).

Figure 7.24 - Cette photographie montre le passage de Schindellegi, déjà représenté en 7.22, à l'issue de sa construction. La pente sur le côté droit est très raide, mais étant situé dans une zone montagneuse, le passage est souvent emprunté par les cerfs et autres animaux (photographie de V. Hlaváč).

Figure 7.22 - Le passage supérieur de Schindellegi, de 40 m de large, en Suisse, a été construit avec des éléments en tôle ondulée, au-dessus d'une route existante élargie. Cela a permis la circulation des véhicules sur une voie, pendant toute la durée de la construction (photographie de O. Holzgang).

Figure 7.25 - Passage à faune supérieur de 44 m de large, au-dessus d'une ligne ferroviaire à grande vitesse, en Norvège. Il protège une importante voie de migration d'élans (photographie de L. Kastdalen).

Nouvelles solutions de conception

Bien qu'un passage à faune supérieur ne représente en général qu'une petite partie du coût total d'un projet de route ou de voie ferrée, c'est une des mesures de protection de la nature les plus coûteuses, dans un plan d'aménagement. La mise au point de solutions moins coûteuses doit donc être encouragée. Voici quelques idées de conception.

Figure 7.26 - Jusqu'à présent, peu de passages supérieurs ont été construits en bois. L'un deux, en France, a soulevé des problèmes de coûts d'entretien. Ce photomontage réalisé en Suisse montre à quoi pourrait ressembler un passage supérieur moderne, en bois (illustration de Marbach & Marbach, Eich ; tous droits réservés : Station ornithologique suisse).

Figure 7.27 - Idées de conception mises au point par des étudiants du département de génie civil et d'architecture de l'université technique de Delft, aux Pays-bas (photographie de K. Saathof).

Points d'intérêt particulier

- Un passage supérieur doit pouvoir durer longtemps. Les ouvrages d'art sont conçus pour une durée de 50 à 100 ans ou plus. L'entretien d'un corridor permettant l'accès à un passage doit donc être effectué sur la même période et être intégré dans le plan d'occupation de l'espace, au niveau local et régional. Un programme d'entretien doit être mis au point.
- En particulier, aucun aménagement (habitations, routes locales, zones industrielles) ne doit être autorisé s'il compromet le fonctionnement du passage.
- La chasse doit être interdite sur le passage et aux alentours. Nous avons peu d'expérience sur les dimensions de la zone d'interdiction de chasse, mais une distance de 0,5 à 2 km du passage devrait convenir, en fonction du contexte local.
- Les passages supérieurs spécifiques (à l'usage de la faune, exclusivement) sont recommandés en règle générale et en particulier si des voies de migration quotidiennes ou saisonnières importantes de grands mammifères doivent être rétablies.
- L'utilisation d'un passage supérieur par les véhicules ou les piétons doit être planifiée avec soin. Les passages supérieurs à usage mixte sont abordés au paragraphe 7.2.2.
- Si l'accès doit être autorisé aux piétons, il est préférable d'aménager une allée étroite qui canalisera la circulation. En cas contraire, les piétons utiliseront toute la largeur du passage.
- Il peut être nécessaire de prévoir des abris sur le passage pour de nombreuses espèces. En attendant l'établissement d'une végétation haute, des souches d'arbres, des tas de branches et des pierres assureront cette fonction.
- Les lits de sable permettant de suivre les traces des animaux constituent une interruption dans la végétation et peuvent représenter un obstacle pour les invertébrés. Ils ne doivent être installés que pendant la période limitée, nécessaire au suivi.
- Les routes et les pistes forestières parallèles à l'infrastructure peuvent gêner l'accès au passage. Leur tracé doit être modifié pour ne pas bloquer l'accès des petits animaux, et en particulier des invertébrés.

Figure 7.28 - Rochers placés sur un passage supérieur, au-dessus de l'autoroute A64, en France, pour bloquer l'accès des voitures (photographie de H. Bekker).

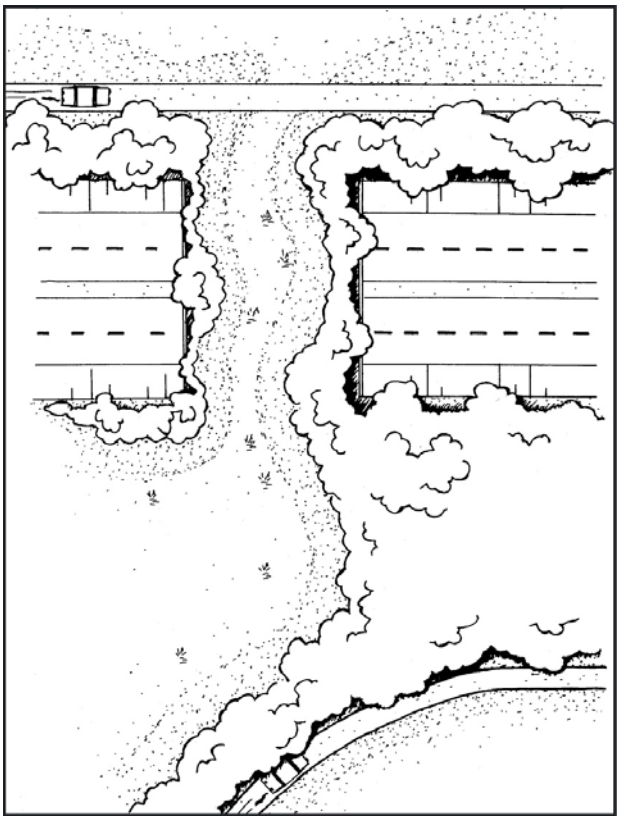


Figure 7.29 - Les routes parallèles à l'autoroute gênent l'accès des animaux au passage supérieur (en haut). Les routes avoisinant les passages supérieurs doivent être placées à une certaine distance du passage pour ménager un corridor d'accès (en bas).

Entretien

- Les responsabilités en matière d'entretien doivent être organisées pendant la phase de planification. Lorsque l'entretien est confié à des personnes ou à des organisations qui n'ont pas participé à la planification (agriculteurs, forestiers, associations de protection de la nature), une collaboration étroite avec les personnes responsables de l'entretien routier doit être assurée.
- Les personnes responsables de l'entretien doivent être formées. Elles doivent connaître l'objectif du passage supérieur et doivent collaborer à la mise au point de la procédure d'entretien.
- Les opérations d'entretien des deux à trois premières années doivent être planifiées pendant la construction du passage. Elles seront ensuite déterminées annuellement en fonction des résultats de l'inspection.
- Une inspection périodique de l'ouvrage et du système de scellement et de drainage est essentielle et doit faire partie des procédures d'entretien courant qui déterminent aussi la fréquence des inspections.
- La végétation doit être entretenue en fonction des objectifs initiaux du passage.
- L'entretien de la végétation ne doit pas endommager le fonctionnement technique du pont.
- Une attention particulière doit être portée à toute utilisation inappropriée du passage et de ses environs, gênant son fonctionnement en tant que passage à faune (clôtures sur les terres adjacentes, équipements de loisirs, etc.).

7.2.2 Ponts modifiés : passages supérieurs multifonctionnels

Description générale et objectifs

Il existe de nombreux ponts reliant des routes, des pistes forestières ou des chemins agricoles. Ils sont habituellement revêtus de béton, de bitume ou de goudron et ne sont guère utilisés par les animaux. Ils peuvent être améliorés par la pose d'une simple bande de terre nue ou herbeuse. Cet élément est utilisé par les invertébrés, les petits vertébrés, les carnivores et parfois, les ongulés. Il favorise la dispersion des animaux. Il ne constitue pas une solution de remplacement aux passages à faune supérieurs, mais une mesure complémentaire pour améliorer la perméabilité générale des infrastructures. Si tous les ponts locaux, hors des zones urbaines, étaient dotés d'une bande de terre nue, ils contribueraient à l'atténuation de l'effet de barrière, à peu de frais. Les passages supérieurs plus larges peuvent être associés à des routes locales ou à des pistes forestières lorsque la densité de trafic est faible.

Enfin, les tunnels en tranchée couverte, construits par exemple pour des raisons esthétiques, afin de préserver l'aspect du paysage (voir chapitre 6), peuvent souvent être adaptés et servir également de passages à faune.

Conception

Ponts routiers équipés d'une bande herbeuse

- Une largeur minimale d'un mètre est recommandée pour la bande herbeuse.
- Il n'est pas nécessaire que la couverture du sol soit épaisse (0,3 m).
- Dans la plupart des cas, la végétation spontanée est suffisante et aucun ensemencement n'est nécessaire.
- Les ponts peu fréquentés n'ont pas besoin d'être revêtus.
- L'ajout de bandes de terre n'est recommandé que sur les ponts peu fréquentés.

Passages supérieurs mixtes

- Les routes, les bandes cyclables, les pistes forestières, etc. ne doivent être associées à un passage à faune supérieur que si la densité de trafic est faible.
- La largeur de la route sur le passage doit être ajoutée à celle requise pour la faune. Ainsi, les passages supérieurs mixtes doivent en général être plus larges que les passages supérieurs spécifiques.
- Tout chemin ou piste forestière doit être placé sur un des bords extérieurs du passage, afin d'assurer une largeur maximale à la zone herbeuse préservée (figure 7.31).
- L'accès des animaux ne doit pas être gêné par une route, à l'entrée du passage (voir aussi figure 7.29).
- Sur les ponts verts, une route latérale risquant d'être une source de nuisances peut être séparée de la partie herbeuse par un mur en terre. Lorsque la route latérale est très peu fréquentée, la séparation n'est pas nécessaire.

Figure 7.30 - Tunnel en tranchée couverte, en Espagne, amélioré pour l'usage des animaux (photographie de C. Rosell).

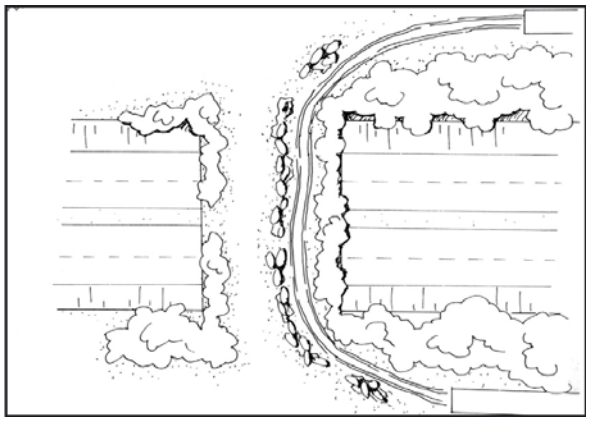


Figure 7.31 - Les pistes ou les petites routes sur les passages supérieurs ne doivent pas être revêtues, mais placées sur le côté pour ménager la plus grande largeur possible à la partie herbeuse. Il n'est pas toujours nécessaire de cacher la route du reste du passage à l'aide de rochers ou autres éléments.

Figure 7.32 - Une bande herbeuse longeant une piste forestière peut améliorer la perméabilité de l'infrastructure pour les petits animaux. Pont au-dessus d'une ligne ferroviaire à grande vitesse, près d'Oberderdingen, en Allemagne (photographie de B. Georgii).

Figure 7.33 - Une piste forestière peut être envisagée si tout autre accès motorisé est interdit (photographie de J. Carsignol).

7.2.3 Passages supérieurs sur canopée

Description générale et objectifs

Les mammifères arboricoles peuvent avoir besoin de passages spécifiques. Les écureuils, les martres et les fouines franchissent volontiers les routes et les voies ferrées ; les clôtures ne sont pas des obstacles pour eux. Lorsque le trafic est dense, la mortalité peut donc être élevée. Par ailleurs, les lérots et les loirs descendent rarement jusqu'au sol et préfèrent traverser la route lorsque les branches des arbres sont suffisamment rapprochées d'un côté à l'autre de l'infrastructure.

Les passages à faune supérieurs sont facilement utilisés par les écureuils et les martres, mais ne sont adaptés aux loirs que s'ils sont couverts d'arbres. Toutefois, les passages conçus ou adaptés pour permettre aux animaux arboricoles de traverser l'infrastructure peuvent constituer une bonne solution pour réduire la mortalité animale. Ces passages supérieurs sur canopée n'ont encore été construits ou planifiés que dans peu de pays. Les recherches effectuées sont rares et aucune recommandation précise ne peut encore être donnée. Les premières informations indiquent cependant que ces passages sont bien utilisés par les écureuils et les loirs, ainsi que par les singes et les opossums, dans d'autres régions du monde.

Emplacement

Les passages supérieurs sur canopée doivent être envisagés dans les zones suivantes :

- Zones boisées très peuplées de loirs, d'écureuils roux et de martres
- Zones enregistrant une mortalité élevée des espèces cibles par collision
- Grands parcs situés en zone urbaine, où la mortalité des écureuils par collision est élevée

Conditions particulières

- Passage suffisamment solide pour que les animaux puissent y circuler
- Passage à l'abri des prédateurs
- Abris pour les petits animaux
- Liaison entre les arbres et les arbustes, des deux côtés de l'infrastructure
- Passage protégé des usagers de la route

Conception

La conception des passages supérieurs sur canopée dépend du type de route. Sur les petites routes locales, les cimes des arbres sont assez rapprochées pour que les animaux puissent se déplacer de l'une à l'autre. En cas contraire, une corde, une échelle de corde ou autre passerelle peut être nécessaire. Sur les routes plus larges ou lorsque la distance entre les cimes des arbres est trop grande, un passage plus solide est nécessaire.

Des cordes et des câbles en acier traçant un chemin ont parfois été installés. Ces équipements doivent être assez larges pour permettre le passage des animaux.

- Les écureuils utilisent des cordes d'un diamètre de 4 à 10 cm.
- Des échelles de corde d'une largeur de 30 cm ont été installées à certains endroits.
- Des passerelles constituées de deux câbles en acier reliés par un filet d'une largeur de 20 à 30 cm ont également été installées.
- La plantation d'arbres et de buissons et l'installation de cordes et de planches peuvent faciliter l'accès des animaux aux passages supérieurs.
- Au-dessus des grandes autoroutes, les portiques de signalisation peuvent être équipés de passerelles en bois, d'abris et de cachettes.

Point d'intérêt particulier

- La protection contre les prédateurs est une mesure d'accompagnement importante. L'installation d'une corde mince supplémentaire, au-dessus d'une corde ou une passerelle, empêche les attaques des oiseaux de proie.

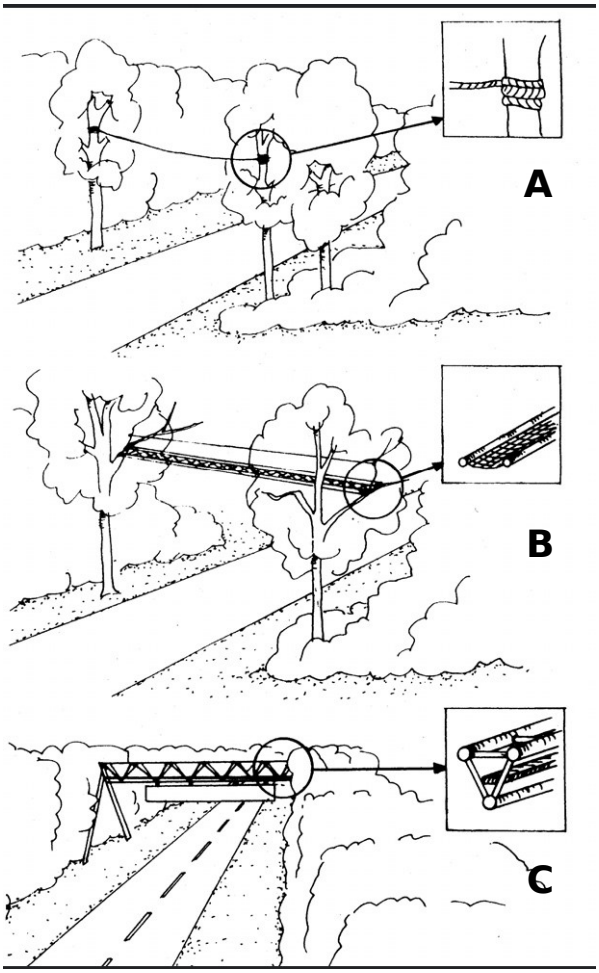


Figure 7.34 - Les mammifères arboricoles peuvent utiliser des constructions réalisées au-dessus des routes. Détails de conception : A (corde), B (passerelle constituée de deux câbles en acier reliés par un filet) et C (adaptation d'un portique de signalisation d'une autoroute).

7.3 Réduction de l’effet de barrière : passages inférieurs

Les passages à faune inférieurs comprennent tous les types de passages à faune au-dessous d’une infrastructure. La plupart des passages inférieurs sont construits dans d’autres objectifs : canalisations transportant l’eau ou tunnels conduisant une piste forestière sous une autoroute. Mais avec quelques légères adaptations, ces ouvrages peuvent faire fonction de passages à faune.

Le premier paragraphe traite des viaducs qui en général ne sont pas construits spécialement pour la faune, mais qui permettent l’aménagement de grands passages pour les animaux. Parmi les passages à faune inférieurs spécifiques, une distinction doit être faite entre les passages pour la grande et moyenne faune, comprenant les élans, les cerfs et les chevreuils (7.3.2) et les passages pour la petite faune, comprenant les renards, les blaireaux, les petits mammifères comme les campagnols et les musaraignes, ainsi que les reptiles et les invertébrés (7.3.3). Les paragraphes suivants donnent des recommandations sur l’adaptation à la faune des passages inférieurs (7.3.4) et des passages hydrauliques (7.3.5) construits dans d’autres buts. Ils décrivent également les passages pour les poissons (7.3.6) et les amphibiens (7.3.7).

7.3.1 Passages sous viaducs et ponts

Description générale et objectifs

Dans une zone vallonnée, un viaduc constitue une bonne solution technique pour transporter une route ou une voie ferrée d’un côté à l’autre de la vallée. Les fonds des vallées sont les itinéraires préférés de nombreux animaux, en particulier lorsqu’il y coule une rivière. Dans ces situations, les mesures pour la faune doivent simplement garantir que les corridors de circulation déjà existants seront préservés ou améliorés.

Lorsqu’il est prévu qu’une route ou une voie ferrée franchisse une vallée ou une autre zone s’étendant légèrement au-dessous, un viaduc de faible hauteur est une solution préférable à un remblai, sur le plan écologique. Les viaducs sont particulièrement utiles pour préserver les écosystèmes. Ils protègent les invertébrés et les petits vertébrés, qui dépendent étroitement de types de végétation particuliers et utilisent rarement les passages inférieurs non végétalisés.

Sur le plan économique, les remblais sont souvent préférés, en particulier lorsqu’on peut utiliser des matériaux excédentaires provenant d’autres zones en cours d’aménagement. Toutefois, la préservation des écosystèmes particulièrement précieux et des corridors longeant les vallées fluviales et les zones inondables pèse généralement plus que les avantages économiques à court terme.

Figure 7.35 - Ce viaduc au nord de l’Angleterre préserve la vallée (photographie de Highways Agency, Royaume-Uni).

Figure 7.36 - L'autoroute A20, au nord de l'Allemagne, n'a pas été construite en remblai, mais sur des piles. Ce viaduc de faible hauteur préserve la plaine inondable et les marais qu'il traverse (photographie de DEGES).

Figure 7.37 - Contrairement à un remblai, un long viaduc à flanc de coteau préserve l'habitat et permet aux animaux de se déplacer librement, comme cet ouvrage sur une autoroute suisse (photographie de H. Bekker).

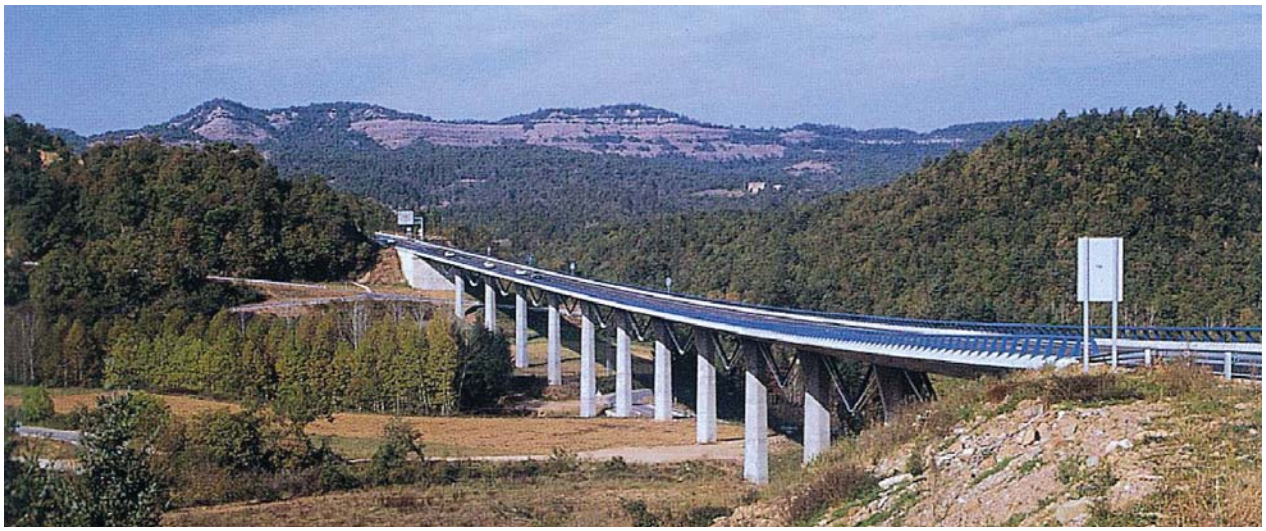


Figure 7.38 - Ce grand viaduc en Espagne (route C25 près du parc naturel du Montseny) surplombe différentes zones : routes, végétation naturelle, etc. Le plan d'occupation de l'espace doit assurer le maintien à long terme des passages pour les animaux (photographie de C. Rosell).

En général, même les viaducs de faible hauteur assurent une meilleure liaison pour un plus grand nombre d'espèces que les petits passages inférieurs. Le microclimat avoisinant l'infrastructure est moins touché que par un remblai.

Emplacement

- Les viaducs peuvent être construits dans tous les cas de franchissement supérieur. Ils sont particulièrement appropriés en présence d'un cours d'eau.
- Les zones humides (marais) ne doivent être traversées que s'il est impossible de les éviter. Dans ce cas, les viaducs sont préférables aux remblais.

Conception

- En général, la zone traversée par le viaduc doit être préservée ou conçue aussi naturellement que possible.
- Une couverture végétale doit être favorisée autant que possible. Si le viaduc franchit un cours d'eau, la végétation doit être continue sur les parties aquatiques, amphibies et terrestres de la zone.
- Pour permettre une couverture végétale continue, le viaduc doit avoir une hauteur minimale de 5 m. Dans les zones boisées, la hauteur minimale doit être de 10 m.
- Le viaduc peut faire plusieurs centaines de mètres de longueur.
- En cas de franchissement de rivière, la largeur du viaduc doit comprendre une marge d'au moins 10 m de chaque côté du cours d'eau afin de favoriser la végétation sur les berges.
- Le viaduc doit enjamber toute la largeur de la plaine fluviale.
- Dans le cas de routes ou autoroutes larges, il est utile de séparer les deux chaussées par un grand espace vide pour un meilleur ensoleillement des terrains traversés. Les espaces étroits entre les voies doivent cependant être évités, car ils laissent passer le bruit de la circulation, en rafales.
- La végétation peut manquer d'eau et de lumière. Dans ce cas, le sol doit être couvert de terre, au lieu de gravier, de pierres ou de goudron.
- Pour les grands mammifères, les espaces doivent être ouverts et dégagés.
- Le cours d'eau enjambé par le viaduc doit être maintenu dans son état naturel, y compris le lit et les berges. Ces dernières doivent permettre la libre circulation des loutres et autres espèces riveraines.
- Dans le cas d'un grand viaduc, un plan d'aménagement en zones est recommandé.
- Les routes au-dessous du viaduc enregistrant un trafic nocturne doivent être dotées d'écrans, afin de réduire l'effet des phares de voiture sur les corridors de circulation des animaux.
- Des rangées de souches d'arbres et des amas de branches ou de pierres peuvent servir d'abris aux petits mammifères et de liens entre les buissons ou les haies, de chaque côté du viaduc.

Entretien

Il convient de vérifier périodiquement que la zone sous le viaduc n'est pas obstruée ou utilisée à des fins inappropriées.

Points d'intérêt particulier

- La zone sous le viaduc ne doit pas être utilisée pour entreposer des équipements ou être bloquée par des machines agricoles, des voitures en stationnement, des clôtures ou autres obstacles. L'installation de bornes peut éviter l'utilisation inappropriée du passage.
- La connectivité à long terme avec les terres adjacentes doit être garantie.

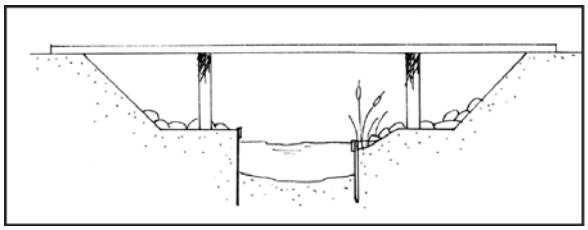


Figure 7.39 - Remblais modifiés sous un pont traversant une rivière.

Figure 7.40 - Sur la RN 59, en France, ce viaduc a perdu sa fonction de préservation des corridors de circulation puisque son accès est bloqué par une clôture et des matériaux entreposés (photographie de J. Carsignol).

Figure 7.41 - Dans le parc national Banff, au Canada, deux ouvrages parallèles ont été construits pour réduire la longueur du passage inférieur et permettre un meilleur ensoleillement des terrains traversés (photographie de H. Bekker).

Figure 7.42 - Sous le viaduc de Zandheuvel, sur l'A27, aux Pays-Bas, des andains de souches d'arbres servent d'abris pour les animaux. À l'arrière-plan, on peut voir l'écran séparant la route (photographie de H. Bekker).

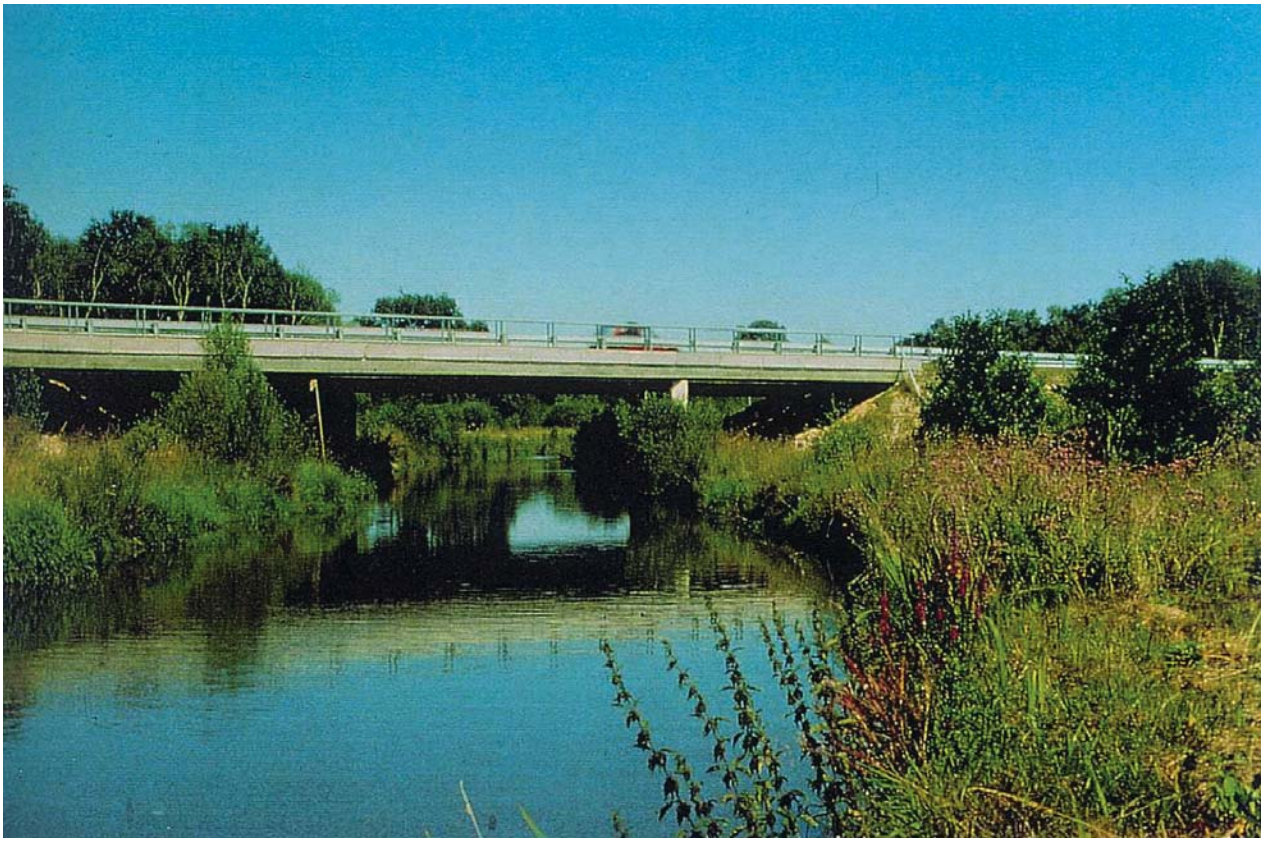


Figure 7.43 - Pont, en France, préservant le lit naturel d'une rivière et ses berges sèches pour la circulation des animaux terrestres (photographie de J. Carsignol).

7.3.2 Passages inférieurs pour la grande et moyenne faune

Description générale et objectifs

Les passages inférieurs pour la grande faune sont essentiellement des points de franchissement construits pour les mammifères. Ils constituent une solution appropriée dans les zones vallonnées ou lorsque l'infrastructure est construite en remblai. Les espèces cibles sont généralement des mammifères tels que les cerfs, les sangliers et les grands carnivores (lynx et loups). Les petits mammifères aussi les utilisent fréquemment. En revanche, les passages inférieurs sont moins adaptés à certaines espèces volantes ou qui s'orientent en fonction de la lumière (c'est le cas de nombreux invertébrés). Par ailleurs, ils sont moins appropriés pour relier les habitats, en raison du manque de lumière et d'eau qui limite la végétation.

Emplacement

- Les passages inférieurs doivent être placés sur les chemins empruntés habituellement par les espèces cibles. L'identification des coulées fait partie de l'étude d'impact sur l'environnement (voir chapitre 5).
- Lorsque les passages inférieurs ne peuvent pas être placés directement sur les chemins des animaux, ils doivent y être reliés.
- Les passages inférieurs doivent être placés sur des sites dont la topographie conduit les animaux vers l'entrée.
- Les zones perturbées par les activités humaines doivent être évitées.

Dimensions

Les dimensions d'un passage inférieur sont la hauteur, la largeur et la longueur (figure 7.44). La longueur correspond globalement à la largeur de la route ou de la voie ferrée et est donc fixe. En revanche, la largeur et dans une moindre mesure la hauteur peuvent être choisies en fonction des besoins des animaux. Pour décrire les dimensions d'un passage inférieur, on calcule souvent un indice d'ouverture relative, défini comme suit : largeur x hauteur / longueur. Un passage inférieur d'une largeur de 12 m, d'une hauteur de 4 m et d'une longueur de 25 m aura donc un indice d'ouverture relative de 1,9. Toutefois, l'ouverture relative ne doit jamais être utilisée comme seule mesure.

Un passage inférieur d'une largeur de 57 m, d'une hauteur de 2 m et d'une longueur de 60 m aura le même indice d'ouverture relative, mais sa hauteur sera nettement insuffisante pour les grands animaux comme le cerf ou l'élan. Des valeurs minimales doivent donc être fixées pour la hauteur et la largeur. L'ouverture relative peut être utilisée comme une valeur reflétant le fait que la longueur du passage doit être proportionnelle à la largeur et à la hauteur.

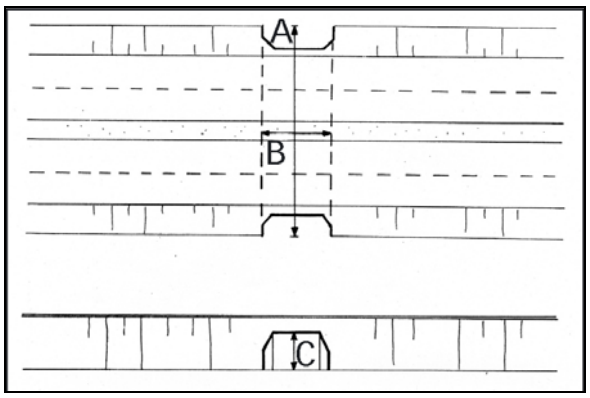


Figure 7.44 - Terminologie utilisée pour définir la longueur (A), la largeur (B) et la hauteur (C) d'un passage inférieur. Dans ce manuel, la longueur, la largeur et la hauteur sont définies du point de vue des animaux empruntant le passage.

L'expérience montre que les mammifères peuvent apprendre à utiliser les passages inférieurs situés dans leurs domaines vitaux. Les animaux inexpérimentés, en particulier les jeunes en phase de dispersion ou les animaux utilisant les passages inférieurs uniquement pendant les migrations saisonnières, peuvent être plus sensibles aux dimensions. Peu de recherches ont été réalisées en la matière, car les programmes de suivi portent généralement sur l'utilisation des passages inférieurs par les animaux vivant aux alentours.

Les dimensions recommandées, indiquées ci-dessous, prennent cette incertitude en compte.

- Largeur minimale : 15 m
- Hauteur minimale : 3 à 4 m
- Indice d'ouverture (largeur x hauteur / longueur : >1,5)

Végétation et couverture du sol

- Le sol à l'intérieur du passage doit être naturel, c'est-à-dire couvert de terre.
- En raison du manque de lumière et d'eau, la végétation ne pousse généralement pas dans le passage et doit être favorisée autant que possible.
- La végétation à l'entrée du passage doit attirer les espèces cibles.
- Des buissons peuvent être plantés près de l'entrée pour guider les animaux vers le passage et les préserver des nuisances lumineuses et sonores de la route ou de la voie ferrée.

Clôtures

- Les tronçons de route ou de voie ferrée proches des passages inférieurs pour grands mammifères doivent être clôturés.
- Des clôtures doivent être posées pour guider les animaux vers le passage.

Points d'intérêt particulier

- Les passages inférieurs spécifiques (à l'usage de la faune, exclusivement) sont recommandés en règle générale.
- Les passages inférieurs à usage mixte, pour animaux et véhicules ou piétons, sont possibles lorsque le trafic est faible. Les points d'intérêt particulier concernant ces passages sont énumérés au paragraphe 7.3.3.
- La présence d'un cours d'eau à l'intérieur peut rendre le passage plus attrayant pour la faune.
- La chasse doit être interdite aux environs du passage, en particulier lorsque de grands corridors de circulation d'animaux sont concernés. Nous en savons peu sur les dimensions de la zone d'interdiction de chasse, mais une distance de 0,5 à 2 km du passage devrait convenir, en fonction du contexte local.
- Les passages inférieurs ne doivent pas être utilisés pour entreposer des matériaux.
- L'accès au passage doit être nivelé et dégagé pour les petits animaux.
- La conception et les matériaux utilisés doivent garantir que de l'eau stagnante ne s'accumulera pas à l'intérieur du passage.
- L'installation d'abris à l'intérieur (rondins, pierres, branchages) favorise l'utilisation du passage par les petits animaux.

Figure 7.45 - Ce passage, sous une ligne ferroviaire à grande vitesse, en France, présente un bon indice d'ouverture, adapté aux grands mammifères (photographie du Sétra).

Entretien

- Les responsabilités en matière d'entretien doivent être organisées pendant la phase de planification. Lorsque l'entretien est confié à des personnes ou à des organisations qui n'ont pas participé à la planification (agriculteurs, forestiers, associations de protection de la nature), une collaboration étroite avec les personnes responsables de l'entretien routier doit être assurée.
- Les personnes responsables de l'entretien doivent être formées. Elles doivent connaître l'objectif du passage inférieur et doivent collaborer à la mise au point de la procédure d'entretien.
- Les inspections périodiques peuvent être effectuées en association avec les opérations générales d'entretien courant.
- Les déchets qui s'accumulent dans les passages inférieurs doivent être nettoyés régulièrement.
- Le drainage doit être assuré : même après une forte pluie, l'intérieur du passage ne doit pas être couvert d'eau.
- Une attention particulière doit être portée à toute utilisation inappropriée du passage (entreposage de matériaux, stationnement de machines agricoles, etc.).
- La végétation à l'entrée du passage inférieur doit être entretenue conformément aux objectifs de conception de l'ouvrage.

Figure 7.46 - Ce passage sous une route traversant une zone humide et protégée, en Espagne (parc national des Aiguamolls de l'Empordà), a été construit avec un mur de séparation, pour réduire les coûts. Dimensions de chaque section : largeur 10 m (5 m par section), hauteur 2 m, longueur 28 m. Il est utilisé par les mammifères (loutres, putois, blaireaux et sangliers), mais aussi par certains oiseaux des zones humides adjacentes (photographie de C. Rosell).

7.3.3 Passages inférieurs modifiés et à usage mixte

L'utilisation conjointe des passages inférieurs par les personnes (véhicules et piétons) et la faune n'est recommandée que sur les ouvrages d'une largeur >10 m. Toutefois, des améliorations sont aussi recommandées sur les passages inférieurs existants plus petits, d'une longueur maximale de 25 à 30 m. En cas d'utilisation conjointe, les risques de nuisances sont plus élevés ; cela signifie que des espèces exigeantes comme les ongulés peuvent être gênées par le bruit et les phares des véhicules.

Par ailleurs, les passages inférieurs pour les personnes peuvent être améliorés pour accroître les chances d'être utilisés par les animaux, à l'échelle locale. Les passages inférieurs et autres ouvrages sont en nombre considérable ; leur adaptation pourrait avoir des effets bénéfiques à grande échelle.

Conception

- La plupart des principes mentionnés en 7.3.2 sont applicables aux passages inférieurs à usage mixte.
- L'adaptation des passages inférieurs à la faune n'est envisageable que si le trafic est faible.
- Les passages inférieurs avec route locale ou piste forestière peu fréquentée peuvent être améliorés pour l'usage de la faune.
- Les passages inférieurs avec cours d'eau sont particulièrement adaptables.
- Il est recommandé que la route ne soit pas revêtue.
- Une bande de terre latérale à la route peut faciliter la circulation des animaux.
- Les abris (souches d'arbres, branchages) sont recommandés dans les passages inférieurs larges. Ces éléments peuvent être placés sur la ou les bande(s) latérales à la route.
- Il peut être nécessaire de revoir la conception de l'entrée des passages inférieurs.

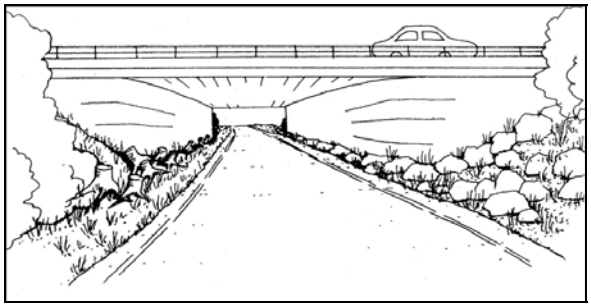


Figure 7.47 - Conception de l'entrée d'un passage inférieur adapté : les pierres et les buissons offrent un abri supplémentaire aux petits animaux.

Figure 7.48 - Si les ponts au-dessus des rivières sont assez larges pour préserver les berges naturelles, ils peuvent servir de passages inférieurs pour les animaux, comme dans cet exemple en République Tchèque (photographie de J. Dufek).

Figure 7.49 - Ce passage inférieur au Danemark a un diamètre de 13 m avec un dégagement de 8 m, ainsi qu'une longueur de 87,5 m (en haut) et de 115 m (en bas). Il est régulièrement utilisé par les renards, les blaireaux, les martres, les hermines et les putois –ainsi que par les piétons et les cavaliers. Pour les ongulés, l'indice d'ouverture est trop faible. En outre, pour les passages sous autoroute, l'épaisseur des sols au-dessus de l'ouvrage doit être plus importante pour réduire le bruit à l'intérieur (photographie de B. Wandall).

Figure 7.50 - Passage sous une voie ferrée, en République Tchèque. Il est associé à un chemin agricole, non goudronné. Sa hauteur le rend également approprié pour les grands mammifères (photographie de J. Dufek).

Figure 7.51 - La principale fonction de ce passage sous l'A10, en France, est la gestion de l'eau, dans une zone humide. Ses dimensions et la banquette latérale permettent la circulation des mammifères de petite et moyenne taille (photographie de H. Bekker).

7.3.4 Passages inférieurs pour la petite faune

Description générale et objectifs

Les passages inférieurs pour la petite faune sont des conduits ou des tunnels rectangulaires d'un diamètre ou d'une largeur de 0,4 à 2 m. Contrairement aux passages hydrauliques, essentiellement construits pour transporter l'eau sous la route ou la voie ferrée, ils sont conçus pour servir de passages aux petits animaux tels que les mustélidés. Toutefois, il est possible de combiner les deux fonctions. Les adaptations des passages hydrauliques à la faune sont décrites au paragraphe 7.3.5.

Lorsque des passages hydrauliques vont être construits à des intervalles réguliers, la meilleure solution est d'améliorer leur conception pour les transformer en passages à faune. En revanche, lorsqu'il n'est pas prévu de construire de passages hydrauliques, il convient d'envisager de petits ouvrages supplémentaires pour améliorer la perméabilité générale de l'infrastructure. Cela est important pour permettre la dispersion des espèces. De petits passages spécifiques peuvent aussi être nécessaires lorsque les animaux franchissent régulièrement une infrastructure et souffrent d'une mortalité élevée. C'est le cas en particulier pour les espèces telles que les blaireaux ou les loutres qui empruntent des coulées. Dans certains pays comme aux Pays-Bas, des tunnels pour blaireaux ont été construits en de nombreux endroits. Ils ont permis de réunir de nombreux renseignements. Les caractéristiques les plus importantes sont énumérées plus loin, dans un encadré. Celles concernant les loutres, autre espèce sur laquelle on possède des informations spécifiques, figurent dans l'encadré suivant. Dans la plupart des cas, toutefois, les tunnels pour la petite faune sont destinés à plusieurs espèces.

Emplacement

- Les tunnels pour la petite faune sont appropriés lorsqu'une route ou une voie ferrée traversant une zone naturelle est construite en remblai. Mais on peut aussi en concevoir lorsque l'infrastructure est située au niveau du sol.
- Les passages inférieurs pour la petite faune sont particulièrement nécessaires dans les zones de grande diversité biologique.
- Si les espèces cibles utilisent des chemins particuliers, les passages doivent être placés le plus près possible des sites où les coulées croisent l'infrastructure (voir aussi encadré sur les tunnels pour blaireaux).

Dimensions

- Les dimensions adaptées au plus grand nombre d'animaux sont de 1,5 m pour le diamètre des conduits et de 1 à 1,5 m pour la largeur des tunnels rectangulaires. Un diamètre de 0,3 à 0,5 m est toléré par les blaireaux, mais ne convient pas pour un passage « multi-espèces ». En outre, l'entretien des tunnels de petit diamètre est plus difficile.
- Le diamètre des conduits doit être assez grand pour y aménager un sol en terre, sur lequel les animaux pourront se déplacer.

Figure 7.52 - Conduit en Allemagne (B 31 neu), conçu comme pour le passage de la petite faune. Le fond est couvert de terre. D'un diamètre de 1 m, il est un peu petit (photographie de V. Keller).

Figure 7.53 - Passage inférieur rectangulaire pour la petite faune (largeur 1,2 m, hauteur 0,8 m et longueur 40 m), sous l'A50, près de Hernen, aux Pays-Bas. Il est fréquemment utilisé par les blaireaux (photographie de H. Cormont).

Conception

- Les tunnels rectangulaires sont préférables pour les amphibiens et probablement d'autres espèces, qui sont mieux guidées par les parois verticales. Ils sont recommandés pour les nouvelles routes et voies ferrées.
- Les conduits sont souvent moins coûteux que les tunnels rectangulaires et plus faciles à construire sous les routes existantes.
- Les éléments en béton préfabriqué sont appropriés pour les tunnels rectangulaires. Les joints entre les éléments doivent être lisses.
- Les conduits en béton ou en métal peuvent être utilisés, mais certaines espèces, comme les lapins et certains carnivores, évitent les surfaces métalliques.
- Un sol doit être aménagé dans la partie inférieure des conduits pour que les animaux puissent se déplacer sur un plan horizontal.
- Les solutions de conception adoptées doivent éviter les retenues d'eau dans le tunnel. Pour permettre un drainage naturel, le tunnel doit avoir une pente minimale de 1 % et maximale de 1:2. Les surfaces en pente doivent être rugueuses.
- La partie inférieure du tunnel doit toujours être au-dessus du niveau de l'eau souterraine.
- Le sol du tunnel doit être aussi naturel que possible (en sable ou en pierre, sans bitume ni goudron).

Figure 7.54 - Entrée d'un passage inférieur pour la petite faune sous l'A8, en Suisse (diamètre 1 m). Les murs de pierres, caractéristiques de cette région montagneuse, orientent les animaux vers l'ouvrage (photographie de A. Righetti).

- • L'entrée du tunnel doit être préservée des nuisances humaines. Toute lumière artificielle doit être évitée.
- • L'entrée du tunnel doit être située en retrait par rapport à la clôture, de façon que les animaux soient guidés jusqu'à elle.

Points d'intérêt particulier

- Les petits animaux (souris, invertébrés) peuvent être guidés et protégés par deux bandes couvertes de végétation ou autres (souches d'arbres ou pierres).
- Le tunnel doit être accessible aux équipes d'inspection.
- L'accès des animaux au passage doit être dégagé.
- L'entrée du tunnel doit être placée du côté extérieur de toutes clôtures longeant l'infrastructure de transport.
- Aucune route ou piste traversant les habitats adjacents au passage inférieur ne doit être construite parallèlement à l'infrastructure.

Entretien

- Une inspection du tunnel et des clôtures autour de l'entrée doit être effectuée 2 à 10 fois par an, selon la situation. L'eau et les déchets abandonnés posent souvent problème.
- Un bon entretien est indispensable pour assurer l'efficacité à long terme du passage.
- La végétation autour de l'entrée du tunnel doit être bien entretenue.

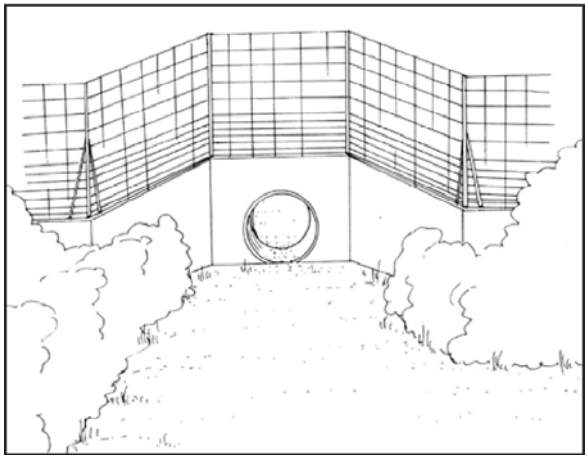


Figure 7.55 - Conception d'une entrée de passage inférieur pour la petite faune. Les pierres et/ou les buissons guident les animaux vers l'entrée et offrent des abris supplémentaires.

Tunnels pour blaireaux

Les blaireaux sont des animaux nocturnes, qui vivent en famille dans des terriers, parfois utilisés pendant des centaines d'années. Lors de leurs déplacements quotidiens entre le terrier (buissons et bois) et les aires d'alimentation (pâturages), ils suivent des pistes tracées à la lisière des bois ou le long des haies. Lorsqu'ils traversent une route, pour rejoindre leur zone de nourrissage, ils se font souvent tuer. Des familles entières peuvent ainsi disparaître, entraînant le déclin de toute la population, car les zones isolées par les infrastructures de transport ne sont pas facilement recolonisées. Certains pays d'Europe ont porté une attention particulière à ces animaux, et les Pays-Bas en particulier ont acquis de nombreuses connaissances à leur sujet.

Emplacement

Les blaireaux empruntent des pistes tracées dans leurs domaines vitaux. Il est donc essentiel de placer les tunnels aussi près que possible de ces coulées. En règle générale, deux tunnels sur le territoire d'une famille ou tous les 200 à 400 m dans les zones très peuplées de blaireaux devraient suffire.

Conception

- Les clôtures sont indispensables pour guider les blaireaux vers le tunnel et les empêcher d'accéder à la route. Spécialement conçues à cet effet, elles doivent être posées de chaque côté du point de franchissement et sur les deux bords de la route. Leur longueur dépend de la situation. Parfois, une longueur de 10 m de chaque côté de l'entrée est suffisante. Dans d'autres cas, toute la zone longeant la route (en particulier s'il s'agit d'une aire d'alimentation) doit être clôturée. Un spécialiste des blaireaux doit être consulté.
- Les clôtures pour blaireaux doivent avoir des mailles de petites dimensions (25,4 x 50,8 mm), en métal galvanisé, soudé par points. Elles doivent être enterrées de façon que les blaireaux ne puissent pas creuser un passage sous terre. Quand cela n'est pas possible, la solution est de rabattre la clôture et de la fixer au sol.
- Il convient d'aménager des sorties pour les animaux qui seraient emprisonnés du mauvais côté de la clôture. Les portails pour blaireaux peuvent avoir un effet dissuasif, mais fonctionnent souvent mal. Il est préférable de construire une section élevée ou une rampe du côté donnant sur la route, pour permettre aux blaireaux de sauter par-dessus la clôture.

Mesures d'accompagnement

- On peut inciter les blaireaux à emprunter le nouveau tunnel en disposant du sirop ou des cacahuètes à l'entrée ou en laissant des traces odorantes avec les déjections du groupe social concerné.
- Il est très important de protéger et de guider les blaireaux jusqu'à l'entrée du tunnel. Cela est possible en plantant des haies et des buissons, en creusant des caniveaux et en évitant toute activité humaine.

Figure 7.56 - Passage pour la petite faune, aux Pays-Bas, emprunté par un blaireau. Ce type de tunnel peut être emprunté par les petits carnivores, les souris et les amphibiens. Diamètre : 0,3-0,6 m, longueur : 5-60 m (photographie de Vereniging 'Das en Boom').

Figure 7.57 - Ce tunnel, aux Pays-Bas, s'est rempli de sable et d'eau. Cet exemple montre qu'il faut construire les tunnels au-dessus du niveau des eaux souterraines et aménager des pentes stables autour de l'entrée (photographie de H. Bekker).

Passages à loutres

Les loutres vivent dans les cours d'eau, mais se déplacent souvent sur les berges. Lorsqu'elles atteignent une route et que la rivière s'enfonce dans une canalisation qu'elles ne peuvent pas emprunter, elles optent souvent pour traverser la chaussée. La mortalité par collision peut donc être élevée. La plupart des informations concernant les tunnels pour blaireaux sont également valables pour les loutres. Toutefois, en raison du mode de vie « amphibien » de ces animaux, certains principes de conception sont différents. Plusieurs pays ont construit des tunnels spécifiques pour les loutres. Il est également possible d'adapter des passages hydrauliques ordinaires à l'usage des loutres (voir paragraphe 7.3.5).

Emplacement

- Sous les routes, près des cours d'eau empruntés par les loutres.
- Sur les sites où les loutres traversent régulièrement la route. Ils sont souvent marqués par des épreintes (excréments).
- Près des ponts et des barrages que les loutres ne peuvent pas franchir.
- Sur la liaison la plus courte entre deux cours d'eau empruntés par les loutres.

Points d'intérêt particulier

- Des clôtures doivent être posées sur 25 à 50 m de longueur, de chaque côté de la rivière, en fonction de l'emplacement du passage.
- Bien que les loutres nagent très bien, les passages doivent être secs (en partie) ou équipés d'une banquette latérale (parfois appelé « promenade à loutres » ou « promenade à chats »).
- Il est important de bien raccorder le passage, la banquette et le remblai.

Figure 7.58 - Les loutres n'aiment pas utiliser des conduits remplis d'eau, sans berges sèches. Les buses placées au-dessus du niveau de l'eau, parallèlement aux passages hydrauliques, comme celle-ci, passant sous une route principale dans le sud de la République Tchèque, sont régulièrement empruntés (photographie de V. Hlaváč).

7.3.5 Passages hydrauliques modifiés à l'usage des animaux terrestres

Les passages hydrauliques sont conçus pour transporter l'eau et peuvent canaliser des ruisseaux ou des eaux de drainage. Certains transportent de l'eau toute l'année, d'autres temporairement, par exemple après une forte pluie ou pendant la fonte des neiges. Lorsqu'ils sont à sec, les animaux terrestres peuvent les utiliser ; une petite adaptation suffit. Lorsqu'ils transportent de l'eau, des installations supplémentaires sont généralement nécessaires. Il s'est avéré que les passages hydrauliques modifiés sont utilisés notamment par les petits mammifères, y compris les petits carnivores (outre les poissons et autres espèces aquatiques). Lorsqu'ils sont larges et secs pendant la plus grande partie de l'année (dans le domaine méditerranéen, par exemple), ils peuvent aussi être utilisés par les grands mammifères. Les passages hydrauliques reliant des cours d'eau doivent être conçus pour permettre le passage des poissons. Les principes de conception pour ce groupe d'animaux sont abordés au paragraphe 7.3.6.

Adaptation des passages hydrauliques et des drains

- Lorsqu'un passage hydraulique doit être construit pour canaliser une rivière sous une route ou une voie ferrée, il doit transporter tout l'écosystème, et pas simplement l'eau. Il doit suivre les mêmes principes de conception qu'un passage sous un pont (voir paragraphe 7.3.1).
- Dans une conduite de drainage en tôle ondulée, un sol en béton ou dans un autre matériau doit être aménagé pour que les animaux puissent se déplacer.
- Il peut être utile de creuser une rigole dans le sol en béton, pour guider les petits animaux.
- Si le passage transporte souvent de l'eau, la partie inférieure doit être adaptée pour qu'une zone reste à sec toute l'année. Cela est possible en aménageant un remblai latéral ou un rebord (une planche en bois, par exemple), au-dessus du niveau de l'eau.
- Les passages rectangulaires préfabriqués peuvent être conçus avec une banquette latérale.

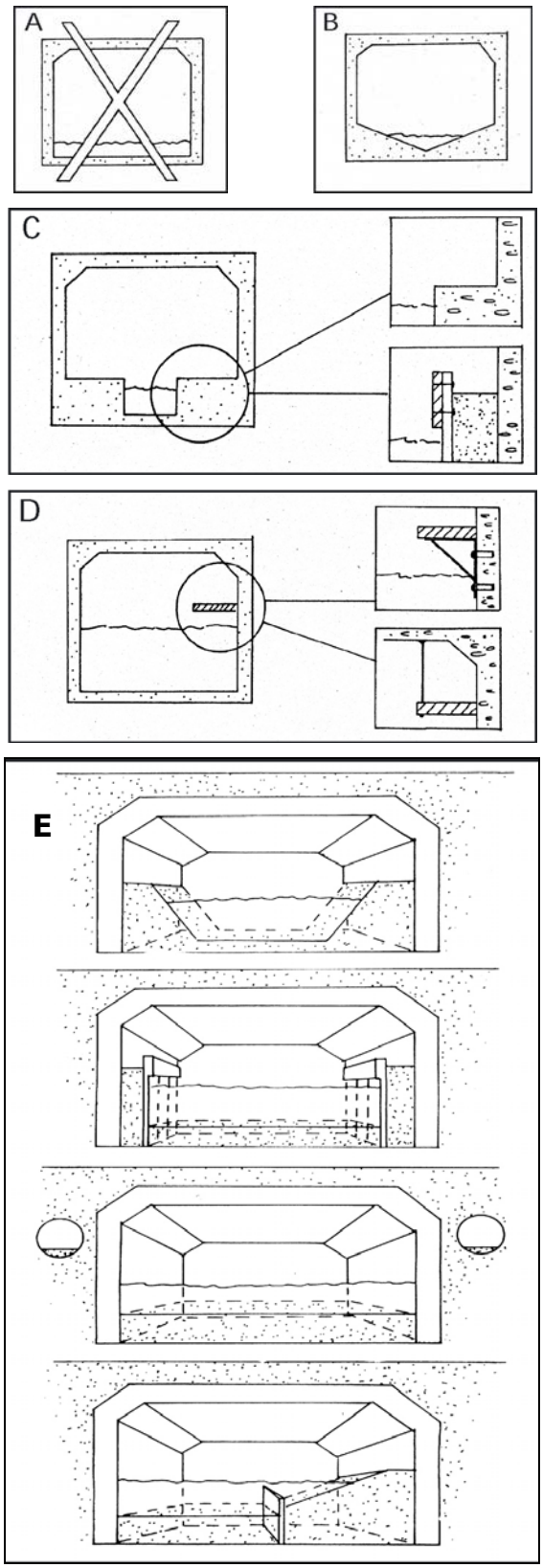


Figure 7.59 - Les petits animaux terrestres peuvent utiliser les passages hydrauliques dotés de berges sèches. A : inadapté aux animaux terrestres, puisque l'eau couvre toute la partie inférieure. B et C : berges en béton préfabriqué, au-dessus du niveau de l'eau. D : planche en bois au-dessus du niveau de l'eau, fixée au mur latéral. E : vues en perspective de différentes conceptions.

Figure 7.60 - Deux passages hydrauliques préfabriqués avec banquette latérale, aux Pays-Bas (A35, A1), empruntés par les petits animaux (photographies de G. Veenbaas et de H. Bekker).

Figure 7.61 - Passage busé en tôle ondulée, en Espagne, conçu pour permettre le drainage des eaux après de fortes pluies. Grâce à son sol en béton, il peut être emprunté par les mammifères (photographie de C. Rosell).

Figure 7.62 - La planche placée à l'intérieur de ce passage hydraulique, en République Tchèque, est régulièrement empruntée par les loutres (photographie de V. Hlaváč).

Figure 7.63 - Passage hydraulique adapté sous une voie ferrée, aux Pays-Bas. La banquette latérale doit être bien raccordée au remblai, mesurer plus de 0,7 m de largeur et être en béton, en pierre ou en bois. L'ouvrage doit être aussi ouvert que possible (photographie de H. Bekker).

Exutoires

Les ouvrages hydrauliques sont souvent dotés d'exutoires en escalier pour réduire l'érosion de l'eau sur les remblais ou les pentes. Ces exutoires peuvent constituer des pièges pour les animaux utilisant les ouvrages et doivent être modifiés à l'aide de dispositifs réduisant la hauteur des marches. Différentes modifications peuvent être apportées pour élargir les berges de l'exutoire en escalier ou remplacer les marches par une rampe.

Remarques :

- Les rampes doivent avoir une surface rugueuse, constituée de pierres et de béton, par exemple, pour permettre une bonne adhérence.
- La pente recommandée pour les berges de l'exutoire en escalier est de 30º, et au maximum de 45º.

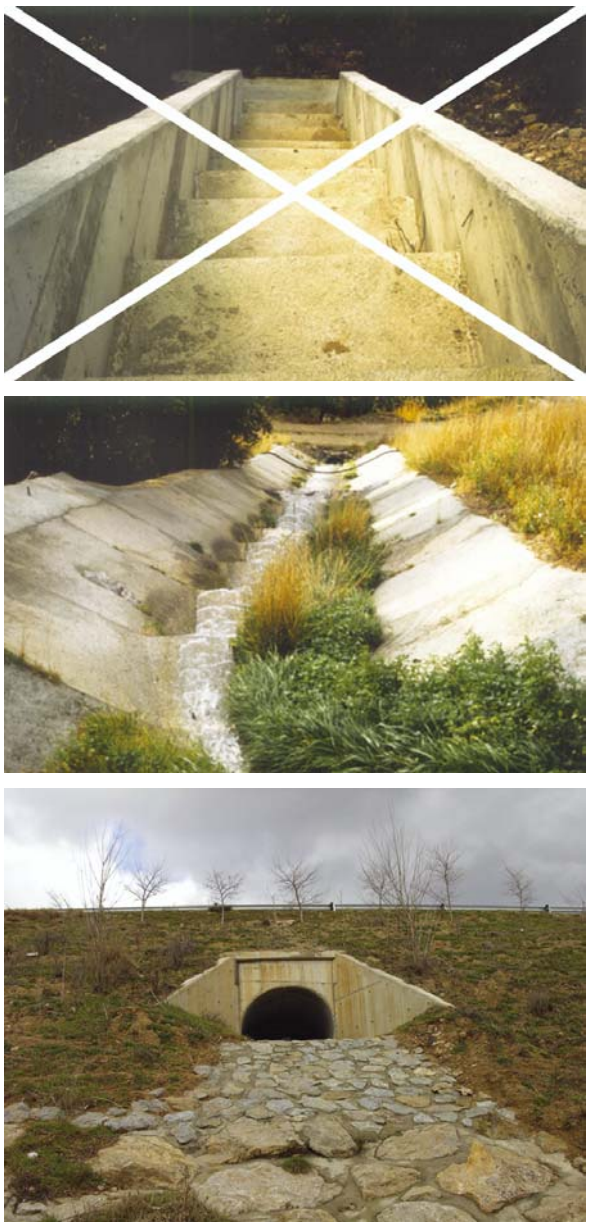


Figure 7.64 - Les exutoires en escalier constituent des pièges pour les petits animaux (en haut). Ces deux exutoires, en Espagne (au centre et en bas), ont été adaptés pour que les animaux passant par les canaux de drainage ne soient pas bloqués (photographies de C. Rosell).

7.3.6 Passages pour poissons et autres animaux aquatiques

Description générale

Les passages pour poissons comprennent les ponts, les échelles à poissons et les ouvrages hydrauliques appelés passes à poissons. Ce chapitre porte sur ces dernières solutions, les plus souvent utilisées pour faire passer les petits cours d'eau sous les routes et les voies ferrées. La fonction habituelle d'un ouvrage hydraulique est de transporter l'eau, mais dans la plupart des cas, les nouveaux ouvrages peuvent être adaptés pour servir de passages aux poissons et autres animaux aquatiques, moyennant un coût supplémentaire peu élevé. L'adaptation d'un ouvrage de petite dimension est difficile ; le plus souvent, la meilleure solution est donc de remplacer l'ouvrage par un nouveau, spécialement conçu à cet effet. Les poissons doivent pouvoir circuler librement dans le courant et à contre courant. Or, ils rencontrent généralement des obstacles lors de la remontée du courant, particulièrement importante pour atteindre les frayères.

Les besoins des poissons sont très spécifiques. Les connaissances sur les passes à poissons sont généralement vastes. Dans tous les cas, il convient donc de consulter un expert. Ce manuel ne décrit que quelques aspects généraux.

Emplacement

Des ouvrages de franchissement pour poissons doivent être construites lorsque l'infrastructure traverse des habitats de poissons comme les rivières, les cours d'eau et les lacs. L'endroit où la passe pourra transporter le même débit d'eau, dans le même substrat que le cours d'eau principal, tout en étant accessible aux espèces cibles, sera le meilleur emplacement possible. La conception de l'ouvrage est habituellement déterminée par le site et la solution choisie est souvent un compromis entre les critères suivants :

- Éviter une longueur excessive.
- Éviter une pente excessive.
- Éviter une étroitesse excessive.
- Éviter les dénivellations, ou dans le pire des cas, aménager une légère dénivellation (si le passage est prévu pour les cyprinidés, les jeunes salmonidés et les invertébrés, aucune dénivellation n'est possible).

Lorsque de nouveaux franchissements sont planifiés, il convient de choisir un site qui remplira au mieux tous ces critères. L'emplacement doit optimiser le tracé par rapport aux chenaux amont et aval et à la longueur du passage. Un ouvrage en biais (selon un angle supérieur à 30º par rapport au chenal) réduira les possibilités de passage des poissons en augmentant la contraction à l'entrée et les turbulences en cas de débit important. Les dépôts dans les chenaux et

l'érosion des berges surviennent souvent en amont des ouvrages orientés trop en biais. Or, l'augmentation de l'angle d'orientation permet généralement de réduire la longueur de l'ouvrage. À l'inverse, l'augmentation de la longueur de l'ouvrage accroît les difficultés d'installation d'un passage ainsi que la perte d'habitat.

Conception

Il existe cinq défauts de conception des ouvrages de franchissement pour poissons à éviter.

Dénivellation excessive à la sortie de la passe

La formation d'une fosse d'affouillement peut constituer un obstacle à la sortie de l'ouvrage. Cette fosse peut être un bon habitat, mais peut créer un obstacle à la migration de montaison. Pour la plupart des espèces, une dénivellation de 5 à 10 cm obstrue le passage. Sur le plan technique, l'obstacle est constitué par la différence entre le niveau de l'eau à l'intérieur de l'ouvrage et le niveau de la fosse d'affouillement. Cependant, même si l'ouvrage est immergé (sa partie inférieure est située au-dessous du niveau de l'eau en aval), la différence de hauteur entre la partie inférieure de l'ouvrage et le fond de la fosse d'affouillement peut constituer un obstacle. La meilleure solution est d'éviter toute dénivellation. Si cela est impossible, la dénivellation entre l'extrémité de l'ouvrage et l'eau doit être la plus faible possible. Toute chute d'eau doit aboutir dans un bassin profond, pour deux raisons : permettre aux poissons de prendre de la vitesse pour sauter par-dessus l'obstacle et réduire l'érosion dans la fosse d'affouillement. La construction d'un radier (rapide) en aval de la fosse permet d'éliminer la dénivellation en surélevant le niveau de l'eau dans la fosse.

Profondeur d'eau inappropriée à l'intérieur de la passe

Il est important qu'il y ait assez d'eau à l'intérieur de la passe pour que les poissons puissent y accéder. Les besoins sont différents selon les espèces, l'époque de la vie et la saison. Ainsi, les saumons adultes ont besoin d'une lame d'eau de 30 cm au moins, tandis que les truites ont besoin de 10 à 15 cm, selon leur taille.

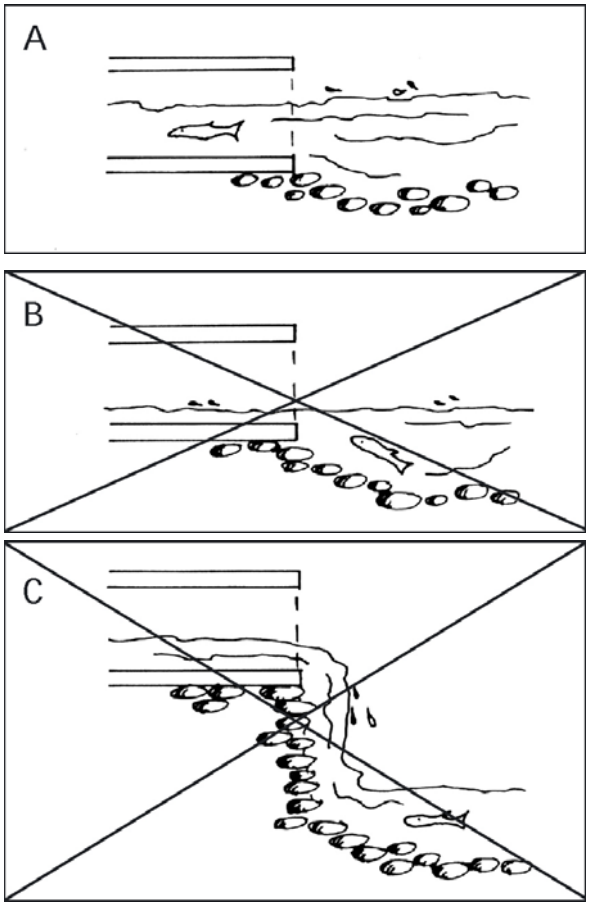


Figure 7.65 - Les poissons et autres animaux aquatiques doivent pouvoir circuler dans les passes. Le niveau de l'eau et la conception des entrées et sorties sont des éléments déterminants. A : situation idéale. B : le niveau de l'eau dans l'ouvrage est trop bas. C : la sortie est trop élevée par rapport au niveau de l'eau en aval.

Figure 7.66 - Ce conduit en Norvège a été placé trop haut par rapport au cours d'eau. La dénivellation crée un obstacle à la remontée des poissons (photographie de B. Iuell).

Vitesse excessive à l'intérieur de l'ouvrage

Le débit d'eau de la passe peut constituer un obstacle pour les poissons jeunes et lents. Or, il est difficile de réduire suffisamment la vitesse pour la plupart des jeunes poissons. C'est pourquoi les rivières artificielles (voir paragraphe sur la conception) sont généralement préférées. Les passes doivent être analysées dans des conditions de débit faible et élevé. Comme la profondeur, la vitesse du courant peut être aisément modifiée par la construction d'un radier. Dans le cas d'un ouvrage pentu en aval, le radier doit être situé assez haut pour que l'eau à l'intérieur soit partout au même niveau. Cette solution nécessite un certain entretien, car des sédiments et des débris se déposeront dans la fosse.

Accumulation de débris à l'entrée de l'ouvrage

La gestion des débris et des sédiments consiste à faciliter leur circulation dans la passe. L'accumulation de débris peut créer des obstacles à l'intérieur de la passe et former une retenue d'eau en amont, qui accentuera l'effet de l'ouvrage.

Turbulences à l'intérieur de l'ouvrage

Les turbulences provoquées par l'ouvrage, les ralentisseurs ou les débris accumulés à l'intérieur peuvent constituer un obstacle pour les poissons jeunes ou de petite taille.

Conception des conduits de petite dimension

Les petits conduits sont essentiellement utilisés pour le drainage de très petits cours d'eau. Souvent circulaires ou elliptiques, ils sont en acier, en aluminium, en plastique ou en béton. Ils doivent être assez larges pour gérer les débits importants, tout en maintenant une lame d'eau suffisante en période sèche. Cela est possible s'ils ont la forme d'une « ellipse verticale » ou si leur partie inférieure est conçue comme une rigole plus étroite. Les conduits en tôle ondulée réduisent la vitesse du courant.

Conception des passages hydrauliques de moyenne dimension

Les passages hydrauliques modifiés pour les animaux terrestres sont décrits au paragraphe 7.3.5. Ci-dessous sont exposées les caractéristiques spécifiques permettant de les adapter aux poissons.

En général, les ouvrages préservant le substrat naturel doivent être préférés aux ouvrages à section fermée, aménagés avec un sol de béton. La partie inférieure de ces derniers doit être munie d'une rigole plus profonde pour maintenir une lame d'eau minimale en saison sèche.

Trois différents types de conception sont actuellement utilisés.

Conception horizontale (« sans pente »)

- L'accès des poissons est possible lorsque l'ouvrage est assez large et installé sur un plan relativement horizontal, permettant la circulation naturelle de la charge de fond pour former un lit stable dans le passage.
- En l'absence de calculs de débit et de vitesse, le fait que la vitesse soit assez faible pour qu'un lit se dépose dans l'ouvrage est admis comme une preuve que des poissons de toutes espèces et tailles pourront circuler.
- Même lorsque l'ouvrage est construit sur un plan horizontal, le lit à l'intérieur doit épouser la pente naturelle du chenal.

Pour s'assurer qu'un nouvel ouvrage pourra servir de passe à poissons, il est préférable de le surdimensionner par rapport aux conditions d'écoulement. Le niveau inférieur de l'ouvrage doit être situé à 15 ou 20 cm au-dessous du fond du lit. Cela favorisera la sédimentation naturelle dans l'ouvrage, ainsi qu'un cours naturel, sinueux, qui s'adaptera au débit, à tout moment.

Conception hydraulique

- Cette conception doit tenir compte en même temps des effets hydrauliques dus à la taille de l'ouvrage, à la pente, aux matériaux et à la hauteur pour créer des profondeurs, des vitesses et un profil hydraulique adaptés aux capacités de nage des poissons. Il faut comprendre que de nombreuses hypothèses sont émises pendant la procédure de conception et qu'elles ont toutes des conséquences ; une bonne information permettra d'optimiser la conception.
- La conception hydraulique est basée sur la vitesse maximale du courant que les espèces de poissons concernées peuvent supporter, en fonction de la longueur de l'ouvrage. La vitesse maximale acceptable sera d'autant plus faible que l'ouvrage sera long. L'ajout d'une rampe à chaque extrémité de l'ouvrage, le rétrécissement de la route ou la construction de remblais plus étroits permettent de réduire la longueur nécessaire. Une pente adoucie ou une surface rugueuse permettent de réduire la vitesse. La vitesse cible ne doit pas dépasser la vitesse maximale prévue pendant la migration des espèces cibles.

- L'augmentation de la vitesse dans l'ouvrage peut entraîner une érosion des berges en aval, augmenter l'effet de l'ouvrage et donc accroître la nécessité de protéger les berges. Il est recommandé que la vitesse à la sortie de l'ouvrage ne dépasse pas la vitesse initiale dans le chenal sur le site concerné, de plus de 25 %, pour un même débit. Mais si la vitesse initiale du chenal est très élevée, ce pourcentage pourrait être trop important.
- Un ouvrage sous-dimensionné créera une instabilité du lit en amont. Les berges ou les lits sensibles à l'érosion peuvent nécessiter une attention particulière.

Conception de rivière artificielle

- Cette conception reproduit un cours d'eau naturel dans l'ouvrage. Le transport des sédiments et des débris, le passage des poissons et les crues dans l'ouvrage doivent être identiques à ceux d'un chenal naturel. Le passage de la plupart des espèces est assuré par cette fonction. La conception d'une rivière artificielle repose sur le principe suivant : si un poisson ou une autre espèce aquatique peut circuler dans le chenal naturel, il doit pouvoir le faire dans le chenal artificiel de l'ouvrage.
- La rivière artificielle est la solution habituellement préférée pour les chenaux en pente et les longs ouvrages.
- Le premier critère est la largeur de l'ouvrage. Pour une bonne conception, le lit du chenal dans l'ouvrage doit être plus large que celui du chenal naturel, afin de maintenir les processus naturels dans l'ouvrage et sur les berges, ou de ménager des marges pour permettre le passage des poissons plus lents.
- Les principaux indicateurs pour déterminer si un site se prête à l'implantation d'une rivière artificielle sont la largeur du lit du chenal et la pente naturelle du cours d'eau. La largeur du chenal doit être inférieure à 10 m. Si elle est supérieure, il faut envisager le passage sous un pont (voir paragraphe 7.3.1).
- La pente de l'ouvrage doit être atténuée afin de diminuer l'effort de cisaillement entre le fond de l'ouvrage et le lit. La pente du cours doit correspondre à la pente naturelle du site. L'ouvrage peut être installé sur un plan horizontal ou en pente. Ce choix dépend de la longueur et de la pente du lit. Lorsque le passage est long, il doit être légèrement en pente afin de maintenir une voie d'eau à l'entrée.
- Lorsque la rivière artificielle doit épouser la pente du chenal, la composition et la forme du chenal adjacent (hors de l'influence de tout ouvrage) doivent déterminer l'aspect du lit dans l'ouvrage.
- Bien que la rivière artificielle constitue sans doute la meilleure solution lorsque le cours d'eau charrie de nombreux débris, il y a toujours un risque qu'une branche obstrue le passage et contrarie le cours. Les ponts sont généralement beaucoup plus appropriés que les passages hydrauliques lorsque la rivière transporte des débris.
- Le choix du type d'ouvrage utilisé pour la rivière artificielle est essentiellement une question de préférence. Les cadres sans radier sont bien adaptés ; en outre, le chenal peut être construit au-dessus, avant la mise en place de l'ouvrage.

Points d'intérêt particulier

Espèces et tailles des poissons

La conception hydraulique des passes à poissons doit tenir compte des espèces et des tailles de poissons les plus faibles. Quelles espèces fréquentent ce cours d'eau et quand ? Ces informations doivent être recueillies dès le début du projet.

La montaison des jeunes salmonidés (truites et saumons de 50 à 120 mm) est aussi une donnée importante sur de nombreux sites. Ces poissons sont petits et faibles ; la vitesse et le niveau de turbulence dans la passe doivent donc être réduits. Un ouvrage conçu spécialement pour les truites de 200 mm servira également de passage à de nombreux jeunes salmonidés et les caractéristiques hydrauliques d'une passe à truites adultes en cas de débit fort permettront le passage des jeunes truites en cas de débit faible.

Mesures d’accompagnement

Ralentisseurs

Les ralentisseurs sont des équipements supplémentaires destinés à augmenter la rugosité hydraulique et à réduire la vitesse dans les ouvrages à conception hydraulique. Ils permettent aussi de maintenir une lame d’eau minimale dans la passe en saison sèche. Ayant tendance à retenir les débris de bois, ils réduisent la capacité de l’ouvrage ; ils peuvent également constituer un obstacle pour les poissons et obstruer le passage. Pour permettre leur entretien, ils ne doivent pas être installés dans les ouvrages dont la hauteur libre est inférieure à 150 cm.

bandes rugueuses

Les bandes rugueuses sont constituées d’un mélange granulométrique de pierres et de sédiments créant la rugosité et la diversité nécessaires au passage des poissons dans les ouvrages à conception hydraulique. La rugosité détermine la vitesse tandis que la surface irrégulière et variable crée des voies de migration et des zones de repos pour des poissons de différentes tailles.

Figure 7.67 - Ralentisseurs dans une passe à poissons, en Norvège, pendant et après la construction (photographies de B. Iuell).

Filet de retenue des débris

- Le filet doit être installé au-dessus du niveau des hautes eaux.
- L’espace sous le filet doit être réservé à l’écoulement de l’eau.
- Les dimensions des mailles ne doivent pas être inférieures à 20 ou 25 cm.
- Un programme de suivi et d’entretien spécifique du filet doit être prévu.

Entretien

- La formation d’obstacles dans les passes à poissons est souvent dus à un manque d’entretien.
- L’exutoire doit être contrôlé après chaque inondation et au moins deux fois par an.
- Les opérations d’entretien nécessaires pour maintenir la capacité d’écoulement de l’ouvrage sont souvent différentes de celles requises pour le passage des poissons. Les débris bloquant les ralentisseurs n’influent pas toujours sur la capacité d’écoulement de l’ouvrage, mais peuvent empêcher le passage des poissons.

Une inspection et un entretien fréquents des passes à ralentisseurs sont nécessaires. Le passage de nombreuses espèces de salmonidés est crucial pendant les crues, en automne, alors que les risques d’inondation et les quantités de débris sont les plus élevés. L’entretien est généralement impossible lors des crues. Les poissons ne pourront plus passer pendant au moins une partie de la saison, si les ouvrages sont inopérants ou obstrués. Les ralentisseurs et autres obstacles potentiels sont hors de vue et difficiles à inspecter lorsque le niveau de la rivière est élevé.

7.3.7 Passages pour batraciens

Description générale et objectifs

La plupart des amphibiens ont besoin d'un plan d'eau pour se reproduire ; le reste du temps, ils peuvent vivre dans l'eau, au bord de l'eau ou sur terre. Nombreuses sont donc les espèces qui effectuent une migration saisonnière entre différents types d'habitats. Au printemps, les adultes se déplacent des sites d'hivernage aux sites de reproduction, que certains quittent ensuite pour rejoindre leurs habitats terrestres. Pendant l'été, après la métamorphose, les jeunes abandonnent la mare où ils ont éclos pour migrer vers leurs habitats terrestres. En automne, certaines espèces reviennent vers les sites d'hivernage. Certains amphibiens retournent vers leur mare natale chaque année. On sait, par exemple, que la grenouille rousse et le crapaud commun peuvent retourner vers leur lieu d'éclosion, plusieurs années après sa destruction. D'autres espèces se reproduisent dans des mares temporaires.

En raison des nombreuses migrations vers les frayères, des mesures spécifiques sont nécessaires pour protéger les amphibiens lorsqu'ils franchissent une infrastructure de transport. Les autres mesures destinées à réduire la mortalité sur et autour d'une infrastructure, telles que les bordures inclinées et les drains modifiés, sont traitées au paragraphe 7.4.6.

Les mesures ont les objectifs suivants :

- Bloquer l'accès à la route pour éviter la mort des amphibiens.
- Assurer la traversée des amphibiens se déplaçant entre les sites de reproduction et les autres.

Figure 7.68 - Les crapauds communs sont tués en grand nombre lorsqu'ils traversent les routes pour rejoindre les mares de reproduction (photographie de A. Toman).

Les amphibiens n'ont pas toujours besoin d'ouvrages de franchissement particuliers. Les passages inférieurs conçus pour la petite faune peuvent aussi être appropriés. Certains points revêtent cependant une importance particulière pour les amphibiens.

- Les ouvrages conduisant les animaux vers les tunnels sont particulièrement importants et doivent être raccordés très soigneusement (voir détails ci-dessous).
- Les amphibiens sont sensibles à la sécheresse, en particulier les jeunes. Les longs tunnels à sec ne sont donc pas appropriés. En revanche, si le passage est associé à une canalisation de drainage ou à un cours d'eau, ses berges resteront humides.

Dans la plupart des pays, il existe déjà des recommandations spécifiques pour les amphibiens. Elles ne prennent pas toutes en compte les dernières recherches sur l'efficacité des ouvrages. Mais il est possible qu'elles intègrent des indicateurs locaux. Ce paragraphe décrit les systèmes que l'on peut considérer comme courants, mais n'entre pas dans les détails. Dans tous les cas, un expert connaissant les besoins particuliers des amphibiens doit être consulté.

Emplacement

- Sur les tronçons routiers enregistrant une mortalité élevée d'amphibiens ou une faible mortalité d'espèces d'amphibiens menacées.
- Sur les voies de migration saisonnières des amphibiens, entre leurs habitats terrestres et leurs sites de reproduction.

Installations temporaires

Description générale

Une barrière est construite temporairement sur la voie de migration pour bloquer l'accès à la route et conduire les amphibiens vers des seaux, plantés dans le sol. Les animaux sont régulièrement ramassés et transportés de l'autre côté de la route. Ce système est généralement adopté lorsque des bénévoles peuvent se charger d'inspecter les installations.

Figure 7.69 - Seau pour recueillir les amphibiens. Il est placé près de la clôture pour éviter que les animaux ne sautent par-dessus sans y tomber (photographie de P. Schlup).

Seaux

- Les seaux doivent avoir une profondeur minimale de 30 à 40 cm.
- Le bord des seaux doit être situé au niveau du sol.
- La distance recommandée entre les seaux est de 10 m.
- Pendant la période de migration, les seaux doivent être inspectés fréquemment, en fonction du nombre d'animaux présents : entre une et trois fois par jour, et dans les zones très peuplées d'amphibiens, jusqu'à deux fois par heure.
- L'eau qui s'accumule dans les seaux doit être évacuée pour éviter que d'autres animaux ne se noient.
- Dans certains cas, un seau à bords larges est recommandé pour empêcher les tritons, les jeunes grenouilles et crapauds et les rainettes vertes de s'échapper.
- Si les seaux risquent de piéger des souris ou des musaraignes, on peut y placer une mince branche de bois pour aider les animaux à sortir.

Clôtures

- Les grillages et les filets ne sont pas recommandés, car les amphibiens pourraient les escalader. En outre, les filets ne sont pas très efficaces pour guider les animaux.
- Les clôtures doivent conduire les amphibiens vers les seaux.
- Un seau doit être placé à chaque extrémité des clôtures. Une autre solution est de recourber les extrémités des clôtures en forme de U pour réduire le nombre d'animaux qui les contournent.
- La hauteur minimale de la clôture doit être de 40 cm, et en présence de la grenouille agile, d'au moins 60 cm.
- La clôture doit être enfoncée dans le sol ; il convient d'empêcher les animaux de passer par-dessus en rabattant la partie supérieure, par exemple.
- Ne pas implanter de piquets du côté où circulent les amphibiens.
- Ne pas utiliser de clôtures magnétisées, qui pourraient désorienter le crapaud commun. Les installations temporaires peuvent être appropriées pour la migration des jeunes depuis les sites où ils ont éclos jusqu'à leurs habitats terrestres.

Mais les seaux ne sont pas adaptés aux jeunes animaux. Une autre méthode efficace est de bloquer les animaux par des barrières, qui seront ouvertes régulièrement lorsque la circulation sur la route sera coupée. Lorsque le climat est sec, la chaussée devra être mouillée pour faciliter leur déplacement.

Figure 7.70 - Il est possible de poser d'épaisses bâches en plastique opaque sans stabiliser le grillage, comme dans cet exemple en Hongrie. Toutefois, pour que la clôture puisse mieux conduire les animaux vers l'entrée, les poteaux ne doivent pas être placés du côté d'où viennent les amphibiens (photographie de M. Puky).

Installations permanentes

Ces installations sont constituées de fossés collecteurs et d'un tunnel. Les fossés guident les animaux vers le tunnel qui passe sous la route. Ils ne doivent pas barrer le passage aux animaux venant de la route. Les tunnels doivent être placés exactement sur les voies de migration. Si les fossés sont parallèles à la route, la distance entre les tunnels doit être inférieure à 60 m. S'ils sont en V, la distance peut être de 100 m. Les petits mammifères peuvent aussi bénéficier de ces installations. En présence de cours d'eau, le meilleur type de passage pour les amphibiens est un caniveau aux berges sèches en permanence.

Fossés collecteurs

- Il est important que la partie verticale soit placée selon un angle de 90° par rapport à la surface de déplacement. Les angles obtus ne sont pas appropriés pour guider les animaux.
- Les extrémités de la barrière doivent être en U pour empêcher les animaux de les contourner.
- La barrière doit avoir une hauteur minimale de 40 cm (et de 60 cm, en présence de la grenouille agile).
- La partie supérieure de la barrière doit être munie d'un rabat pour empêcher les animaux de passer par-dessus.
- Il est préférable qu'il n'y ait pas de végétation sur la surface de déplacement, mais sur les côtés pour protéger les animaux.
- Le fossé doit être situé le plus près possible de la route pour réduire la longueur du tunnel. Une glissière de sécurité doit éviter aux automobilistes faisant une sortie de route de tomber dans le fossé.
- À la jonction entre les fossés et l'entrée du tunnel, les arêtes et les coins doivent être évités.

Figure 7.71 - Lorsque l'extrémité de la barrière est en forme de U, les amphibiens sont obligés de rebrousser chemin, ce qui réduit le nombre d'animaux qui traversent la route, après avoir contourné la barrière (photographie de S. Zumbach).

Figure 7.72 - Vue d'un tunnel à section rectangulaire en Allemagne, avec fossés collecteurs parfaitement raccordés (photographie de J. Niederstrasser).

Tunnels simples

Les tunnels simples (également appelés tunnels à une voie) permettent la libre circulation des animaux dans les deux sens. Pour ce faire, le diamètre du tunnel doit être suffisamment grand (voir tableau 7.3). Ce système a été testé avec succès et est également approprié pour les petits mammifères.

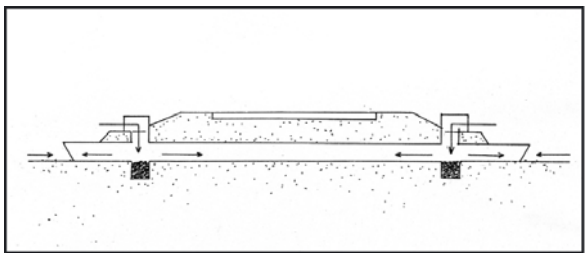


Figure 7.73 - Tunnels pour batraciens (Crapauduc simple).

Tableau 7.3 – Dimensions minimales requises pour différents types de construction, en fonction de la longueur du tunnel, c'est-à-dire la largeur de la route.

Longueurs libres minimales du tunnel				
Type de construction	<20 m	20-30 m	30-40 m	40-50 m
Section rectangulaire (largeur libre ; hauteur libre)	1,0 m ; 0,75 m	1,5 m ; 1,0 m	1,75 m ; 1,25 m	2,0 m ; 1,5 m
Section circulaire (diamètre)	1,0 m	1,4 m	1,6 m	2,0 m
Section demi-circulaire (largeur libre ; hauteur libre)	1,0 m ; 0,7 m	1,4 m ; 0,7 m	1,6 m ; 1,1 m	_

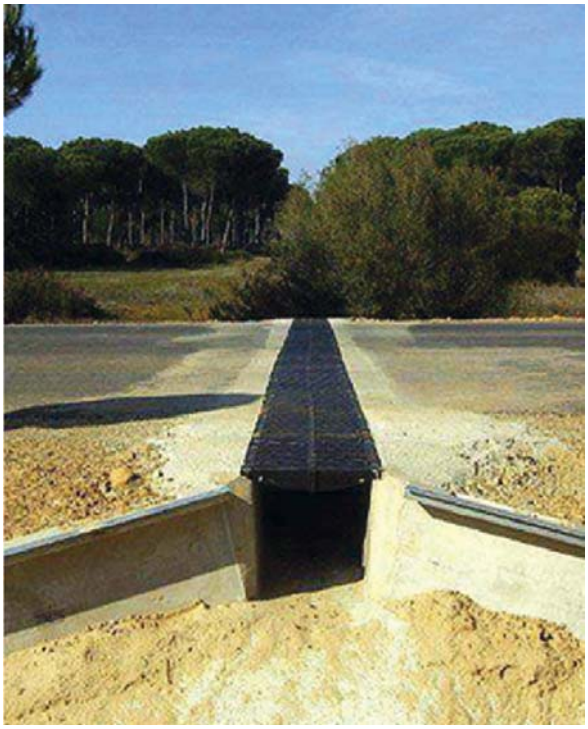


Figure 7.74 - Crapauduc couvert d'une grille, en Espagne (photographie de Giasa).

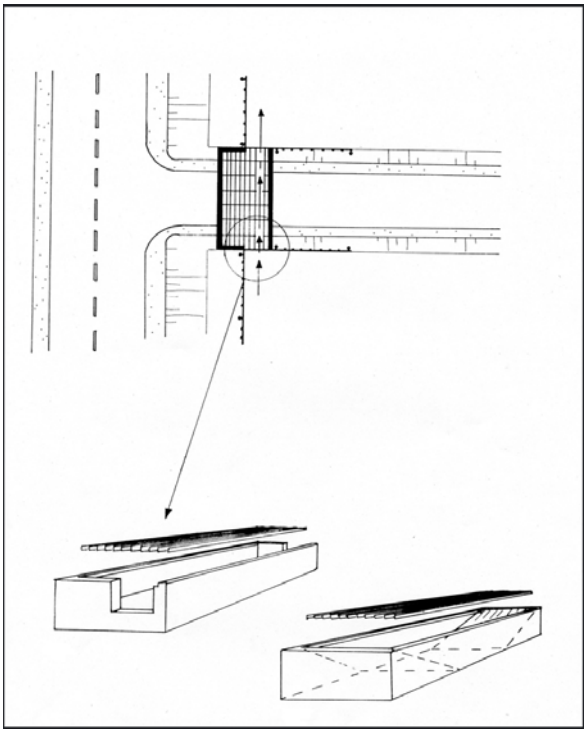


Figure 7.75 - À un croisement routier, les tunnels en forme de U (profondeur : 0,4 m ; largeur : 0,3 m) doivent être couverts de barreaux ou d'une grille en fer (60 x 100 mm) à la jonction avec les fossés collecteurs qui, en cas contraire, seraient coupés par la route secondaire.

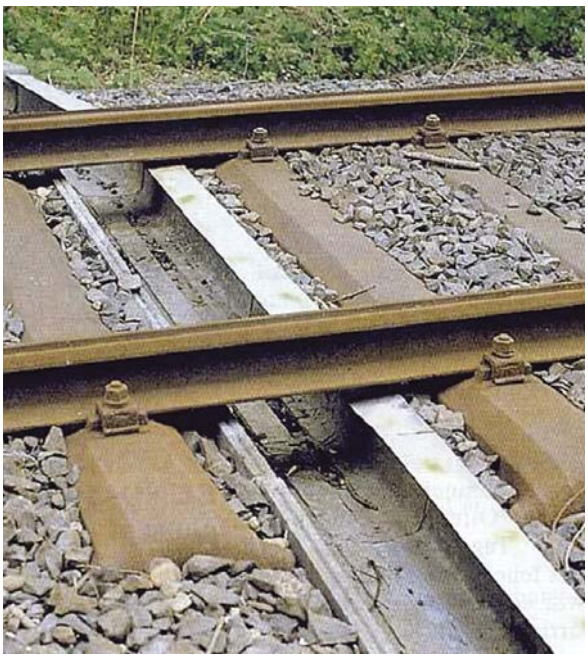


Figure 7.76 - Pour les amphibiens et autres petits animaux, une ½ buse peut être posé sous la voie ferrée, lorsqu'il est impossible d'installer un tunnel plus large (photographie de U. Bolz).

Points d'intérêt particulier

- Les tunnels à section rectangulaire sont recommandés, car leur partie inférieure est plus grande que celle des tunnels circulaires d'une hauteur libre similaire. Il est également plus facile de les raccorder correctement à la barrière.
- Dans le cas de tunnels circulaires, la partie inférieure doit être comblée de béton afin d'aménager un sol sur lequel les animaux pourront se déplacer.
- Le béton est préférable à l'acier, au plastique et aux autres matériaux.
- Si le crapauduc sert également au drainage, il faut veiller à ce qu'une berge reste sèche en permanence
- L'eau doit s'évacuer facilement du crapauduc.

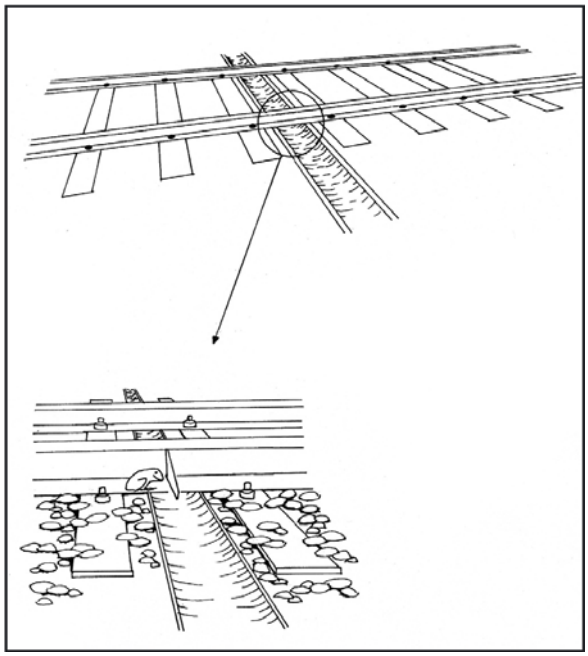


Figure 7.77 - Une cloison en feuille d'acier oblige les amphibiens à sauter dans le couloir qui passe sous la voie ferrée (d'après Müller & Berthoud, 1996).

Tunnels doubles

Un des premiers systèmes mis au point pour les amphibiens était constitué de deux tunnels différents. Les animaux tombent dans un piège installé au bord de la route, passent dans un tunnel et ressortent de l'autre côté. Ce système semble efficace pour certaines espèces cibles, comme les crapauds. Néanmoins, dans certains cas, on observe une mortalité considérable chez les tritons ainsi que les jeunes grenouilles et crapauds. En outre, ce système n'est pas approprié pour les petits mammifères. Le tunnel double ou tunnel à deux voies n'est donc plus recommandé.

Entretien

- De nombreux passages ne fonctionnent pas par manque d'entretien. Certains points importants doivent être contrôlés périodiquement (clôtures, obstruction du tunnel par l'eau, la terre ou les déchets, défauts dans la barrière).
- Un regard destiné à contrôler les opérations d'entretien doit être installé pour les inspections du tunnel et le nettoyage des déchets.

7.4 Prévention et réduction de la mortalité animale

Les collisions entre véhicules et grands mammifères représentent l'effet du trafic sur la faune le plus visible aux usagers de la route. Mais de nombreux petits animaux sont également tués par collision. Les équipements dont est dotée l'infrastructure de transport peuvent aussi être la cause d'une mortalité animale élevée : oiseaux de proie heurtant les câbles aériens des voies ferrées, petits mammifères piégés dans des drains, insectes attirés par la lumière des lampadaires, mammifères incapables de remonter des berges trop abruptes, etc. Ce chapitre présente les diverses mesures conçues pour réduire la mortalité sur et autour d'une infrastructure de transport. Il est loin d'être exhaustif, mais son objectif est aussi d'attirer l'attention sur la détection et l'évitement de pièges potentiels pouvant provoquer inutilement la mort d'animaux.

7.4.1 Clôtures

Description générale et objectifs

Les clôtures ont pour but d'empêcher les animaux d'accéder à la route ou à la voie ferrée. Elles sont posées essentiellement pour réduire le nombre de collisions entre véhicules et grands mammifères, mais aussi la mortalité routière de la petite faune. Leur défaut est d'accroître l'effet de barrière. C'est pourquoi il faut assurer aux espèces concernées assez de moyens pour traverser la route ou la voie ferrée. Dans la plupart des cas, les clôtures doivent donc être associées à des passages à faune. Elles remplissent alors une fonction importante en guidant les animaux vers les points de franchissement. Lorsque la sécurité routière n'est pas en jeu, les clôtures ne doivent être posées que si la mortalité animale menace toute une population. En cas contraire, l'effet de barrière peut être encore plus néfaste pour la survie des populations à long terme que la mortalité par collision.

Emplacement

- En général, les clôtures à faune ne doivent être posées que si la mortalité animale est élevée ou si le risque d'accidents avec la faune est important. C'est essentiellement le cas le long des autoroutes et des voies ferrées. Sur les routes ordinaires peu fréquentées, les clôtures ne doivent être posées que sur les sites à haut risque.

Figure 7.78 - Différentes clôtures à faune utilisées en Europe. En haut : clôture standard en Suisse (photographie de V. Keller). Au centre : clôture renforcée d'un câble supplémentaire, en Norvège (photographie de B. Iuell). En bas : clôture munie de poteaux en bois, en Hongrie (photographie de J. Zsidakovits).

- Il convient de recenser dans les environs les autres clôtures ou obstacles à la circulation des animaux : il faut éviter de créer des pièges entre deux clôtures parallèles et réduire autant que possible le nombre de clôtures.

- Les clôtures doivent toujours être posées des deux côtés de la route ou de la voie ferrée. Leurs extrémités constituent des points dangereux : les animaux peuvent les contourner et déboucher sur l'infrastructure. Les clôtures doivent donc

être raccordées à des ouvrages comme les ponts. Lorsqu'elles ne longent qu'un tronçon de route, elles doivent continuer sur 500 m ou plus après la zone dangereuse.

- Sur les routes relativement peu fréquentées, les clôtures peuvent être munies d'ouvertures aux endroits où les animaux peuvent traverser facilement tout en étant bien visibles aux conducteurs. Dans les zones où les habitats naturels des animaux ont été réduits en petites parcelles, tout habitat potentiel doit être réservé aux animaux.
- Du point de vue écologique, les clôtures doivent donc être posées près de la chaussée afin de réduire l'emprise inaccessible aux animaux et leur permettre d'utiliser les accotements comme habitats ou corridors de circulation. Mais la pose d'une clôture longeant la chaussée doit aussi prendre en compte les aspects liés à la sécurité routière et à l'entretien routier.
- Lorsque la route est construite sur un remblai en pente douce, il est préférable de ne pas poser de clôtures au pied du talus, mais en hauteur ou à mi-côte, selon la situation. Ce principe vaut également pour une route en déblai.
- Une attention particulière doit être portée à l'emplacement des clôtures par rapport aux passages à faune et aux autres points de franchissement possibles pour les animaux. Les clôtures ne doivent pas bloquer l'entrée des passages ni constituer de pièges, mais remplir une fonction importante : guider les animaux vers les passages (voir aussi paragraphes 7.2.1 et 7.3.2).

Conception

Les clôtures à faune classiques sont constituées de treillis fixés par des poteaux. La hauteur et les dimensions des mailles dépendent des espèces cibles. Pour servir de barrière, une clôture doit remplir les conditions suivantes :

- Elle doit être assez haute pour que les animaux ne puissent pas sauter par-dessus.
- Les mailles doivent assez petites pour que les animaux ne puissent pas passer à travers.
- Le treillis doit être enfoncé assez profondément pour que les animaux ne puissent pas passer par-dessous.
- Les clôtures électriques sont chères au fonctionnement et nécessitent une inspection et un entretien fréquents. Elles ne sont pas appropriées pour les longs tronçons de routes, mais peuvent être envisagées localement lorsqu'il existe un risque élevé pour des espèces menacées et peuvent être utilisées temporairement pendant la période d'adaptation des animaux à la nouvelle route.

Hauteur

- La hauteur est déterminée par la fréquence des espèces d'ongulés. Pour les cerfs, les daims et les élans, la hauteur minimale est de 2,2 m (de préférence entre 2,6 à 2,8 m). Pour les chevreuils et les sangliers, la hauteur minimale est de 1,5 m (de préférence entre 1,6 à 1,8 m).
- La hauteur doit être ajustée au terrain et est mesurée du côté d'où proviennent les animaux (voir figure 7.79). Lorsque les animaux accèdent à la clôture depuis un terrain en descente, cet ajustement est essentiel.
- Dans les zones enneigées, la hauteur minimale doit être également garantie pendant l'hiver.

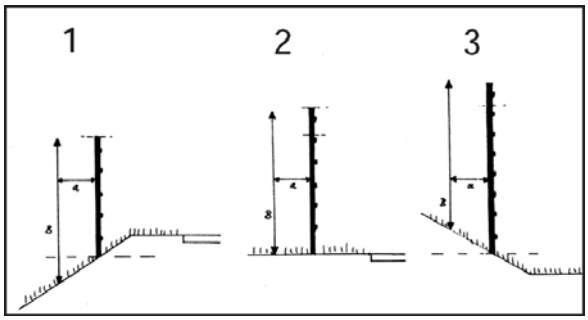


Figure 7.79 - La hauteur minimale d'une clôture est mesurée du côté d'où proviennent les animaux. 1 : Si la route est construite en remblai, la clôture peut être plus basse que sur un relief plat (2). 3 : Si la route est construite en déblai, la clôture doit être plus haute que sur un relief plat (2) (d'après Müller & Berthoud, 1996).

Mailles

- Pour les clôtures à faune classiques, il est recommandé que les mailles soient plus petites sur la moitié ou le tiers inférieur. Distance entre les fils horizontaux : partie inférieure : 50-150 mm ; partie supérieure : 150-200 mm. Distance entre les fils verticaux : 150 mm.
- Les fils doivent avoir un diamètre d'au moins 2,5 mm et doivent être constitués d'un matériau inoxydable.
- Dans les zones de fortes chutes de neige, le treillis supérieur doit être renforcé d'un câble pouvant supporter le poids de la neige qui s'y accumulera.
- Le treillis inférieur doit être au ras du sol et fixé pour empêcher les animaux de passer au-dessous de la clôture. Il peut être nécessaire d'enterrer le treillis à une profondeur de 20 à 40 cm sous terre dans les zones d'habitat du blaireau ou du sanglier. Lorsque le terrain est irrégulier, il doit être égalisé pour éviter qu'il n'y ait des trous sous la clôture. Une attention particulière doit être portée aux sites où les clôtures traversent des fossés.
- Le treillis doit être fixé à l'extérieur des poteaux (c'est-à-dire de la route) pour éviter qu'il ne soit arraché si des animaux se heurtent contre la clôture.

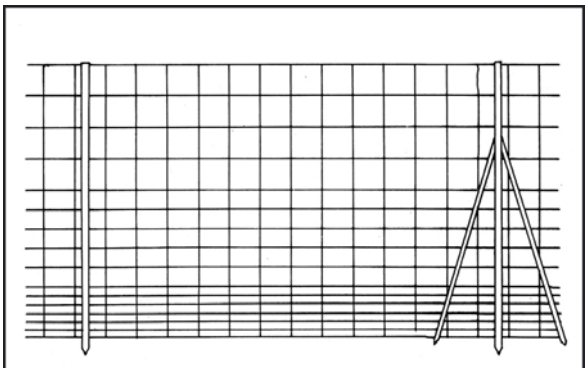


Figure 7.80 - Les dimensions des mailles doivent être plus petites dans la partie inférieure de la clôture à faune, pour empêcher les petits animaux de passer à travers.

Poteaux

- Les poteaux métalliques ou en bois sont aussi appropriés.
- Les poteaux doivent être assez solides pour absorber l'impact d'un animal en vol se heurtant contre la clôture. Les poteaux des extrémités doivent avoir un diamètre de 2 à 2,5" (acier) ou de 10 x 10 cm / 12 cm (bois). Les poteaux intermédiaires peuvent être légèrement plus minces. Les poteaux doivent être remplacés lorsqu'ils sont endommagés.
- Tous les poteaux doivent être solidement enfoncés dans le sol (à environ 70 cm ou plus selon le terrain).
- La distance entre les poteaux doit être de 4 à 6 m (jusqu'à 10 m dans un paysage plat) pour le cerf et de 4 m au maximum pour le sanglier.

Sorties

- Si les animaux risquent d'être emprisonnés du côté de la route, en particulier lorsque tout le tronçon n'est pas grillagé, des sorties doivent être aménagées pour leur permettre de sortir.
- Il est préférable d'éviter les portails de type hollandais pour blaireaux et autres portes mécaniques. L'expérience a montré qu'ils restent souvent ouverts et s'abîment vite.

Figure 7.81 - Une simple sortie constituée de souches d'arbres permet au lynx ibérique, dans le sud de l'Espagne, de traverser une clôture s'il est emprisonné (photographie de H. Bekker).

Figure 7.82 - Sortie dans la même région du sud de l'Espagne, conçue pour différentes espèces d'animaux

(photographie de H. Bekker).

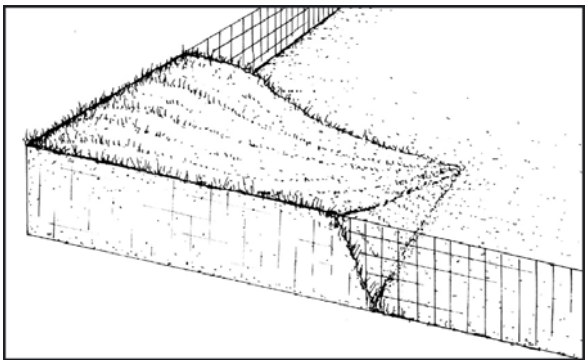


Figure 7.83 - Une rampe permet aux mammifères de sauter par-dessus la clôture lorsqu'ils se trouvent emprisonnés du côté de la route.

Remarques supplémentaires concernant les petits animaux

- Les clôtures bloquant l'accès des petits animaux (amphibiens, reptiles, petits mammifères) ne doivent être construites qu'en association avec des passages. En cas contraire, les petits animaux ne doivent pas être totalement éloignés des bords de routes, car ceux-ci leur offrent souvent un habitat approprié et leur sert de corridor de circulation. Seuls les cas de mortalité élevée justifient d'éloigner des espèces comme les tortues et les lézards des bords de route.
- Pour éloigner les petits animaux, on peut implanter un grillage en plus de la clôture habituelle. Selon les espèces, les dimensions des mailles ne doivent pas être inférieures à 2 x 2 ou à 4 x 4 cm. Hauteur : 40-60 cm. Pour empêcher les animaux de passer par-dessus la clôture, la partie supérieure doit être rabattue.
- Pour les amphibiens, les barrières opaques sont préférables aux grillages. Celles-ci sont abordées au paragraphe 7.3.7.

Entretien

- Les clôtures doivent être vérifiées en détail, dans le cadre d'une inspection courante de la route, au moins une fois par an et plus fréquemment la première année.
- Une attention particulière doit être portée aux éléments suivants :
  - clôture déchirée (à réparer immédiatement) ;
  - fixations aux poteaux ;
  - fixations au sol ;
  - traces et creux indiquant le passage régulier d'animaux sous la clôture ;
- clôture endommagée par un véhicule accidenté ou par une tempête (à réparer immédiatement).

Points d'intérêt particulier

- Les clôtures sont des obstacles efficaces pour la plupart des espèces, mais pas pour toutes : elles empêchent bien l'accès des cerfs, des sangliers, des lièvres et autres espèces qui ne creusent pas le sol et ne grimpent pas. En revanche, les ours bruns, les lynx, les martres et autres animaux peuvent escalader la plupart des types de clôtures. Les animaux fouisseurs comme les blaireaux et les renards peuvent passer au-dessous d'une clôture si celle-ci n'est pas enterrée.
- Lorsque les clôtures doivent être munies de portails d'accès à la route ou à la voie ferrée, elles doivent être conçues de manière à éviter au maximum des interstices entre le portail et le sol, ainsi qu'entre le portail et la clôture.
- Une haie dense de buissons plantée du côté extérieur peut empêcher les animaux de sauter par-dessus la clôture. Aucune espèce de plante appétente ne doit être utilisée.
- Tous les petits ponts, passages inférieurs, ouvrages hydrauliques et autres passages mixtes doivent être accessibles aux animaux du côté extérieur de la clôture.
- Lorsqu'une petite route de desserte oblige à réaliser une ouverture dans la clôture, les grilles à bétail au sol peuvent constituer une barrière pour les grands animaux. Mais elles représentent un danger pour les petits animaux qui y tombent facilement. Elles doivent donc être équipées d'un rampe de sortie. Un trou ménagé sur le côté permet aussi de réduire le nombre de victimes.

Figure 7.84 - Les grilles à bétail sont généralement utilisées sur les chemins agricoles, comme dans cet exemple au Danemark. Mais elles peuvent aussi servir sur une route

7.4.2 Répulsifs

Les répulsifs ont pour but d'éloigner les animaux de la route ou de la voie ferrée, afin de réduire le nombre de collisions. Ils sont essentiellement destinés au cerf. Il existe plusieurs systèmes basés sur des dispositifs optiques, acoustiques ou olfactifs. L'expérience a montré que l'efficacité de ces mesures est généralement très limitée.

Réflecteurs et miroirs

Les réflecteurs de sécurité sont très répandus. Ils sont constitués de différents types de bandes métalliques placées autour des arbres ou autres structures. Les phares des véhicules se reflétant sur les accotements doivent alerter les animaux et les détourner de la route. Ces dispositifs sont souvent utilisés car ils sont peu coûteux et faciles à mettre en place. Malheureusement, une analyse approfondie des études conduites sur les 40 dernières années dans le monde entier n'a pas démontré l'efficacité de ces réflecteurs. En outre, ils nécessitent beaucoup d'entretien.

Figure 7.85 - Réflecteur de sécurité en Espagne. L'efficacité de cette mesure n'a pas été pleinement démontrée (photographie de C. Rosell).

Répulsifs acoustiques

Les dispositifs à ultrasons émettent des signaux acoustiques supposés repousser les mammifères. Comme les autres répulsifs acoustiques, ils n'ont pas montré leur efficacité.

Répulsifs olfactifs

Les répulsifs olfactifs, utilisés depuis relativement peu, sont destinés à éviter les accidents, essentiellement avec les cerfs. Un concentré d'odeurs d'êtres humains, de loups et autres prédateurs, naturelles ou artificielles, est injecté dans une mousse qui sert de support et qui est ensuite appliquée sur les arbres ou les poteaux, aux abords des routes. Les premiers essais ont montré que le nombre de collisions avec des véhicules est efficacement réduit. Selon certaines observations, les cerfs sont plus vigilants et semblent se méfier davantage des voitures. Lorsqu'il n'y en a pas de véhicule, ils traversent la route. Mais d'autres observations ont montré que si les cerfs traversent moins souvent les tronçons de route traités, ils se déplacent vers ceux qui ne le sont pas.

Pour éviter que les animaux ne s'habituent aux répulsifs olfactifs, cette méthode ne doit être utilisée que pendant les périodes critiques, celle de la migration du cerf, par exemple.

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer l'efficacité de ces mesures à long terme. Une plus longue expérience permettra d'évaluer les besoins en matière d'entretien. Les effets éventuels sur les espèces non concernées restent inconnus.

Figure 7.86 - Répulsifs olfactifs appliqués sur des poteaux, le long d'une route (photographie de C. Rosell).

7.4.3 Panneaux de signalisation de danger

Les panneaux de danger ont pour but d'influer sur le comportement des conducteurs, afin de réduire le nombre et la gravité des collisions entre véhicules et grands mammifères. Ces panneaux de signalisation réglementaires sont implantés sur les sections enregistrant le plus de collisions. Il en existe également pour les amphibiens, les oiseaux aquatiques et autres animaux. Toutefois, les recherches ont montré que les conducteurs ne font guère attention à ces panneaux, et en particulier, ils ne réduisent pas leur vitesse. Des méthodes ont donc été mises au point pour améliorer l'efficacité de ces dispositifs.

Figure 7.87 - Panneau avertissant de la présence d'élans, en Norvège. Ces panneaux ne sont guère efficaces, car les conducteurs n'y prêtent plus attention (photographie de S. Persson, Østlandets Blad).

Emplacement

- Les panneaux de danger ne doivent être installés que sur les sites présentant un risque élevé de collisions. En effet, plus ils sont nombreux, moins ils sont crédibles.
- Si les panneaux n'étaient implantés que pendant les périodes critiques, les conducteurs y prêteraient peut-être plus attention.

Points d'intérêt particulier

- L'association des panneaux de danger à une limitation de vitesse est légèrement plus efficace.
- Les panneaux sont plus efficaces lorsqu'ils sont accompagnés de lumières clignotantes ou de panneaux de limitation de vitesse clignotants, posés uniquement pendant la principale période d'activité des animaux.

7.4.4 Systèmes d'avertissement avec capteurs

Les systèmes d'avertissement avec capteurs de chaleur ont permis de réduire le nombre de collisions. Les capteurs de chaleur, implantés aux abords des routes, détectent les animaux approchant dans un rayon de 250 m. Ils activent des panneaux de danger à fibre optique, associés à des panneaux de limitation de vitesse (30-40 km). En temps normal, les panneaux sont noirs ; les points lumineux ne sont visibles que s'ils sont activés. Ce système peut être alimenté à l'énergie solaire. Les panneaux de signalisation de danger sans limitation de vitesse sont moins efficaces.

Figure 7.88 - Système d'avertissement avec capteurs de chaleur, utilisé dans une région de la Suisse où les cerfs traversent souvent la route (photographie de H. Bekker).

Points d'intérêt particulier

- Les conducteurs doivent être informés du mode de fonctionnement de ce système combiné. En effet, ils n'adapteront leur comportement que s'ils savent qu'un panneau lumineux n'indique pas seulement un danger potentiel, mais la présence réelle d'un animal.
- Les panneaux de danger doivent être associés à une limitation de vitesse.
- Comme tout équipement, ce système doit être vérifié périodiquement.

7.4.5 Adaptation de la végétation adjacente à l'infrastructure

Description générale

Il existe différents modes de conception et de gestion de la végétation longeant les routes et les voies ferrées, dont le but est de réduire le nombre de collisions. Certains sont destinés à empêcher les animaux d'accéder à la chaussée en les attirant sur d'autres sites, en influençant leur comportement ou en les rendant plus facilement visibles aux conducteurs.

Coupe de la végétation

La coupe des buissons et des arbres sur une largeur de 3 à 10 m, le long de la route, réduit l'attrait de cette zone pour les grands mammifères tels que les élans. En même temps, les animaux sont plus visibles aux conducteurs. Cette mesure vise à réduire le nombre de collisions entre véhicules et grands mammifères. Elle est adaptée aux routes peu fréquentées et aux voies ferrées. Les accotements à végétation basse présentent souvent une densité élevée de petits mammifères (rongeurs) et attirent donc les oiseaux de proie. Cette mesure peut donc accroître le risque de collisions avec des oiseaux.

Figure 7.89 - Lorsque la végétation haute des bords de route est coupée, comme sur l'E18, dans le comté d'Akershus en Norvège, les grands mammifères tels que les élans sont plus visibles aux conducteurs. En outre, en l'absence de sources d'alimentation attrayantes, les animaux présents sur les accotements sont moins nombreux (photographie de B. Iuell).

Choix des espèces végétales

Le choix d'espèces végétales appropriées sur les bords de routes permet de réduire le nombre de collisions entre les voitures ou les trains et les animaux.

Bien qu'il soit recommandé de planter des espèces indigènes, il convient d'éviter les plantes comestibles qui pourraient attirer les animaux et augmenter ainsi le risque de collisions avec des véhicules :

- Planter des buissons et des arbres qui n'attirent pas le cerf ou autres espèces à la recherche de nourriture.
- Ne pas planter de baies comestibles, en particulier sur le terre-plein central. Ces plantes attirent les oiseaux , en particulier pendant les migrations.
- Les incendies de forêt partent souvent de la route. Éviter les espèces végétales brûlant facilement, afin de réduire le risque de propagation du feu dans les habitats adjacents.

Haies

- Une haie longeant une clôture peut guider les animaux vers les passages à faune. Si la clôture est séparée de la haie par un espace, elle sera plus facile à entretenir.
- Si la clôture est renforcée par une haie de buissons, les risques que les animaux sautent par-dessus seront réduits.
- Une haie d'arbres de haute futaie oblige les oiseaux à voler à une certaine hauteur, leur permettant de traverser la route sans se heurter contre une voiture. En revanche, une haie peut attirer les oiseaux sur les accotements, augmentant ainsi le risque de collisions.
- La plantation de haies doit prendre en compte la visibilité et le choix des espèces végétales.

7.4.6 Adaptation de l'infrastructure

Écrans antibruit

Les écrans antibruit sont implantés près des habitations humaines pour réduire les nuisances sonores, ou pour protéger, dans certains cas, les colonies d'oiseaux pendant l'époque de la reproduction, par exemple. Même lorsqu'ils ne sont pas construits pour la faune, ils doivent être abordés dans ce paragraphe car ils peuvent accentuer la fragmentation de l'habitat, encore davantage que les clôtures. Dans les zones d'urbanisation dense, les écrans antibruit ne posent généralement pas de problèmes à cet égard. Dans les environnements plus naturels, ils constituent des barrières infranchissables pour tous les animaux terrestres.

Écrans opaques

Les écrans antibruit en béton, en bois ou autre matériau sont de véritables obstacles pour les animaux. Dans les zones naturelles, ils doivent donc être associés à des passages à faune. Cet aspect doit aussi être pris en compte dans le cas d'écrans antibruit de faible hauteur longeant les voies ferrées ; en effet, ils peuvent gêner la circulation de petits vertébrés comme les serpents qui en cas contraire, n'auraient pas été considérablement touchés.

Les écrans antibruit peuvent aussi guider les animaux vers les passages à faune.

Les écrans antibruit sont habituellement fixés sur une base en béton solide. Ils isolent donc complètement les accotements des habitats environnants. Pour les petits animaux, notamment les invertébrés, ils constituent des obstacles plus importants que les clôtures. Nous n'avons pas d'expérience concernant les conséquences sur les populations animales ou les solutions éventuelles pour réduire l'effet de barrière, telles que la construction de petites ouvertures à la base des ouvrages.

Figure 7.90 - Cet écran antibruit est muni d'ouvertures dans la partie inférieure pour réduire l'effet de barrière sur les petits animaux (photographie de H. Bekker).

Écrans transparents

Les écrans transparents sont implantés sur les sites où les aménageurs ont souhaité que les conducteurs ou les passagers puissent voir le paysage environnant. Ils comportent un risque élevé de collisions, pour la plupart mortelles, avec les oiseaux, qui ne les reconnaissent pas comme des obstacles. Cela est particulièrement vrai lorsque la végétation naturelle est visible à travers la vitre ou que les arbres et les buissons s'y reflètent. Il a été démontré que des marquages appropriés permettent de réduire sensiblement le nombre de collisions.

Figure 7.91 - Écran antibruit transparent équipé de bandes verticales, le long d'une autoroute en Suisse (photographie de H. Schmid).

Conception

- Les bandes verticales sont recommandées, mais d'autres types de marquage peuvent aussi être efficaces.
- La largeur des bandes doit être de 2 cm et l'intervalle maximal entre deux bandes doit être de 10 cm (autre solution : largeur de 1 cm et intervalle de 5 cm).
- Les couleurs claires sont préférables aux couleurs sombres, car elles sont plus visibles au crépuscule.
- Les marquages doivent être appliqués du côté extérieur du mur (de la route), pour éviter les réflexions.
- Le marquage de silhouettes d'oiseaux de proie n'est pas recommandé. Il n'est efficace pour éviter les collisions que si les silhouettes sont très nombreuses.
- Les matériaux réfléchissants et les verres ne doivent pas être utilisés.

Figure 7.92 - Le marquage de quelques silhouettes isolées d'oiseaux de proie est inefficace pour éviter les collisions d'oiseaux (photographie de C. Rosell).

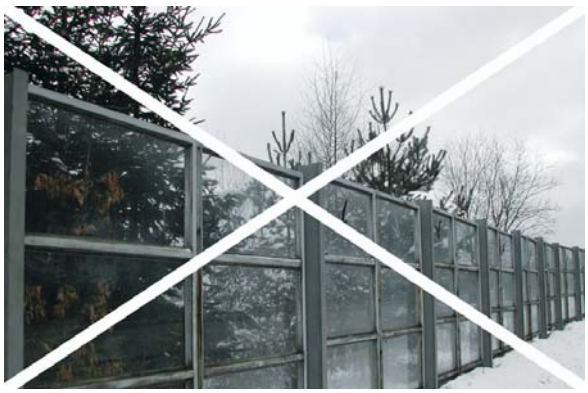


Figure 7.93 - La plantation de buissons près des écrans transparents doit être évitée (photographie de V. Hlaváč).

Points d'intérêt particulier

- Les écrans transparents doivent être évités, autant que possible. Les écrans opaques peuvent être couverts de buissons ou de plantes grimpantes.
- Les arbres et les buissons ne doivent pas être plantés près d'écrans antibruit transparents, car ils augmenteraient le risque de collisions. Lorsqu'ils sont nécessaires dans le cadre de mesures d'atténuation, aucun écran antibruit transparent ne doit être construit aux alentours.

Figure 7.94 - Hérisson bloqué par une bordure de trottoir (photographie de B. Iuell).

Adaptation des bordures de trottoirs

Les bordures de trottoirs sont souvent trop élevées pour les petits amphibiens, les reptiles, les mammifères ou les invertébrés. S'ils ne trouvent pas d'issues, ces animaux peuvent être bloqués et mourir. Une solution peu coûteuse consiste à adoucir la pente des bordures. Il suffit de maintenir une hauteur de quelques millimètres pour que les bordures puissent être détectées par les aveugles utilisant une canne blanche, par exemple. On peut également aménager des ouvertures dans les bordures, en particulier si les plantes peuvent pousser entre les pierres.

Rampes de sortie de drains

Les ouvertures dans les enveloppes métalliques des drains sont souvent trop grandes pour les petits vertébrés et les invertébrés, qui y tombent et se noient. Les rampes offrent une issue de secours à ces animaux. Dans les zones de frai d'amphibiens, on peut poser un grillage sous l'enveloppe du drain pour éviter les chutes. Les amphibiens sont les seuls animaux qui survivent pendant le trajet entre le drain et l'usine d'épuration ; il faut donc leur installer des rampes de sortie dans l'usine.

Remarques :

- Les rampes doivent avoir une surface rugueuse pour permettre une bonne adhérence.
- Les rampes doivent déboucher à une hauteur d'environ 15 cm au-dessus du sol.
- L'extrémité des rampes doit être équipée d'un grillage pour empêcher les petits prédateurs de s'y introduire. Les mailles doivent avoir approximativement les mêmes dimensions que les ouvertures dans l'enveloppe métallique.

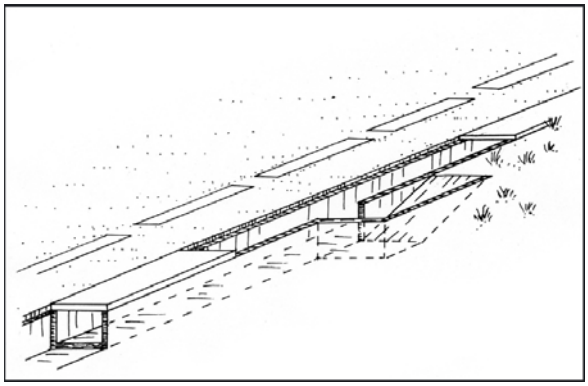


Figure 7.95 - La construction de rampes de sortie de drains tous les 25 m évite la formation de pièges mortels pour les petits animaux.

Éclairage routier

L'éclairage routier attire souvent les insectes, et par conséquent, les chauves-souris et les oiseaux nocturnes qui les chassent. Il entraîne ainsi une mortalité élevée chez les insectes et leurs prédateurs. Dans les zones sensibles, les besoins en éclairage routier doivent donc être évalués en fonction des conséquences sur la nature. Pour éviter les collisions avec les insectes, il est recommandé d'utiliser des lampes à vapeur de sodium.

Sorties de voies navigables

Description générale

Les canaux et conduits d'irrigation sont souvent protégés contre l'érosion par des remblais (presque verticaux). Les vagues dues au vent ou aux bateaux, le courant de la rivière et le manque d'espace entre l'eau et la zone adjacente expliquent souvent que les berges soient protégées par des palplanches.

Nombreux sont les animaux qui se noient parce qu'ils ne parviennent pas à grimper hors de l'eau. Ce problème est accentué lorsque les palplanches sont situées à 0,2 m ou plus au-dessus du niveau de l'eau. Il se pose à tous les animaux ; même les oiseaux aquatiques jeunes peuvent en être victimes.

Il est possible d'éviter la noyade des animaux en aménageant des sorties. Il existe deux principales solutions :

- La meilleure consiste à construire un nouveau remblai en pente naturelle, permettant l'implantation de la végétation. Ce remblai peut servir d'habitat et de corridor.
- Quand l'espace est insuffisant, les palplanches peuvent être abaissées localement au-dessous du niveau de l'eau, pour permettre aux animaux de sortir de la rivière.

Emplacement

Une forte densité d'animaux noyés peut indiquer la nécessité d'aménager des sorties pour la faune. Celles-ci doivent être placées exactement à l'endroit où les traces rejoignent l'eau. L'identification des lieux de noyades n'est pas facile car les cadavres peuvent être déplacés par les courants ou enlevés par les charognards.

Figure 7.96 - Différentes possibilités de sortie d'une voie navigable, pour la faune, aux Pays-Bas. Les sorties ne peuvent être aménagées devant les palplanches que si elles ne présentent pas de danger pour les bateaux. Utilisées par les blaireaux, les cerfs, les chevreuils, les jeunes canards et les hérissons (photographies de H. Bekker).

Conception de remblais naturels

Le nombre de possibilités est énorme, selon la situation, les matériaux, les forces des vagues et des courants, etc. Les projets réalisés aux Pays-Bas montrent que ces solutions peuvent présenter de nombreux avantages sur le plan écologique. Le sujet est traité dans d'autres manuels.

Conception de sorties pour la faune

- Plusieurs conceptions sont possibles, selon la fonction et les caractéristiques de la voie navigable (bateaux, courants, vagues, espèces).
- Les sorties peuvent être placées devant ou derrière les palplanches.
- Les sorties peuvent être construites en bois, en acier ou en pierre.
- Dimensions : sur les canaux aux Pays-Bas, il est recommandé de construire un grand nombre de sorties d'une largeur de 1 m ou un nombre plus limité de sorties d'une largeur de 5 à 7 m.
- Aux Pays-Bas, la distance recommandée entre les sorties est de 50 m.
- La végétation entourant la sortie peut attirer les animaux et les inciter à nager jusqu'à elle. Elle peut faire partie de la structure du paysage environnant.
- Les sorties doivent être aménagées sur les deux rives. Il convient d'étudier les distances que les différentes espèces peuvent parcourir en nageant.

Mesures d'accompagnement

- La sortie doit être entourée d'une végétation offrant un abri aux animaux et intégrée dans la structure du paysage environnant.
- Les sorties peuvent être reliées à des passages inférieurs lorsqu'une route parallèle au canal constitue un obstacle.
- Il est possible de poser des clôtures ou des haies pour guider les animaux depuis la rive.

Entretien

- Les grosses vagues de poupe provoquées par les grands bateaux endommagent souvent les palplanches. Leur effet est encore plus important lorsque les deux rives de la voie navigable en sont munies. Les protections équipant une sortie reçoivent les mêmes vagues, ce qui augmente le risque d'érosion.
- Les sorties sont des sites où les déchets flottants s'accumulent facilement.

Pour plus d'informations : le manuel néerlandais CUR comprend six volumes sur les remblais écologiques, traitant des aspects techniques et environnementaux. Il est en cours de traduction en anglais.

7.5 Réduction de l’effet de barrière et de la mortalité : autres mesures

7.5.1 Modification de la largeur de la chaussée et réduction de la densité de trafic

L’effet de barrière des routes sur les petits animaux est en partie proportionnel à la largeur de la surface goudronnée. Toutefois, le nombre et la vitesse des véhicules influent aussi sur la mortalité animale. Il existe différents types de mesures bénéfiques pour la faune.

Rétrécissement de l’infrastructure

- Les petits animaux tels que les invertébrés traversent plus facilement les chemins agricoles et forestiers non goudronnés.
- On peut éviter le revêtement total des chemins agricoles en aménageant deux bandes bétonnées pour les tracteurs. La végétation continue de pousser entre les bandes, offrant ainsi un abri aux invertébrés.

Réduction du volume de trafic

- La route peut être fermée temporairement lorsque les animaux doivent la traverser pendant une période limitée. Cette mesure est recommandée, par exemple, pour protéger les amphibiens pendant leur migration jusqu’aux sites de reproduction (fermeture de la route pendant les nuits humides de printemps) ou pour permettre aux rennes de rejoindre leurs zones d’hivernage sans être perturbés (fermeture de la route pendant la période critique, en hiver).
- Toute autre mesure courante utilisée pour réduire le volume de trafic (rues à sens unique, accès limité, etc.) permet de diminuer également le nombre de collisions avec la faune.

Réduction de la vitesse des véhicules

- Le rétrécissement de la route permet de réduire la vitesse des véhicules et donc le risque de collisions avec des mammifères. Cette mesure est appropriée sur les routes rurales relativement peu fréquentées.
- La réduction temporaire ou permanente de la vitesse autorisée sur les sites accidentogènes permet de limiter les risques de collisions avec des mammifères.
- Lorsque les collisions sont essentiellement nocturnes, il peut suffire de limiter la vitesse de nuit.
- Les ralentisseurs sont recommandés sur les routes peu fréquentées.

7.5.2 Déclassement de l’infrastructure

Le déclassement d’une route ou d’une voie ferrée doit être envisagée en particulier lorsqu’une nouvelle infrastructure vient d’être construite. Si des tronçons de l’ancienne infrastructure sont totalement supprimés et que le terrain est rendu à la nature, on peut considérer que cette mesure compensera la fragmentation supplémentaire de l’habitat, causée par la nouvelle infrastructure. Toutefois, dans la plupart des cas, l’ancienne infrastructure n’est pas complètement supprimée, mais utilisée comme piste cyclable ou voie piétonnière, par exemple. Elle ne réduit la fragmentation de l’habitat que dans une faible mesure.

Le déclassement d’une infrastructure doit être envisagé dans la procédure générale de planification (voir chapitre 5).

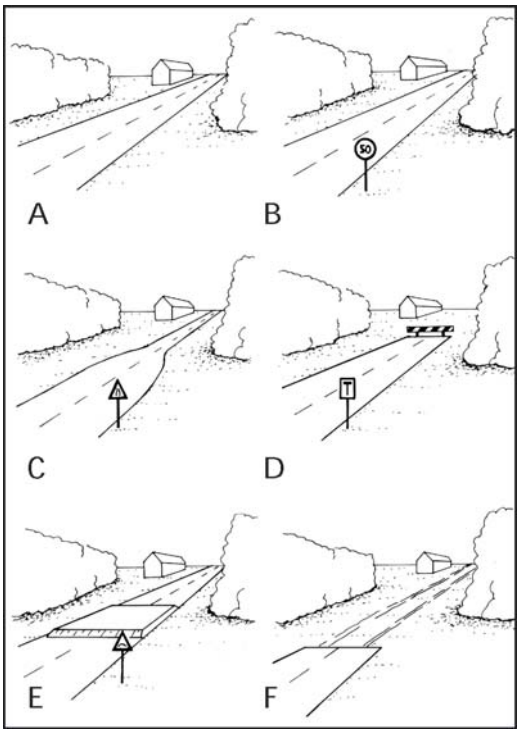


Figure 7.97 - Les mesures de modération du trafic réduisent l’effet de barrière et le nombre de collisions.
A : situation initiale.
B : réduction de la vitesse autorisée.
C : réduction de la vitesse et de la capacité de trafic par rétrécissement de la route.
D : réduction du trafic par fermeture à la circulation (route coupée).
E : réduction de la vitesse par ralentisseurs.
F : remplacement de la route par deux bandes bétonnées permettant la circulation agricole et réduisant l’effet de barrière sur les invertébrés.

8 Compensation écologique

Table des matières

8.1 Concept de compensation écologique **133**

8.1.1 Compensation écologique en cas de perte ou de dégradation de l’habitat 133

8.1.2 Compensation dans le cadre de la protection de la nature 133

8.1.3 Portée des mesures compensatoires 133

8.2 Obligations légales **134**

8.2.1 Réglementations et législation internationale 134

8.3 Compensation écologique dans les projets d’infrastructure **134**

8.3.1 Quand compenser les impacts écologiques 134

8.3.2 Responsabilité de mise en œuvre des mesures compensatoires 134

8.3.3 Création d’habitat 135

8.3.4 Déplacement de l’habitat 135

8.3.5 Amélioration de l’habitat 135

8.3.6 Compensation identique/différente et sur/hors site 135

8.3.7 Compensation durable 137

8.4 Banques de compensation écologique **137**

8

8.1 Concept de compensation écologique

8.1.1 Compensation écologique en cas de perte ou de dégradation de l'habitat

En dépit d'une bonne planification et de mesures d'atténuation pour éviter ou réduire les effets négatifs sur les habitats naturels, il est impossible de supprimer totalement les impacts d'une infrastructure. Ce constat a conduit à la formulation du principe de compensation écologique dans un grand nombre de pays européens. Ce principe établit que les habitats naturels spécifiques et leurs caractéristiques (zones humides ou forêts primaires) doivent être recréés dans une autre zone lorsqu'ils sont touchés par un projet d'infrastructure approuvé. Les mesures adoptées doivent compenser les dommages écologiques et visent à rétablir une situation « sans perte nette », bénéficiant aux habitats et aux espèces cibles. La compensation écologique peut donc être définie comme la création, la restauration ou l'amélioration des qualités naturelles en vue de contrebalancer les dommages écologiques causés par l'aménagement d'infrastructures.

La compensation écologique vise à intégrer la protection de la nature dans la politique sectorielle de planification d'infrastructures et renforcer la prise de décisions liées au projet (voir chapitre 5). Il s'agit d'instaurer une situation « sans perte nette », une fois le projet accepté. Cela signifie qu'elle est la solution adoptée « en dernier ressort » : elle n'est envisagée que si la planification et les mesures d'atténuation ne peuvent pas éviter les dommages. Elle ne doit pas être considérée comme une opération autorisant les aménageurs à rejeter les objections d'ordre environnemental.

Les instruments légaux tels que les mesures d'expropriation qui permettent aux aménageurs d'acquérir des terrains auprès des propriétaires fonciers étant peu nombreux, les mesures compensatoires sont surtout mises en place à titre volontaire, en s'appuyant sur des accords entre les aménageurs, les associations de protection de la nature, les propriétaires fonciers et autres acteurs clés.

8.1.2 Compensation dans le cadre de la protection de la nature

Les mesures compensatoires sont fondamentalement différentes des mesures de protection ou d'amélioration des caractéristiques naturelles (politiques de protection de la nature). Elles doivent néanmoins correspondre aux objectifs locaux et nationaux de protection de la nature. Contrairement aux mesures paysagères et d'atténuation, elles sont généralement entreprises hors de la zone d'emprise. Les initiateurs des projets sont responsables de la mise en œuvre des mesures compensatoires ; ce sont donc les parties d'ouvrage des infrastructures qui doivent s'efforcer d'acquérir, à cet effet, les terrains avoisinant l'infrastructure. Si les sites sont bien choisis, parce qu'ils sont reliés à une réserve naturelle ou à un réseau de zones préservées par exemple, les fonctions et les liens écologiques pourront être protégés ou améliorés.

8.1.3 Portée des mesures compensatoires

Les mesures compensatoires sont appliquées différemment d'un pays à l'autre et dépendent du contexte géographique et culturel. Elles peuvent consister à changer l'usage des terres pour aménager de nouveaux habitats (bois, lits de rivières, etc.). L'amélioration des habitats peut aussi conduire à adapter les activités agricoles aux objectifs de protection de la nature (oiseaux ou plantes de prairie). On peut créer des zones humides artificielles (pas nécessairement des étangs) pour attirer des espèces telles que les amphibiens ou les reptiles. Il est probable qu'elles ne remplaceront pas les zones humides touchées par le projet, sur le plan paysager et écologique. Les recherches relatives aux compensations bénéficiant à des espèces spécifiques peuvent aussi entrer dans le cadre des mesures compensatoires. La compensation écologique peut s'appliquer à l'ensemble des impacts, y compris à la dégradation de l'habitat (impact sans destruction totale) et à la perte de fonctions telles que les apports en nutriments et en énergie.

8.2 Obligations légales

8.2.1 Réglementations et législation internationale

Les mesures compensatoires peuvent être requises dans les cas suivants :

I. a. Législation internationale : directive européenne Oiseaux (1979) et directive européenne Habitat (1992)

b. Législation nationale sur la compensation

Principes régissant la compensation selon la législation internationale ou nationale :

- La protection des espèces et des habitats visés par les réglementations nationales ou internationales impose des contraintes sévères pendant la procédure de planification ; il est généralement difficile de justifier la nécessité sociale de projets touchant des zones protégées ou des zones d'habitat d'espèces protégées.
- La compensation financière ou en d'autres termes que ceux concernés (échanges) ne doit pas être autorisée.
- La compensation écologique doit traiter les aspects physiques et fonctionnels de l'impact.
- Conformément aux directives Oiseaux et Habitat, les mesures compensatoires doivent être mises en place avant le début du projet d'infrastructure.

II. Politique de compensation officielle : mesures non législatives (inscrites par exemple, dans la politique nationale). Lorsque la compensation est liée à une politique nationale officielle, les mesures requises sont généralement moins sévères :

- Les besoins économiques ou sociaux peuvent, dans des cas exceptionnels, justifier l'aménagement d'un projet, à condition que les dommages écologiques soient compensés.
- La compensation en termes écologiques « équivalents » et la compensation financière sont autorisées, bien que moins souhaitables.
- Les mesures compensatoires ne doivent pas nécessairement être mises en place avant le début du projet.

III. Compensation basée sur des accords librement consentis, non prévus par les dispositions législatives ou les mesures politiques.

Un cadre non législatif impose des conditions moins sévères concernant la mise en œuvre du principe de compensation. Pendant la procédure d'évaluation, les aspects socioéconomiques et écologiques sont estimés les uns par rapport aux autres.

8.3 Compensation écologique dans les projets d'infrastructure

8.3.1 Quand compenser les impacts écologiques

Les mesures compensatoires doivent être prises :

- Si on prévoit qu'un projet aura un impact important sur des zones protégées par les directives européennes Oiseaux et Habitat (États membres de l'UE) ou par des réglementations nationales (Allemagne et Suisse).
- Si on prévoit qu'un projet aura un impact sur des zones de grande valeur écologique visées par une politique de compensation.

Voir aussi le chapitre 5 qui définit les critères selon lesquels un impact écologique réclame des mesures d'atténuation.

8.3.2 Responsabilité de mise en œuvre des mesures compensatoires

- L'aménageur est responsable de la mise en œuvre du principe de compensation écologique.
- En conséquence, il assure le financement des mesures compensatoires, ainsi que de leur suivi et de leurs modifications si les résultats ne sont pas satisfaisants.

8.3.3 Création d'habitat

Plusieurs pays européens ont une expérience en matière de création d'habitat. Il s'agit généralement de transformer les terres agricoles en habitats en améliorant leurs qualités naturelles. Cette procédure comprend les étapes suivantes :

- Acquisitions foncières (ou accords de gestion)
- Conception spécifique (manipulation des sols, réglage du niveau de la nappe phréatique)
- Plantation et gestion des espèces sélectionnées (espèces prairiales ou forestières, gestion des engrais, calendrier des coupes, etc.)
- Suivi et entretien

Figure 8.1 - Mosbulten, Pays-Bas. En haut : pour compenser la perte d'habitat marécageux, due à la construction de l'autoroute A50 Eindhoven-Oss, la première mesure adoptée a été de transformer les terres agricoles en jachère en retirant la couche arable. En bas : une fois la couche arable retirée, un habitat marécageux a pu être aménagé pour servir de site de reproduction aux oiseaux. Les espèces cibles sont la rousserolle effarvarte et le râle d'eau (photographies de H. Bekker).

8.3.4 Déplacement de l'habitat

La création d'habitat peut parfois être accompagnée d'un déplacement. Les sols et/ou les espèces sont transférés du site touché (donneur) à un nouveau site (récepteur ou de compensation).

Le site récepteur doit être adapté et doit présenter les mêmes propriétés des sols que le site donneur. L'avantage de cette technique est que les sites donneur et récepteur sont très similaires en ce qui concerne les sols et/ou les espèces cibles. Mais cette solution est coûteuse ; en outre, les délais et l'état des sols sont déterminants.

8.3.5 Amélioration de l'habitat

Une amélioration est nécessaire lorsque l'habitat de compensation existe, mais n'a pas la qualité requise. Il se peut qu'il ait été dégradé par des projets antérieurs. Les mesures compensatoires peuvent, entre autres, améliorer sa qualité (en réduisant le nombre de pâturages ou en relevant la nappe phréatique, par exemple). L'avantage de cette technique est que les propriétés pédologiques et hydrologiques sont proches de celles requises pour la protection de la nature.

8.3.6 Compensation identique/différente et sur/hors site

Les mesures compensatoires visent à rétablir une situation « sans perte nette » pour les espèces et les habitats protégés. Elles doivent donc de préférence créer des qualités écologiques identiques à celles de la zone touchée (« compensation identique »). Toutefois, il peut être justifié d'effectuer une compensation en termes de qualités équivalentes (« compensation différente »). Tel est le cas lorsque la compensation identique n'est pas réalisable et que la compensation différente favorise la survie d'une espèce importante, touchée par l'aménagement de l'infrastructure.

Le choix des zones de compensation peut être envisagé dans le cadre d'une compensation sur site ou hors site. Les mesures compensatoires sont mieux mises en œuvre hors de la zone touchée par la route, mais dans son contexte paysager et écologique (« compensation sur site »). Si les zones de compensation sont trop proches de la route, leurs valeurs écologiques seront influencées négativement. La taille de la zone touchée peut dépendre des espèces concernées par les mesures compensatoires. Il peut être recommandé de choisir une zone de compensation éloignée de la zone touchée (« compensation hors site ») si cela améliore les chances de succès ou si cette zone répond aux conditions requises.

Compensation identique et compensation différente

La compensation identique consiste à choisir des habitats, des espèces ou des fonctions semblables ; la compensation différente consiste à choisir d'autres habitats, espèces ou fonctions.

Compensation identique pour trois catégories d'impacts :

1. Perte d'habitat : création de parcelles d'habitat de taille et de qualité semblables (sur site ou hors site) ; l'amélioration de l'habitat existant peut aussi être une mesure efficace, en deuxième recours.

2. Dégradation de l'habitat : amélioration de l'habitat.

3. Isolement de l'habitat : élargissement et amélioration de l'habitat ou augmentation de la connectivité entre les fragments d'habitat isolés.

Exemples de compensation de la dégradation de l'habitat

1. Relèvement hors site des niveaux d'eau souterraine pour compenser la baisse des nappes phréatiques.

2. Relèvement sur/hors site de la nappe phréatique ou introduction d'un nouveau régime de gestion pour rendre l'habitat souffrant de nuisances sonores plus attrayant aux oiseaux de prairie.

Exemples de compensation de l'isolement de l'habitat

1. Fermeture aux véhicules à moteur du réseau « secondaire » (routes à grande circulation) pour compenser la construction de l'autoroute.

2. Aménagement de nouvelles parcelles reliées à ou situées dans les zones naturelles existantes, pour former des unités plus vastes pouvant réunir un plus grand nombre d'espèces et d'individus.

3. Aménagement de nouvelles parcelles pour relier les milieux intérieurs, pour renforcer ou créer des fonctions de corridor écologique.

Figure 8.2 - Exemple d'amélioration de l'habitat : régénération d'un tronçon de la rivière Inn pour compenser les impacts d'une nouvelle route sur la végétation riveraine protégée. En haut : avant. En bas : après. La compensation comprend le rétablissement de l'habitat de la plaine fluviale au-delà de la route, touché par une carrière de gravier. Contournement de la Strada, Suisse (photographie de Canton Graubünden Tiefbauamt).

8.3.7 Compensation durable

Pour s'assurer que les mesures compensatoires donnent de bons résultats, il faut envisager les opérations suivantes :

- Suivi pendant et après la mise en place (voir chapitre 9).
- Intégration des zones de compensation dans les plans régionaux de protection et d'aménagement du territoire, pour les protéger de tout aménagement ultérieur.
- Transfert de la gestion des zones de compensation acquises à des associations de protection de la nature reconnues.
- Inclusion de la gestion des mesures dans le programme général de compensation.
- La compensation sera probablement plus durable dans les zones nécessitant une gestion minimale.
- Intégration de mesures d'urgence dans les programmes de compensation, afin que les mesures soient adaptées si les résultats ne sont pas satisfaisants.

8.4 Banques de compensation écologique

Les « banques de compensation écologique » ont été introduites aux États-Unis, il y a plus de dix ans. Il s'agit d'un système permettant d'acquérir de vastes « zones réservées ». Lorsqu'un projet est accepté, les aménageurs peuvent obtenir en échange une zone de compensation. L'acquisition de crédits à l'avance facilite l'accélération de la procédure d'acceptation, puisque la zone de compensation est déjà disponible et de bonne qualité. Ce système réduit les coûts des mesures d'atténuation et de compensation et améliore la valeur écologique de la compensation, puisque la création d'une grande zone de compensation évitera la fragmentation en petites zones. Ces arguments, notamment le fait que les acquisitions foncières sont déjà difficiles dans certaines régions, justifient d'envisager l'application de ce système dans certaines régions d'Europe.

Figure 8.3 – Exemple de construction d'une zone humide dans Glenof the Downs, en Irlande. En haut : pendant la construction. En bas : après achèvement (photographie de R. Nairn).

8

9 Suivi et évaluation

Table des matières

9.1 Principes généraux de suivi **141**

9.1.1 Nécessité et objectifs du suivi 141
9.1.2 Définition et types de suivi 141
9.1.3 Considérations pratiques 144

9.2 Conception d’un programme de suivi **145**

9.2.1 De la conception à la réalisation 145
9.2.2 Étapes de la conception 146

9.3 Contrôle qualité pendant la phase de construction **148**

9.4 Méthodes de suivi de la mortalité animale et de l’utilisation des passages à faune **149**

9.4.1 Enregistrement de la mortalité sur route et voie ferrée 149
9.4.2 Enregistrement du pourcentage de franchissements réussis 150
9.4.3 Suivi de l’utilisation des passages à faune par bandes de sable ou de poudre de marbre 151
9.4.4 Suivi de l’utilisation des passages à faune par pièges à encre 152
9.4.5 Suivi de l’utilisation des passages à faune par pièges photographiques et vidéo 153
9.4.6 Autres méthodes de suivi de l’utilisation des passages à faune 154

9.1 Principes généraux de suivi

9.1.1 Nécessité et objectifs du suivi

Après la construction d'une route, d'une voie ferrée ou d'une voie navigable, la mise en place d'un suivi est capitale. En effet, elle permet aux aménageurs de vérifier l'efficacité des mesures adoptées pour réduire les effets de fragmentation de l'habitat dus à l'infrastructure. Un programme de suivi bien conçu doit satisfaire aux objectifs suivants :

- Détecter les défaillances dans l'installation, la construction ou l'entretien des mesures
- Déterminer si les mesures d'atténuation remplissent leurs fonctions
- Évaluer si les mesures assurent une atténuation à long terme des effets sur les espèces et les habitats

En résumé, le suivi permettra d'établir si les mesures d'atténuation adoptées pendant les phases de planification et de construction de l'infrastructure de transport sont appropriées et suffisantes pour réduire au minimum l'effet de fragmentation des populations animales et des habitats.

La diffusion des résultats du suivi est également très importante pour acquérir des connaissances sur l'élaboration de mesures plus efficaces et moins coûteuses. Les principaux objectifs du suivi doivent donc être d'aider les aménageurs dans les aspects suivants :

- Éviter de répéter certaines erreurs
- Obtenir de nouvelles informations pour améliorer la conception des mesures d'atténuation
- Identifier les mesures présentant un bon rapport coûts-avantages
- Réduire les coûts des projets futurs

Les programmes de suivi doivent faire partie intégrante de la gestion technique courante conduisant à adapter et à améliorer la conception des mesures qui permettent d'éviter ou de réduire les effets de fragmentation de l'habitat dus aux infrastructures de transport.

9.1.2 Définition et types de suivi

En général, le suivi doit consister à mesurer régulièrement les variables retenues. Une activité ne peut être qualifiée de suivi que si elle remplit les conditions suivantes :

- Les mesures sont normalisées.
- Les variables retenues indiquent les processus écologiques dont l'intérêt ou les propriétés doivent être détectés.
- Les échelles (temporelles et spatiales) des mesures sont appropriées pour détecter des changements.

Si les objectifs du suivi ne sont pas clairement définis, ces conditions ne pourront pas être remplies. La fixation de ces objectifs et la sélection des méthodes, des normes, des échelles et des critères pour l'évaluation de l'efficacité des mesures requiert une connaissance écologique des systèmes concernés. La participation d'écologues ou de biologistes dans la conception des programmes de suivi est donc fondamentale.

On peut distinguer deux types de suivi, décrits ci-dessous.

Suivi des mesures : suivi courant

Ce type de suivi consiste à inspecter et à contrôler l'efficacité des mesures en calculant les variables locales telles que le nombre d'animaux empruntant un passage ou le nombre d'animaux écrasés par kilomètre d'infrastructure. Les normes de construction (matériaux, dimensions, emplacements, etc.) et les opérations d'entretien sont vérifiées et les variables sont mesurées pour déterminer si elles remplissent leurs fonctions. Lorsque des défaillances sont détectées, des mesures correctives sont adoptées pour remédier aux problèmes.

Le suivi peut porter sur une mesure isolée. Toutefois, il est plus souvent recommandé de contrôler les mesures qui sont en interaction ou qui ont un effet combiné pour atteindre un même objectif.

Ce type de suivi peut être inclus dans le programme de gestion et d'entretien courant de l'infrastructure. Dans certains pays, il fait l'objet d'une procédure prévue par la loi pour tous les aménagements d'infrastructures nouvelles. Il comprend des opérations ne

requérant pas de compétences très spécialisées et peut être réalisé avec des budgets raisonnables.

Voici quelques exemples d'activités qui peuvent être comprises dans ce type de suivi :

- Déterminer si les passages à faune sont utilisés par les espèces cibles et selon quelle fréquence. S'ils ne sont pas utilisés, tenter d'identifier les raisons et de concevoir des mesures correctives.
- Enregistrer la mortalité animale sur route et voie ferrée, localiser les points noirs où un grand nombre d'animaux sont écrasés et identifier les espèces touchées.
- Identifier d'autres problèmes tels que les trous pouvant constituer des pièges mortels, les clôtures mal posées, etc.
- Vérifier l'effet des écrans antibruit sur la réduction des nuisances sonores.
- Vérifier si les étangs construits dans le cadre des mesures compensatoires sont utilisés par les espèces cibles.

Suivi des effets des mesures sur les espèces et les habitats : suivi écologique

Ce type de suivi porte sur les effets écologiques des mesures d'atténuation et de compensation. Il tente d'identifier des changements dans la diversité génétique, la répartition des espèces, la dynamique des populations, les habitats et les paysages. Les caractéristiques des habitats, les structures paysagères et les processus naturels retenus sont enregistrés après la construction de la nouvelle infrastructure et comparés aux conditions initiales.

Le suivi écologique requiert des méthodes à long terme et à grande échelle, prenant en compte l'ensemble des mesures adoptées et les effets synergiques apparaissant après l'intégration de la nouvelle infrastructure de transport dans le réseau existant.

Figure 9.1 - Le suivi des passages à faune ou l'enregistrement de la mortalité routière pour localiser les points noirs peuvent être réalisés selon des procédures normalisées incluses dans les programmes d'entretien de l'infrastructure (photographie de C. Rosell).

C’est pourquoi ce type de suivi ne peut être réalisé couramment que dans certains cas, par exemple lorsqu’un passage à faune supérieur a été construit pour relier des habitats d’espèces menacées ou des zones naturelles protégées.

Voici quelques aspects du suivi écologique :

- Incidence de la mortalité sur route et voie ferrée et effet sur la dynamique des populations des espèces cibles.
- Évaluation de l’effet de barrière dû à l’ensemble du réseau d’infrastructures, prenant en compte non seulement la proportion d’animaux écrasés en tentant de traverser, mais aussi la proportion d’animaux qui sont repoussés par les nuisances (sonores, lumineuses, etc.).
- Changements dans le comportement des espèces indicatrices, dus aux nuisances.
- Effets des nouveaux habitats associés à l’infrastructure tels que les déblais et les accotements ; colonisation d’espèces envahissantes et conséquences de l’attrait des prédateurs tels que les oiseaux de proie pour ces zones.
- Changements du paysage dus à la nouvelle infrastructure, tels que le niveau de fragmentation de l’habitat, la distance entre les fragments du même type d’habitat et autres.
- Changements dans la répartition, la composition et la qualité des habitats adjacents aux routes et aux voies ferrées, dus aux polluants générés par l’infrastructure.

Le suivi écologique apporte des informations très précieuses pour la conception d’une nouvelle infrastructure, afin d’atténuer ses effets et améliorer la compréhension des problèmes. La conception de ces projets de suivi doit être réalisée par des biologistes, car les méthodes utilisées ainsi que les échelles temporelles et spatiales des mesures présentent une grande diversité entre les espèces et les paysages. C’est pourquoi ce chapitre ne décrit pas ce type de suivi, mais porte plutôt sur les programmes de suivi à adopter dans le cadre de la gestion et de l’entretien des infrastructures de transport.

Figure 9.2 - Les données télémétriques fournissent des informations sur le comportement des animaux vis-à-vis de l’infrastructure de transport, mais requiert des compétences spécialisées et des investissements lourds en temps et en argent. Leur application au suivi courant est limitée, mais peut être très utile dans certains cas (photographie de B. Iuell).

9.1.3 Considérations pratiques

La principale leçon à tirer des programmes existants est que les suivis efficaces sont simples, peu coûteux, coordonnés et normalisés.

Tous les programmes de suivi sont limités par des considérations pratiques de coût et de faisabilité. En d'autres termes, il convient d'étudier très soigneusement la pertinence des objectifs proposés. Il faut également lier les priorités à ces objectifs pour pouvoir identifier les paramètres importants et ceux qui peuvent être négligés.

Voici quelques considérations pratiques qui ont leur importance lors de l'élaboration des programmes de suivi de l'infrastructure :

- Définir des objectifs de suivi précis. Cela est nécessaire pour déterminer le type d'informations à fournir.
- Définir des objectifs précis pour les mesures d'atténuation. Le suivi en lui-même ne peut pas décider des résultats à atteindre (qui sont des jugements de valeur), lorsqu'il établit les normes. En revanche, il peut parfaitement indiquer si ces résultats ont été atteints ou non.
- Utiliser des méthodes et des programmes d'enregistrement systématiques et normalisés. La formation et la coordination sont des éléments importants.
- Collecter des informations sur les conditions initiales lorsque cela est possible.
- Sélectionner des espèces dont la valeur est reconnue en tant qu'indicatrice de fragmentation de l'habitat. Il est en effet impossible d'assurer le suivi de toutes les espèces.
- Choisir une échelle d'observation appropriée pour le suivi du processus ou de l'animal concerné.
- Poursuivre les travaux de suivi au-delà de la phase d'aménagement de l'infrastructure. Le suivi nécessite des enregistrements répétés.
- Archiver les résultats du suivi de manière sûre et de telle sorte qu'ils soient accessibles à toutes les parties prenantes.
- Conserver les résultats selon une méthode normalisée. Les changements ne pourront être détectés que si le travail initial est référencé géographiquement et si l'emplacement des sites peut être retrouvé.

Quatre points sont donc particulièrement importants : la sélection des espèces cibles, la sélection de l'échelle temporelle et spatiale, la méthodologie et l'élaboration des normes.

Standards d'évaluation pour l'atteinte des objectifs

Le suivi fournit des résultats concernant des variables qui doivent être comparées à un système de mesures normalisées. L'existence de ce système permet d'évaluer le degré d'efficacité des mesures et de décider du moment où des mesures correctives doivent être appliquées pour améliorer leur efficacité.

Une norme doit être une variable quantitative, lorsque cela est possible, et être fondée sur des critères précis. La meilleure méthode de suivi et d'évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation consiste à exprimer leurs objectifs de façon normalisée.

Sélection des espèces cibles

Certaines mesures ont été conçues pour des espèces particulières telles que les espèces d'une grande valeur écologique ou les espèces indigènes qui sont sensibles à la fragmentation de l'habitat et qui ont besoin d'une connectivité entre des habitats vastes ou du maintien des voies de migration (loups, ours ou ongulés par exemple). Dans ce cas, le choix des espèces cibles est évident.

Dans les autres cas, les mesures ont un objectif plus général comme celui d'éviter la perte de qualité d'un habitat adjacent ou de maintenir des liens entre des habitats ou des populations fragmentés. Il faut alors sélectionner les espèces cibles (voir chapitre 5) sur lesquelles porteront les activités de suivi. Voici quelques caractéristiques à prendre en compte :

- Espèces pour lesquelles des mesures ont été élaborées
- Espèces répondant rapidement à des changements dans la fragmentation
- Animaux sur lesquels nous disposons de nombreuses connaissances écologiques et pour lesquels des méthodes de suivi normalisées ont été établies avec précision
- Espèces faciles à détecter et à identifier
- Groupes taxinomiques reconnus comme indicateurs de fragmentation de l'habitat, donnant des informations sur l'état d'écosystèmes complets

Sélection de l'échelle

La sélection d'échelles spatiales et temporelles appropriées pour le suivi est capitale, mais il est impossible d'établir de règles générales à cet égard. Pour détecter des changements, il faut avant tout sonder une zone suffisamment large, sur une période de temps suffisamment longue. Ainsi, la durée et la périodicité du suivi seront totalement différentes selon qu'on analyse l'efficacité d'un passage à faune ou la réduction de la mortalité routière causée par une nouvelle clôture. La sélection de l'échelle spatiale ne peut pas être généralisée.

Normalisation des techniques de suivi

Un des problèmes qui limite les comparaisons entre les impacts des infrastructures ou les mesures d'atténuation est le fait que les méthodes de suivi sont très variables. En conséquence, peu d'études peuvent être directement comparées et des modèles ne peuvent pas être aisément définis. Des protocoles de suivi normalisé sont essentiels pour comparer les études ou combiner les résultats de différents programmes de suivi. Il est indispensable de pouvoir effectuer l'analyse de diverses mesures d'atténuation dans des circonstances différentes. C'est pourquoi il est important d'être ouvert à la coopération.

9.2 Conception d'un programme de suivi

9.2.1 De la conception à la réalisation

La réalisation du programme de suivi commence avec la mise en service de l'infrastructure de transport. Mais l'objectif du programme doit être établi dès le début du projet, pendant les phases de conception et de planification. La figure 9.3 présente un schéma de la procédure comprenant trois grandes étapes, décrites ci-dessous.

Conception du programme de suivi et établissement des conditions initiales pendant la phase de planification

Les connaissances sur les conditions initiales des habitats et des espèces permettent d'effectuer des comparaisons avec les résultats obtenus après la construction de l'infrastructure de transport.

Ces informations sont également fondamentales pour identifier les zones sensibles et les espèces cibles. Les conditions initiales doivent être définies avec précision pendant les premières étapes de la planification, les études préalables et spécialement au cours de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE). Cette étude doit comprendre une description détaillée des habitats (type, répartition, degré de fragmentation, valeur écologique, etc.), des espèces (répartition, sensibilité à la fragmentation de l'habitat, densité de population, intérêt écologique) et des corridors à faune (voir chapitre 5). La déclaration environnementale constitue également le rapport le plus approprié pour aborder la conception du programme de suivi, en identifiant les objectifs des mesures d'atténuation et les activités à réaliser pour évaluer leur efficacité, accompagnée d'une description détaillée des méthodes, de la périodicité des contrôles, des normes, etc.

Contrôle de la réalisation des mesures pendant la phase de construction

Le contrôle des travaux pendant la phase de construction de l'infrastructure est une occasion pour s'assurer de l'efficacité des mesures. Il est important d'effectuer des inspections et des opérations de contrôle qualité sur site. Ces activités sont couramment réalisées dans certains pays pour éviter tout impact négatif sur les habitats environnants pendant la phase de construction. Elles sont aussi nécessaires pour garantir l'installation et la construction de mesures qui permettront d'atteindre les objectifs. Pendant cette phase, il peut se produire des conditions nouvelles et des changements inopinés qu'une EIE n'aura pas détectés et qui nécessiteront la mise en place de nouvelles mesures ou l'adaptation des mesures initialement proposées.

Réalisation des activités de suivi pendant la phase d'exploitation

La réalisation du programme de suivi doit commencer dès la mise en service de l'infrastructure. Pendant cette phase, des contrôles sont réalisés et une évaluation de l'efficacité des mesures est effectuée. La diffusion des résultats, décrite dans le paragraphe suivant, fait également partie de cette procédure.

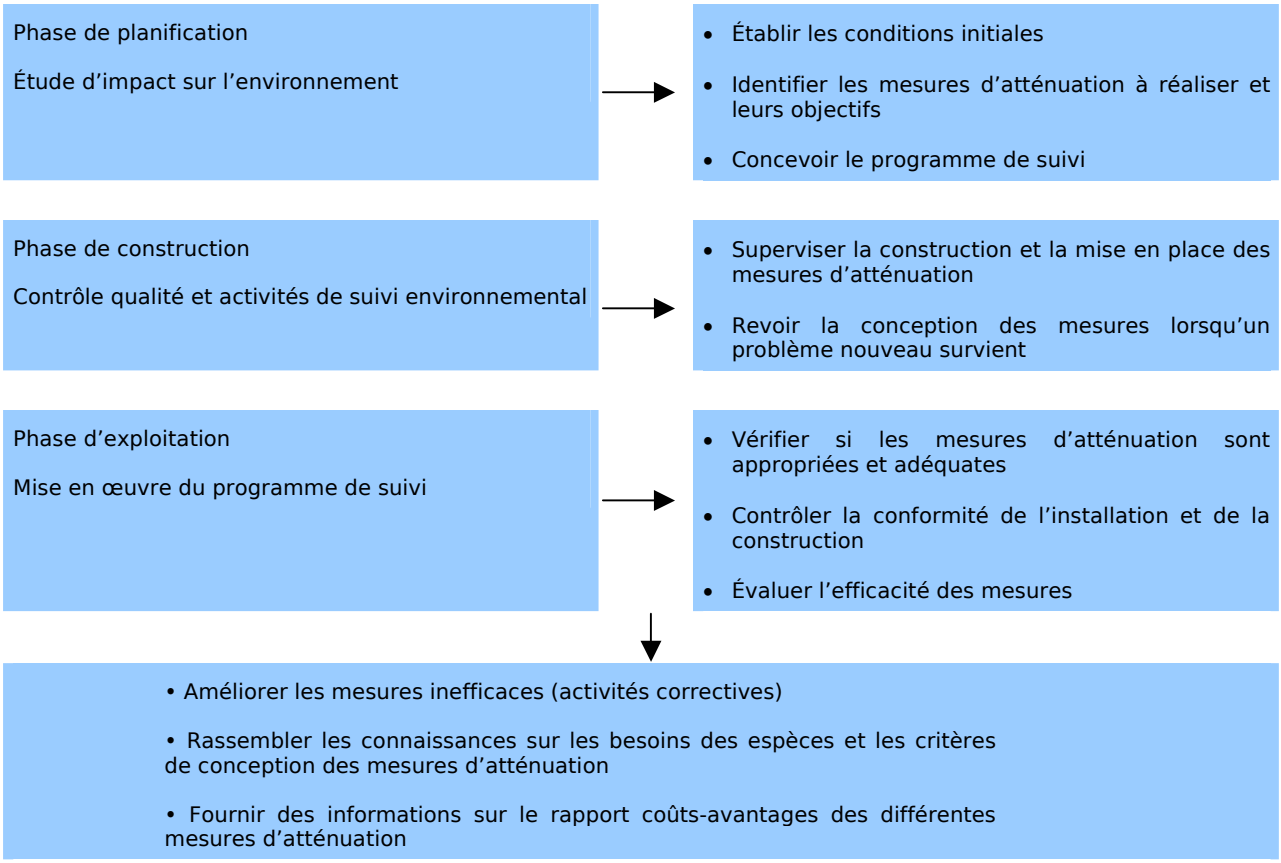


Figure 9.3 - Phases de la vie d'un projet d'infrastructure et de la conception d'un programme de suivi.

9.2.2 Étapes de la conception

La procédure de conception d'un programme de suivi se résume aux six étapes suivantes (voir figure 9.4) :

I. Analyse des caractéristiques générales de l'infrastructure, des conditions initiales (espèces, habitats et caractéristiques paysagères) et de l'ensemble des mesures d'atténuation.

Ces informations doivent être obtenues au cours de la phase de planification et notamment par le biais de la procédure d'EIE. Il s'agit de définir le nombre des mesures d'atténuation en décrivant les caractéristiques techniques, l'emplacement et les objectifs de chacune d'elles. L'existence de zones naturelles sensibles ou d'espèces menacées doit être prise en compte afin d'identifier les besoins de suivi spécifiques.

II. Sélection et description des mesures dont il faut assurer le suivi et l'évaluation.

La sélection doit être effectuée sur la base de critères précis et inclure l'ensemble des mesures dont l'efficacité n'a pas encore été clairement établie.

La description doit également inclure un nombre représentatif des différents types de mesures prises pour éviter, atténuer et compenser la fragmentation de l'habitat.

III. Identification des besoins en suivi écologique spécifique lorsque des espèces menacées ou des habitats sont touchés.

Ce type d'activité demande des méthodes plus complexes et un suivi à long terme qui doit être assuré par des spécialistes. Il peut être effectué parallèlement au programme de suivi courant.

IV. Description détaillée des activités de suivi.

Description détaillée de chaque mesure d'atténuation (ou système de mesures connexes) comprenant :

- L'objectif visé par chaque mesure, en décrivant les variables sur lesquelles portera l'évaluation et les normes à appliquer, exprimées en mesures quantifiables lorsque cela est possible. L'existence d'objectifs précis et mesurables permet d'évaluer si les résultats ont été atteints ou non.

- Les espèces ou habitats cibles.
- Les protocoles des méthodes de suivi, notamment les techniques de recueil d'informations (le plus normalisées possible), ainsi que la durée et la périodicité des mesures. Le suivi doit couvrir une période de trois ans minimum. L'évaluation de l'efficacité ne doit pas se fonder sur les résultats obtenus immédiatement après la mise en service de l'infrastructure, car les animaux ont besoin d'un certain temps pour s'adapter à un environnement modifié.
- La procédure d'archivage et d'analyse des informations obtenues.
- Il est également recommandé de consacrer un chapitre au suivi des activités à prévoir dans le programme de contrôle qualité qui sera mis en œuvre pendant la phase de construction (voir paragraphe 9.3). Cette étape importante garantit que les mesures ne seront pas inefficaces en raison d'équipements inadéquats ou de problèmes de construction.

V. Définition du contenu du rapport de suivi.

Ce rapport doit comprendre au minimum les chapitres suivants :

- Description des mesures qui ont fait l'objet d'un suivi et des méthodes utilisées

  Identification de mesures inefficaces et des raisons de ces défaillances
- Conception de nouvelles mesures à prendre pour améliorer l'efficacité des mesures existantes
- Recommandations pour améliorer la conception de mesures ultérieures

VI. Mise en place d'un système de diffusion des résultats.

Il est important de définir les activités et les systèmes de diffusion des résultats pour assurer l'accès des données fournies par le programme de suivi à toutes les parties prenantes.

Le programme doit être conçu pendant la phase de planification (voir figure 9.3), mais les activités de suivi et l'évaluation des mesures sont mises au point pendant la phase d'exploitation, généralement par des professionnels qui n'ont pas participé à la conception des mesures. C'est pourquoi il est recommandé que toutes les informations nécessaires pour réaliser le programme de suivi soient compilées dans un document qui indiquera les principes de mise en œuvre.

Les organismes chargés des infrastructures de transport dans chaque pays ou région doivent donner des instructions détaillées s'appuyant sur ces procédures générales pour garantir que les résultats de suivi des différents projets seront comparables.

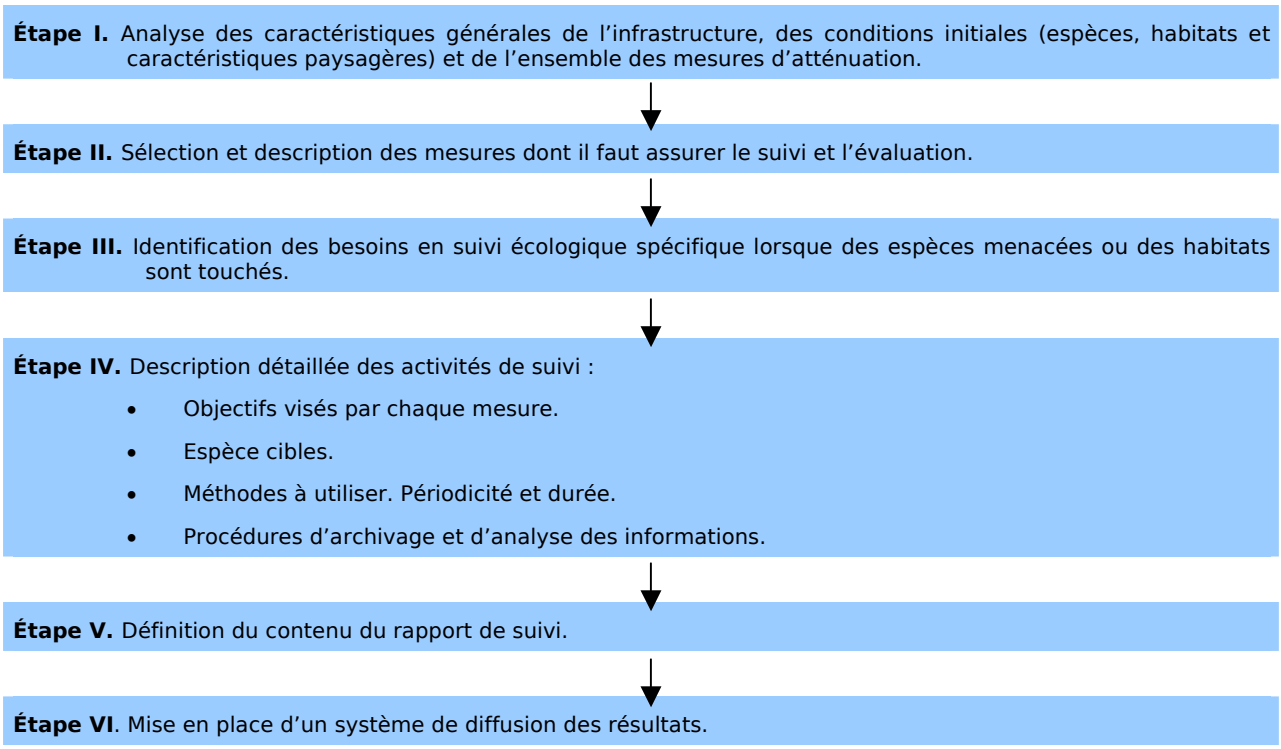


Figure 9.4 - Étapes de la conception d'un programme de suivi des mesures d'atténuation.

9.3 Contrôle qualité pendant la phase de construction

Un programme de contrôle qualité est généralement mis en œuvre pendant la phase de construction pour garantir la construction et l'installation de tous les éléments du projet d'infrastructure. Il doit également inclure des activités de suivi environnemental afin que les activités de construction aient un impact minimal sur l'habitat et que les mesures soient installées aux endroits appropriés, avec les matériaux et dans les dimensions appropriés, et qu'elles soient réalisées conformément aux prescriptions techniques définies dans les études d'impact sur l'environnement.

Ce paragraphe n'a pas pour objet de décrire en détail ce type d'activité de suivi. Toutefois, une courte liste de contrôle est jointe pour attirer l'attention sur les principales activités qui peuvent être incluses dans les programmes de contrôle qualité afin d'éviter les causes de défaillance les plus fréquentes.

Aspects à contrôler au cours des activités de suivi environnemental et de contrôle qualité réalisées pendant la phase de construction :

- **Calendrier des travaux.** Tous les travaux doivent être planifiés de manière à ne pas perturber les mares et les rivières pendant la saison du frai des amphibiens et des poissons ainsi que les zones aux alentours des nids pendant la période de reproduction des oiseaux (en particulier des oiseaux de proie). Les perturbations qui touchent les sites de reproduction des amphibiens et des poissons incluent la pollution et l'altération des propriétés physiques ou chimiques de l'eau, ainsi que les terrassements. Les perturbations qui touchent les oiseaux de proie incluent la circulation d'engins de chantier et de personnes, ainsi que les bruits, notamment ceux provoqués par des tirs de mines.

- **Emplacement des mesures**. L'emplacement des mesures doit être bien choisi, conformément aux principes établis dans l'EIE.

- **Clôtures**. Il convient de contrôler les dimensions et le type de maillage. Après la pose des clôtures, il faut vérifier que celles-ci sont bien fixées au sol pour que les animaux ne puissent pas passer par-dessous.

- **Passages à faune**. Il convient de vérifier que les matériaux et les dimensions sont conformes aux principes établis dans l'EIE. Les autres points déterminants à vérifier sont les suivants : disposition et choix des plantations et installations des autres éléments (souches, pierres, etc.). L'accès aux passages est également fondamental, y compris la pente des rampes (s'il y en a), la continuité de la végétation depuis les habitats naturels environnants jusqu'aux passages et le drainage des zones avoisinantes. Le drainage des déblais ou des remblais à proximité des passages entraîne souvent des inondations pendant les périodes de pluie.

- **Activités de restauration**. Les zones perturbées qui doivent être restaurées et les zones dans lesquelles des mesures compensatoires sont mises en place doivent être suivies de manière exhaustive pendant la phase de construction. Il est important que les espèces et les écotypes de plantes aient été judicieusement choisis et que le système d'irrigation et autres dispositifs nécessitant un entretien aient été posés. Les activités de restauration peuvent également inclure des opérations spécifiques tel le déplacement d'animaux, qui requiert, le contrôle de la population d'origine et des aspects sanitaires.

- **Prévention des perturbations et de la pollution des habitats adjacents**. L'ensemble des activités réalisées pendant la construction d'une route ou d'une voie ferrée peut provoquer la pollution des sols ou des eaux adjacents, ainsi que d'autres perturbations provoquées par le déplacement des engins de chantier et des ouvriers. Il existe un grand nombre de mesures d'atténuation qui peuvent être mises en œuvre pour réduire tous ces impacts.

Une définition des activités de suivi pendant la phase de construction peut être réalisée dans le cadre de normes internationales telles que la norme ISO 14001 (visant à réduire les impacts sur l'environnement) et la norme ISO 9000 (visant à garantir la qualité des travaux).

9.4 Méthodes de suivi de la mortalité animale et de l'utilisation des passages à faune

Il existe un grand nombre de moyens d'assurer le suivi des mesures d'atténuation. Ce paragraphe décrit les méthodes les plus couramment utilisées pour enregistrer la mortalité animale et contrôler l'utilisation des passages à faune, accompagnées de précisions sur les procédures et les variables à enregistrer, ainsi que les résultats à atteindre. Les critères de référence ne peuvent pas être généralisés car ils dépendent de nombreux facteurs tels que la situation démographique des espèces cibles, l'état du paysage ou l'objectif de la mesure. C'est pourquoi des instructions ne sont données que sur les normes à appliquer pour l'évaluation.

9.4.1 Enregistrement de la mortalité sur route et voie ferrée

Objectifs

Identifier les tronçons de l'infrastructure de transport sur lesquels les animaux se font le plus souvent écraser ou sur lesquels la sécurité du trafic doit être améliorée.

Description

Recensement de la mortalité des différentes espèces sur route ou voie ferrée par unité de longueur, après mise en service de l'infrastructure de transport.

Procédure

Suivre la route faisant l'objet de l'étude dans un véhicule roulant à faible allure (15 km/h) ou marcher le long de la voie ferrée. Cette opération doit être effectuée très tôt le matin, avant que les charognards tels que les pies n'aient enlevé les restes des animaux morts. Les espèces doivent être identifiées et les variables énumérées plus bas doivent être enregistrées. La périodicité de l'échantillonnage varie en fonction des espèces cibles, mais d'une manière générale, le suivi des différents groupes taxinomiques doit être répété au moins tous les 10 à 15 jours, pendant les principales périodes de déplacement des animaux, c'est-à-dire la dispersion des jeunes, les migrations et la saison de la chasse.

Variables à enregistrer

Date et heure auxquelles l'étude commence et se termine. Pour chaque animal mort, il convient d'identifier l'espèce ou le groupe taxinomique, le repère kilométrique de la route ou de la voie ferrée où il a été trouvé, son emplacement exact sur la chaussée ou la voie, l'état de décomposition et toute autre observation (sexe, âge, etc.). L'enregistrement d'autres variables telles que la section de route, les caractéristiques paysagères, l'absence ou la présence d'une clôture et l'état de celle-ci peut faciliter l'analyse des facteurs contribuant à l'augmentation de la mortalité animale par collision.

Critères

Il est très difficile d'atteindre l'objectif de zéro morts. C'est pourquoi la variable type recommandée est le nombre maximal d'individus de chaque espèce (ou groupe taxinomique) tolérable par kilomètre, pour une certaine taille de population. Lorsque la mortalité est supérieure, des mesures correctives doivent être prises.

Observations et variations possibles

Le suivi peut également porter sur l'identification des points noirs où les espèces cibles se font écraser. Cette méthode permet, par exemple, d'identifier des points noirs pour les amphibiens, les lynx, les loups, les loutres ou les blaireaux et de repérer les endroits où leurs voies de migration croisent l'infrastructure de transport. Il est souvent nécessaire de faire le suivi d'une longue section d'infrastructure de transport et il est recommandé d'engager des volontaires et/ou des personnes chargées de l'entretien pour fournir des données sur l'emplacement des animaux morts ou des points de franchissement. Un centre de coordination doit compiler les informations et contrôler l'ensemble des points noirs afin de définir les mesures correctives qui peuvent être prises dans chaque cas.

L'examen des animaux morts sur un tronçon de route à grande circulation est une activité dangereuse. Il est donc indispensable de prendre en compte la sécurité des personnes qui réalisent ces activités.

Figure 9.5 – L'enregistrement de la mortalité routière est une bonne méthode pour identifier les endroits où des mesures correctives doivent être prises. Des volontaires aussi bien que des personnes chargées de l'entretien de l'infrastructure peuvent participer à cette tâche (photographie de V. Hlaváč).

9.4.2 Enregistrement du pourcentage de franchissements réussis

Objectifs

Identifier le pourcentage d'animaux qui vivent aux alentours de l'infrastructure et qui la franchissent avec succès. Cette opération permet à la fois de déterminer la proportion d'animaux qui franchissent l'infrastructure à l'aide de passages à faune, conduits et autres ouvrages et la proportion d'animaux qui la traversent directement.

Description

Inventaire des traces d'animaux relevées près de l'infrastructure, détermination du nombre d'animaux qui franchissent l'infrastructure et du nombre d'animaux qui refusent de le faire.

Procédure

Cette méthode est particulièrement recommandée dans les régions souvent recouvertes de neige. En hiver, en présence d'une couverture neigeuse, il faut longer l'infrastructure à une distance d'environ 20 m de la route ou de la voie ferrée et mesurer la longueur de chaque ligne perpendiculaire. On détermine alors les traces des différentes espèces, le nombre d'animaux qui longent l'infrastructure, le nombre d'animaux qui refusent de la franchir et retournent vers leurs habitats d'origine et le nombre des animaux qui parviennent à le faire. Les deux côtés de la route doivent être inspectés. La longueur des lignes perpendiculaires depuis la route doit être adaptée au domaine vital des espèces cibles.

L'opération doit être répétée au moins tous les 10 à 15 jours, en présence d'une couverture neigeuse, pendant les principales périodes de déplacement des animaux, c'est-à-dire la dispersion des jeunes, les migrations et la saison de la chasse.

Variables à enregistrer

Date et heure auxquelles l'étude commence et se termine. Pour chaque trace, il convient d'identifier l'espèce et le comportement de l'animal vis-à-vis de l'infrastructure.

Critères

Pourcentages d'individus parvenant et ne parvenant pas à franchir l'infrastructure par rapport à la population totale de chaque espèce.

Observations et variations possibles

La détermination de la classe d'âge des individus à la longueur des empreintes peut fournir des renseignements sur les différences de comportement entre les animaux adultes vivant dans la région et les jeunes en phase de dispersion. Dans les pays où il est impossible d'enregistrer des traces dans la neige, la méthode peut être adaptée en construisant des bandes avec un matériau de surface approprié, comme le sable par exemple. Cette méthode est plus complexe car il faut ôter la végétation existante et construire une bande d'au moins 50 à 100 cm de largeur le long de l'infrastructure (en fonction des espèces cibles).

Figure 9.6 – Les traces dans la neige permettent d'analyser le nombre d'animaux qui franchissent l'infrastructure et le nombre d'animaux qui refusent de la franchir. La méthode est également utile pour suivre l'utilisation des passages à faune (photographie de V. Hlaváč).

9.4.3 Suivi de l'utilisation des passages à faune par bandes de sable ou de poudre de marbre

Objectifs

Évaluer l'utilisation des conduits, passages à faune et autres ouvrages de franchissement, par les différentes espèces de vertébrés.

Description

Détection des franchissements d'animaux par enregistrement des empreintes laissées sur des surfaces naturelles appropriées (sable ou argile meuble) ou sur des bandes de matériaux artificiels tels que la poudre de marbre, posées sur l'ouvrage à étudier.

Procédure

La section médiane du passage à faune est recouverte, sur toute sa largeur, d'une fine couche de sable ou de poudre de marbre (présentant idéalement une granulométrie de 800 □m). La bande doit être suffisamment large pour empêcher les animaux de sauter par-dessus. Pour les conduits, une bande de 1 m sera suffisamment large, mais pour les passages supérieurs, il est recommandé de prévoir une largeur d'au moins 2 m. Une autre méthode consiste à installer deux bandes, une à proximité de chaque entrée et de comparer les empreintes relevées à chaque entrée pour voir si les animaux empruntent bien le passage. Il faut contrôler la bande de sable ou de poudre de marbre tous les jours et enregistrer les traces. Il faut ensuite lisser le sable avec une brosse et en ajouter, le cas échéant. Le suivi doit être répété tous les 10 à 15 jours, pendant les principales périodes de déplacement des animaux, c'est-à-dire la dispersion des jeunes, les migrations et la saison de la chasse.

Variables à enregistrer

Date et heure auxquelles l'étude commence et se termine, conditions atmosphériques, numéro d'identification de l'ouvrage, emplacement, espèces identifiées, sens des traces. L'enregistrement des données de l'infrastructure (dimensions, matériaux, surface, végétation aux entrées, existence de trous, de canaux aux berges abruptes, etc.) permet de déterminer les raisons d'un échec et les besoins des différentes espèces.

Critères

L'évaluation porte souvent sur la détermination de la présence ou de l'absence d'empreintes d'espèces cibles à l'intérieur du passage à faune, indiquant si l'ouvrage est utilisé ou non. La fréquentation (nombre de jours enregistrant un résultat positif par rapport au nombre de jours que comporte l'étude) peut aussi servir de mesure type.

Observations et variations possibles

La poudre de marbre absorbe très facilement l'eau, ce qui limite l'application de la méthode à des conditions sèches. Lorsque la surface de l'ouvrage est humide, le sol doit être recouvert d'un film plastique avant d'être parsemé de poudre de marbre. La mesure de la longueur de l'empreinte peut fournir des informations complémentaires sur le nombre d'individus empruntant les passages à faune. En cas d'utilisation de poudre de marbre, il faut éliminer tout le produit à l'issue de la période de suivi en raison des problèmes qu'il peut poser pour le déplacement des petits animaux, tels que les escargots, qui doivent éviter la déshydratation.

Figure 9.7 – La poudre de marbre est un bon matériau pour enregistrer les traces d'animaux. Néanmoins, son utilisation est limitée à des conditions sèches car la poudre devient dure lorsqu'elle est mouillée (photographie de Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Fomento / Universidad Autónoma de Madrid, Espagne).

9.4.4 Suivi de l'utilisation des passages à faune par pièges à encre

Objectifs

Évaluer l'utilisation des banquettes (promenades à chats) aménagées sur les passages à faune, passages hydrauliques modifiés et autres passages, par les différentes espèces.

Description

Détection des franchissements d'animaux par enregistrement des empreintes laissées sur une feuille de papier après passage dans un piège à encre.

Procédure

Sur la section médiane du passage (pas plus de 100 cm), un mélange de paraffine liquide et de poudre de carbone est répandu sur une feuille de papier plastifié dont le bord étroit est replié à la verticale. Une feuille de papier est fixée à l'entrée et à la sortie de ce piège à encre. La longueur recommandée du piège est de 50 cm et la longueur de chaque feuille est de 100 cm. Le piège et les feuilles doivent recouvrir la largeur totale du passage. Une fois que les animaux ont marché sur le piège à encre, ils laissent leurs empreintes sur une feuille. Le papier doit être remplacé périodiquement (toutes les semaines par exemple) et les traces peuvent ainsi être analysées au bureau.

Variables à enregistrer

Date et heure auxquelles l'étude commence et se termine, conditions atmosphériques, numéro d'identification de l'ouvrage, emplacement, espèces identifiées, sens des traces. L'enregistrement des données de l'infrastructure (dimensions, matériaux, surface, végétation aux entrées, existence de trous, de canaux aux berges abruptes, etc.) permet de déterminer les raisons d'un échec et les besoins des différentes espèces

Critères

La présence d'empreintes d'espèces cibles à l'intérieur du passage à faune permet de déterminer l'utilisation de l'ouvrage par chaque espèce cible. La fréquentation (nombre de jours enregistrant un résultat positif par rapport au nombre de jours que comporte l'étude) peut aussi servir de mesure type.

Observations et variations possibles

Cette méthode facilite la mesure de la longueur de l'empreinte et permet d'obtenir des informations concernant l'utilisation du passage par différents individus de la même espèce.

Figure 9.8 – Des pièges à encre sont installés sur la banquette pour détecter les traces de petits animaux tels que les rongeurs, les musaraignes ou les petits carnivores (photographie de H. Bekker).

9.4.5 Suivi de l'utilisation des passages à faune par pièges photographiques et vidéo

Objectifs

Détecter l'utilisation des conduits, passages à faune et autres mesures, par les différentes espèces de vertébrés et identifier le comportement des animaux utilisant ces ouvrages.

Description

Cette méthode consiste à photographier ou à filmer les animaux de nuit, avec une lumière infrarouge, à l'aide d'appareils déclenchés par un capteur de lumière ou de contact, afin d'obtenir des prises de vue des espèces franchissant l'infrastructure. Le système est installé à l'entrée de l'ouvrage. Certains dispositifs sont dotés de batteries longue durée et peuvent rester en place sur de longues périodes. Ils présentent l'avantage de réduire les effets de la présence humaine sur les taux de franchissement dans le cas des espèces sensibles.

Procédure

La caméra vidéo et la lampe infrarouge doivent être installées à un endroit ne gênant pas l'accès à l'ouvrage. Une autre solution consiste à installer une cellule photoélectrique dont le faisceau balaye la largeur de l'ouvrage et à fixer l'appareil de prise de vue au milieu ou à l'entrée du passage. L'appareil se déclenche lorsque l'animal coupe le faisceau. Ce dernier doit se trouver à une hauteur appropriée afin qu'il soit coupé par n'importe quel animal traversant l'ouvrage. L'appareil doit être caché par des plantes ou d'autres éléments trouvés dans les environs (pierres, piles de rondins) ou par des éléments aidant à masquer l'odeur des êtres humains, que les mammifères percevraient probablement même si les caméras étaient cachées. Il peut être également nécessaire de protéger l'installation contre les intempéries à l'aide de boîtiers. Ce système doit maintenu en place au moins 10 à 15 jours, pendant les principales périodes de déplacement des animaux, c'est-à-dire la dispersion des jeunes, les migrations et la saison de la chasse.

Variables à enregistrer

Date et heure auxquelles les appareils de prise de vue ont été installés et démontés, conditions atmosphériques, numéro d'identification de l'ouvrage, emplacement, espèces identifiées, heure d'utilisation de l'ouvrage. Ces informations sont obtenues une fois la vidéo visionnée ou les photographies développées.

Critères

La principale mesure type consiste à relever si l'animal a emprunté ou non l'ouvrage. La fréquentation (nombre de jours enregistrant un résultat positif par rapport au nombre de jours que comporte l'étude) peut également servir de mesure type.

Observations et variations possibles

L'un des principaux avantages de l'utilisation de caméras vidéo est de pouvoir analyser le comportement des animaux. Les vols de matériel constituent un problème majeur lorsque les passages à faune sont également utilisés par des personnes.

Figure 9.9 – Les photographies sont une bonne méthode pour déterminer quelles espèces utilisent le passage à faune. Dans certains cas, les individus peuvent être identifiés par leur pelage, comme la genette (photographie de Minuartia, Espagne).

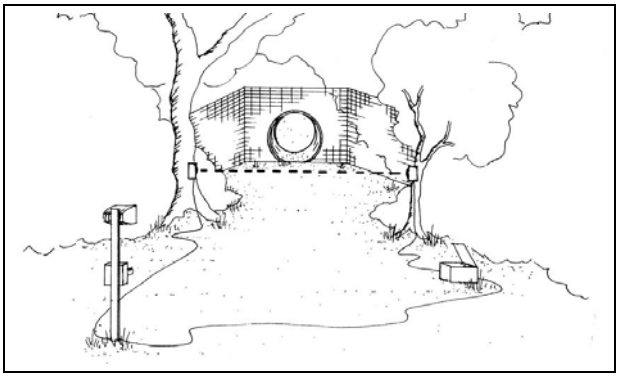


Figure 9.10 – Les animaux coupant le faisceau de lumière infrarouge déclenchent l'appareil photo ou la caméra vidéo situés à l'entrée ou à l'intérieur du passage à faune. Les caméras numériques peuvent stocker un grand nombre de clichés et, à l'heure actuelle, la durée de vie des batteries est le principal facteur qui limite les périodes de suivi.

9.4.6 Autres méthodes de suivi de l'utilisation des passages à faune

Détecteurs infrarouge

Les détecteurs infrarouge standard, également appelés compteurs de détection, permettent de déterminer le nombre d'animaux qui utilisent un passage. Les mouvements des animaux déclenchent le compteur qui enregistre le nombre total d'individus ayant emprunté l'ouvrage pendant une période donnée. Les détecteurs sont montés sur les parois des passages à faune ou des conduits et certains d'entre eux peuvent être adaptés pour enregistrer le mouvement des petits animaux et pour relever la date et l'heure des déplacements. L'inconvénient de cette méthode est que l'espèce n'est pas identifiée, de sorte que les informations fournies offrent un intérêt limité.

Recueil de poils

Des morceaux de bois sont enduits de gomme et fixés de chaque côté ou au plafond du conduit. Les poils des animaux empruntant l'ouvrage se collent à la gomme et peuvent être analysés par des spécialistes afin de déterminer quelles espèces utilisent le passage. Cette méthode est limitée à des ouvrages de petite dimension et ne peut fournir d'informations que sur les mammifères. Toutefois, elle peut s'avérer utile, par exemple lorsque l'espèce cible est le blaireau ou la loutre.

Enregistrements des caméras de sécurité ou de vidéosurveillance du trafic

Certains passages supérieurs, tunnels ou voies navigables sont équipés de caméras en circuit fermé par mesure de sécurité ou pour la surveillance du trafic. Les enregistrements contiennent souvent des images d'animaux traversant la chaussée ou se trouvant à proximité de l'infrastructure de transport. Ces informations peuvent permettre de détecter un usage inapproprié des passages à faune, un défaut de clôture ou tout autre renseignement lié au comportement des animaux vis-à-vis de l'infrastructure de transport.

Détection des mouvements à l'aide d'encre fluorescente

L'encre fluorescente peut être placée dans un petit récipient à l'entrée ou à proximité du passage à faune. Les animaux qui marchent dans le récipient laissent des empreintes fluorescentes, visibles la nuit avec une lampe spéciale. Cette méthode est particulièrement utile pour suivre les déplacements des petits mammifères et présente l'avantage d'être simple et peu coûteuse. Néanmoins, elle n'a été que peu utilisée et n'a jamais servi avec les grands mammifères ; son domaine d'application n'est donc pas bien connu.

Données de capture – recapture

Cette méthode a été utilisée avec des animaux aux densités de population élevées et faciles à capturer, comme les petits mammifères. Des pièges (Sherman ou similaires) sont posés sur des remblais et des déblais de chaque côté de l'infrastructure de transport. Les animaux capturés sont marqués, puis relâchés. Les captures successives de ces animaux permettent d'analyser si leurs déplacements sont limités à un côté de la route ou de la voie ferrée ou si leur domaine vital s'étend sur les deux côtés de l'infrastructure. Il convient de prévoir de longues périodes de piégeage pour obtenir suffisamment d'informations. Cette méthode ne permet pas de localiser les points de franchissement.

Données télémétriques

Le marquage des animaux avec un transmetteur peut fournir beaucoup plus d'informations que les données de capture-recapture sur le comportement des animaux vis-à-vis de l'infrastructure de transport. Le transmetteur peut être attaché par un collier, collé au pelage, inséré sous la peau ou fixé au péritoine. Le récepteur fournit des renseignements sur les déplacements des animaux, leur domaine vital et l'emplacement des points de franchissement. Cette méthode n'est recommandée que pour les espèces menacées car elle nécessite un investissement important en temps et en argent, à la fois pour capturer les animaux et pour surveiller leurs déplacements.

Exemple : Évaluation de l'efficacité des passages à faune sur la route C65, axe transversal de Catalogne, au nord-est de l'Espagne.

Cette nouvelle autoroute à trois voies et échangeurs dénivelés a été ouverte à la circulation en 1995. C'est l'une des premières routes en Espagne équipées de tunnels et de passages inférieurs adaptés à la faune.

Le programme de suivi a été élaboré en 1992 et mis en œuvre par une équipe d'experts de l'Université de Barcelone, avec l'appui du gouvernement autonome (Generalitat de Catalunya) et d'une fondation privée (Fundació La Caixa). Il s'agissait d'un programme unique dépassant de loin le suivi courant de la plupart des nouvelles routes et voies ferrées construites jusqu'à maintenant dans la région. Il a porté sur une section de 20 km traversant deux zones de forêt montagneuse, Montseny et Guilleries, qui devraient être intégrées au réseau Natura 2000. Les conditions initiales ont permis de déterminer les espèces d'amphibiens, de reptiles et de mammifères présentes dans cette zone et de caractériser les tronçons où une densité élevée d'espèces avait été identifiée.

29 ouvrages (y compris des tunnels, des passages inférieurs et des passages supérieurs) ont fait l'objet d'un suivi à trois stades, après la mise en service de la route : à six mois, à un an et à deux ans. Trois méthodes ont été utilisées pour contrôler si les animaux empruntaient les ouvrages : (i) la poudre de marbre sur les passages secs en permanence, (ii) la photosurveillance sur les passages humides ou contenant des cours d'eau et (iii) la vidéosurveillance sur un passage inférieur. Chaque ouvrage a été décrit (longueur, largeur, hauteur, matériau de construction, pente des déblais ou des remblais aux entrées, distance par rapport à la végétation naturelle des environs, présence d'eau à l'intérieur et aux entrées, etc.). Les habitats adjacents ont également fait l'objet d'une étude concernant le type de végétation, le profil de la route, etc.

La mesure type a consisté à relever si chaque espèce cible utilisait le passage au moins une fois au cours de chaque suivi, qui a duré environ 10 jours, en automne. Cette époque a été choisie car c'est l'une des principales périodes de déplacement des mammifères, en raison de la dispersion des jeunes et de la chasse.

Les résultats ont permis d'analyser quels types d'ouvrages étaient le plus souvent empruntés et quelles variables contribuaient à expliquer les différences observées. Au cours de la première période de suivi (six mois après la mise en service de la route), de nombreux ouvrages restaient inutilisés par les espèces cibles, mais quelques mois plus tard, la plupart étaient fréquentés de manière intensive. Les résultats ont été compilés dans des rapports annuels qui ont constitué, avec les rapports issus d'autres programmes, la base d'un manuel sur la conception des passages à faune. Telle a été la principale méthode de diffusion des résultats.

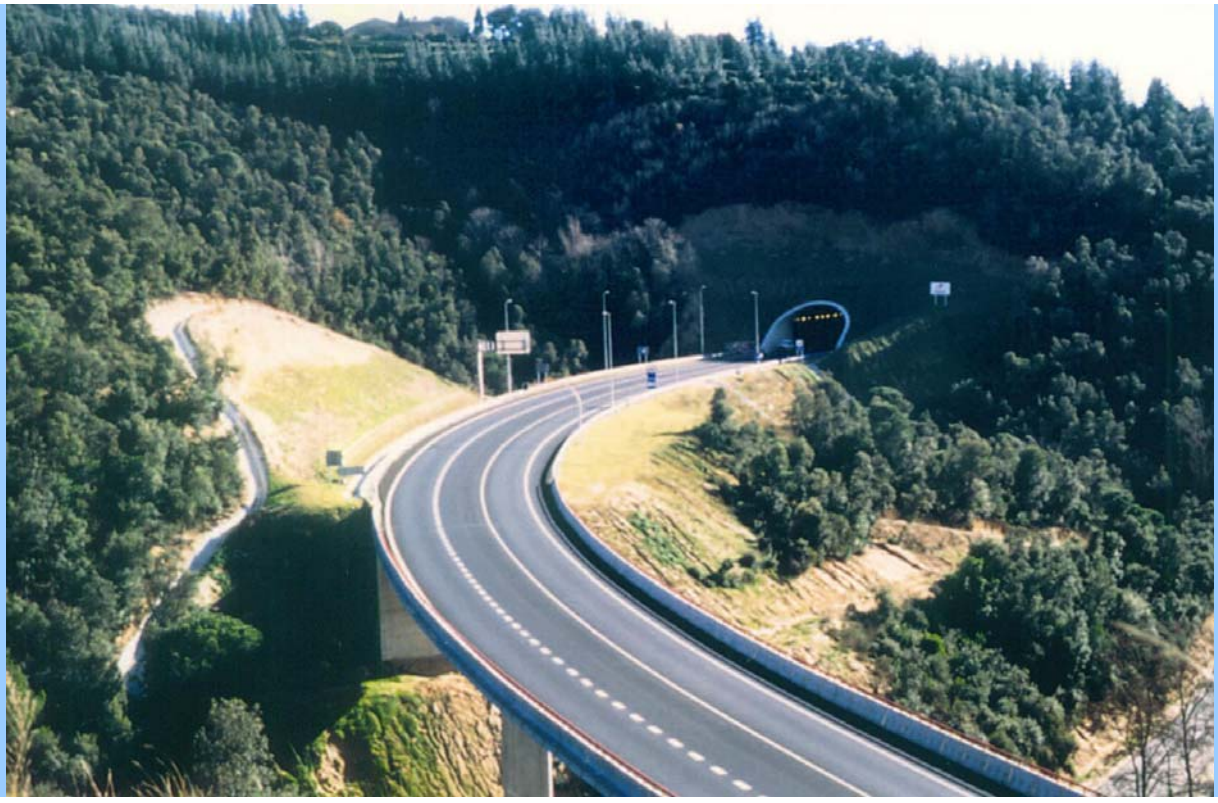


Figure 9.11 – Vue de l'infrastructure faisant l'objet d'un des programmes de suivi. Cette route traverse une zone de forêt qui devrait être intégrée au réseau Natura 2000 (photographie de C. Rosell ; source : Rosell et Velasco 1999).

10 Annexes

Table des matières

Annexe 1 : Glossaire **159**
Annexe 2 : Abréviations **168**
Annexe 3 : Participants **170**
Annexe 4 : Liens Internet utiles **172**
Annexe 5 : Autres manuels et recommandations **173**

Annexe 1 : Glossaire

Mots, expressions et termes utilisés dans ce manuel

Terme	Signification
Accotement	bande de terre (souvent couverte de végétation) située au-delà de la surface d'une infrastructure, mais à l'intérieur de son couloir.
Accotement stabilisé	voir « Bande d'arrêt d'urgence ».
Aménagement	procédure consistant à modifier la surface d'un paysage existant à l'aide de travaux de terrassement (déblais, remblais ou nivellements).
Aménagement du territoire	activité destinée à déterminer la future organisation spatiale des terres et des eaux par la société.
Anthropique	provoqué et entretenu, ou tout au moins fortement influencé, par les activités humaines.
Atténuation	action destinée à réduire ou à supprimer un effet négatif.
Autoroute	grande artère caractérisée par deux voies de circulation unidirectionnelle ou plus séparées par un « terre-plein central » (voir ce terme plus bas), une limitation des entrées et sorties et un tracé éliminant les pentes raides, les courbes serrées et autres facteurs de risque (comme les passages à niveau) et d'inconfort de conduite.
Bande d'arrêt d'urgence	bande linéaire revêtue longeant une « autoroute », sur laquelle la circulation est autorisée en cas d'urgence et utilisée par les véhicules d'entretien pour accéder aux chantiers.
Barrage	construction sur une rivière ou un canal, conçue pour retenir l'eau en aval, à un certain niveau.
Barrière à amphibiens	ouvrage continu, construit le long d'une infrastructure, pour empêcher les amphibiens de traverser ou pour les conduire vers un point de franchissement spécifique.
Barrière de sécurité	barrière résistant au choc d'un véhicule, implantée sur le bord ou sur le terre-plein central d'une infrastructure, pour éviter les sorties de route et limiter les dommages indirects. La « glissière de sécurité » (voir ce terme plus bas) est un exemple de barrière de sécurité.
Bassin de rétention	plan d'eau artificiel alimenté par les collecteurs d'eaux pluviales et le ruissellement de surface, lorsque les polluants routiers peuvent se déposer ou filtrer à travers les roseaux avant d'être libérés dans un réseau de drainage plus important.
Bassin versant	zone géographique depuis laquelle toutes les précipitations coulent vers un seul cours d'eau ou ensemble de cours d'eau (également appelée bassin hydrographique ou bassin fluvial).
Berme	saillie horizontale sur un remblai ou un déblai, construite pour garantir la stabilité d'une pente raide.
Biodiversité	voir « Diversité biologique ».
Biocénose	ensemble des organismes appartenant à une communauté ou à une zone.

Terme	Signification
Biotope	zone habitée par une communauté de végétaux et d'animaux. Le terme est couramment utilisé par les écologues d'Europe centrale pour décrire les unités spatiales et les parcelles de végétation, identifiées d'un point de vue anthropocentrique. Il est souvent confondu avec et remplacé par le terme habitat.
Bordure	bord construit (généralement en béton) le long d'une infrastructure routière et faisant partie du caniveau (voir ce terme plus bas).
Caniveau	canalisation revêtue destinée à transporter les eaux de ruissellement du bord d'une infrastructure au système de drainage.
Carrefour	voir « Croisement ».
Chemin à bestiaux	chemin emprunté pour conduire les troupeaux de bovins ou d'ovins.
Clôture à cervidés	ouvrage continu, construit le long d'une infrastructure pour empêcher les grands mammifères de traverser ou pour les conduire vers un point de franchissement spécifique. Voir « Clôture à faune ».
Clôture à faune	clôture conçue et construite spécifiquement pour empêcher les animaux d'accéder à une infrastructure ou pour les conduire vers un point de franchissement sûr.
Clôture à gibier	voir « Clôture à cervidés ».
Clôture de rabattage	clôture construite pour conduire les animaux sauvages vers un point de franchissement spécifique.
Communauté biotique	ensemble d'espèces en interaction, vivant dans un lieu donné, à un moment donné.
Conduit	structure cylindrique étanche, enterrée dans le sol et servant de passage (d'un côté à l'autre d'une infrastructure).
Connectivité	état des caractéristiques paysagères structurelles reliées entre elles, assurant la liaison entre différents lieux, par une voie de passage continue. Connexions physiques entre éléments paysagers.
Conséquence	voir « Impact ».
Consentement à payer	terme employé en économie afin de quantifier le montant maximal qu'une personne est prête à verser pour consommer un bien particulier. Dans de nombreux projets de recherche tels que l'évaluation de différents patrimoines environnementaux, l'objectif est d'estimer le consentement à payer en termes monétaires.
Contournement	tracé routier passant autour d'une zone d'occupation dense ou vulnérable.
Corridor	étendue de terre ou d'eau reliant deux zones d'habitat ou plus et facilitant la circulation des animaux à travers le paysage. Voir aussi « Corridor à faune ».
Corridor à faune	zone ou caractéristique linéaire utile à la faune (notamment pour la circulation à travers le paysage).

Terme	Signification
Corridor écologique	structure paysagère de taille, de forme et de couverture végétale diverses, qui maintient, établit ou améliore la connectivité du paysage. Les haies et les accotements sont des exemples de corridors écologiques (naturels et artificiels) pouvant servir de liaisons pour permettre la circulation des espèces et accroître l'étendue de l'habitat disponible aux individus.
Couloir routier	: surface linéaire utilisée par les véhicules et ses accotements (généralement couverts de végétation). Elle comprend la bande de terre immédiatement influencée par la route sur le plan acoustique, visuel, hydrologique et atmosphérique (généralement située à une distance comprise entre 50 et 100 m du bord de l'infrastructure).
Couverture arable (terre végétale)	couche de terre superficielle supportant la végétation.
Crapauduc (passage à amphibiens)	passage à section fermée ou canal construit pour conduire les amphibiens d'un côté à l'autre d'une infrastructure.
Croisement	intersection de deux routes ou plus.
Déblai	terrassement en forme de V permettant de placer une infrastructure au-dessous du niveau des terres naturelles.
Déplacement de l'habitat	transfert d'un habitat d'un endroit à un autre, généralement pour éviter la destruction de l'habitat par l'aménagement d'une infrastructure.
Digue	mur construit pour empêcher la mer ou une rivière d'inonder une zone.
Dispersion	processus ou résultat de la circulation des organismes d'un endroit à un autre.
Diversité biologique	richesse présente entre les organismes vivants, y compris les écosystèmes terrestres, marins et d'eau douce, ainsi que les complexes écologiques dont ils font partie. Le terme désigne la diversité entre les espèces et les écosystèmes, ainsi que les processus liant les écosystèmes et les espèces.
Diversité paysagère	variété et richesse des paysages d'une région.
Drainage	système de drains, de conduits et de canaux conçu pour évacuer l'excès d'eau (superficielle ou souterraine) de la surface d'une infrastructure.
Drainage superficiel	système conçu pour évacuer l'eau de la surface du sol ou d'une infrastructure (voir aussi « drainage »).
Échelle	en écologie du paysage, dimension spatiale et temporelle des structures et des processus.
Écoduc	voir « Passage à faune supérieur » ou "Pont écologique" « Pont vert ».
Écosystème	complexe dynamique formé de communautés de végétaux, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant, interagissant comme une unité fonctionnelle.
Écotone	zone de transition entre deux habitats.
Écotope	zone distincte, dotée d'un ensemble reconnaissable de caractéristiques relatives aux sols, à la végétation ou à l'eau. L'écotope représente la plus petite unité spatiale de la mosaïque écologique.

Terme	Signification
Écran antibruit	mesure mise en place pour réduire la dispersion du bruit du trafic dans une zone sensible (murs, barrières, panneaux).
Effet	voir « Impact ».
Effet de barrière	effet combiné de la mortalité par collision, des obstacles physiques et de l'évitement, qui ensemble réduisent les possibilités et les taux de franchissement d'une infrastructure par les espèces.
Effet de filtre	effet d'une infrastructure empêchant la circulation de certains individus ou espèces. Sa portée varie selon les espèces et éventuellement, en fonction du sexe ou de l'âge.
Effet de lisière	influence des environs sur une portion d'un écosystème proche du périmètre, empêchant le développement d'un milieu intérieur.
Élément paysager	chacun des éléments spatiaux ou des unités relativement homogènes, reconnus à l'échelle d'une mosaïque paysagère.
Emprise	terrain utilisé pour un projet routier (dans le contexte de ce rapport).
Érosion de l'habitat	destruction de l'habitat due à des dommages, à une perte ou à une baisse de qualité progressifs.
Espèce cible	espèce faisant l'objet d'une opération de préservation ou d'une étude.
Espèce clé	espèce jouant un rôle essentiel dans un écosystème et dont dépend la survie d'une grande partie de la communauté.
Espèce endémique	espèce confinée à une région particulière et considérée comme originaire des lieux.
Espèce indicatrice	espèce indiquant (a) une influence actuelle ou passée, environnementale ou non (par exemple, les lichens peuvent être des indicateurs de pollution atmosphérique, la flore de sous-bois peut être indicative d'une ancienne zone boisée) ou (b) une communauté ou un type d'habitat (certaines espèces permettent de classer les communautés d'invertébrés ou sont indicatives d'habitats particuliers).
Étude d'impact sur l'environnement (EIE)	méthode et procédure permettant de recueillir, d'évaluer et d'exploiter des informations sur les effets environnementaux éventuels, pour aider à la prise de décision. Voir aussi « Évaluation environnementale stratégique ». Également appelée « évaluation environnementale » (EE).
Évaluation environnementale stratégique (EES)	application des principes de l'étude d'impact sur l'environnement (voir ce terme plus haut) aux politiques, aux plans et aux programmes de niveau régional, national et international.
Faune	ensemble des animaux.
Faune et flore	ensemble des animaux, végétaux, champignons et bactéries vivant dans la nature.
Flore	ensemble des végétaux et bactéries.
Foins	herbes fauchées.

Terme	Signification
Forêt riveraine	forêt située sur les berges d'une rivière ou d'une autre masse d'eau.
Fossé	canal construit pour drainer l'eau d'une zone.
Fragmentation	division d'un habitat, d'un écosystème ou d'une unité d'aménagement en petites parcelles.
Fragmentation de l'habitat	morcellement et réduction d'une zone d'habitat disponible pour une espèce donnée et causée directement par une perte d'habitat (emprise) ou indirectement par un isolement de l'habitat (barrières empêchant les déplacements entre parcelles d'habitat voisines).
Franchissement	site conçu ou reconnu pour le passage des personnes ou des animaux, d'un côté à l'autre d'une infrastructure.
Gibier	animaux chassés pour le sport ou l'alimentation.
Giratoire	carrefour de trois routes unidirectionnelles ou plus se rejoignant autour d'un îlot central, généralement couvert de végétation.
Glissière de sécurité	ouvrage continu (de matériaux divers), construit le long d'une infrastructure pour éviter les sorties de route et limiter les dommages indirects. Peut également être appelée « Rail de sécurité ».
Goulet d'étranglement	zone définie (habitat, corridor ou parcelle) qui, en raison d'une infrastructure de transport ou d'un autre aménagement, est devenue un facteur de limitation de la migration ou de la dispersion des animaux.
Habitat	type de site (végétation, sols, etc.) dans lequel un organisme ou une population vit naturellement, comprenant la mosaïque d'éléments nécessaires à la survie d'une espèce.
Habitats sources et habitats puits	les habitats sources sont des zones où les populations d'une espèce donnée présentent un rapport positif entre les naissances et les morts, et constituent donc des sources d'individus migrateurs. Les habitats puits, au contraire, présentent un rapport négatif entre les naissances et les morts et dépendent de l'immigration en provenance des habitats sources.
Haie	épaisse rangée d'espèces ligneuses (buissons ou arbres), servant à limiter des espaces (souvent utilisée en association avec ou en remplacement d'une clôture).
Halophyte	plante terrestre vivant en milieu salé.
Herbicide	produit chimique détruisant les mauvaises herbes.
Île	parcelle de territoire appropriée sur le plan écologique où un animal fait halte, le long d'un itinéraire hétérogène.
Impact	réaction immédiate d'un organisme, d'une espèce ou d'une communauté à un facteur extérieur. Cette réaction peut avoir un effet sur l'espèce entraînant des conséquences plus larges sur la population, l'espèce ou la communauté.
Indicateur	mesure de variables environnementales simples, utilisée pour indiquer un aspect de l'état de l'environnement (par exemple, le degré de fragmentation de l'habitat).
Infrastructure écologique	organisation de corridors écologiques (voir ce terme plus haut) servant d'axes de circulation pour les espèces, à travers le paysage.

Terme	Signification
Infrastructure linéaire de transport	route, voie ferrée ou voie navigable intérieure.
Infrastructures	réseau de communication et de transport dont une région est équipée.
Invertébré	animal ne possédant pas de colonne vertébrale (squelette).
Liste rouge	cette liste de l'UICN recensant les espèces menacées fournit des informations sur la taxinomie, l'état de conservation et la répartition des taxons, évaluées à l'aide d'un système déterminant le risque relatif d'extinction. Sa principale fonction est de cataloguer et de mettre en évidence les taxons courant un risque élevé de disparition (inscrits parmi les espèces en danger critique d'extinction, en danger et vulnérables). Il existe également des listes rouges d'espèces au niveau national.
Matrice	en écologie du paysage, habitat dominant ou type d'aménagement du territoire dans une mosaïque, caractérisée par une vaste étendue et une connectivité élevée.
Mesure compensatoire	mesure ou action prise pour compenser un effet écologique négatif résiduel qui ne peut être atténué avec satisfaction. Voir aussi « Atténuation ».
Mesures d'évitement	mesures telles que l'abandon d'un projet ou la modification du tracé d'une infrastructure, adoptées pour éviter les impacts sur l'environnement. Voir aussi « Atténuation ».
Métapopulation	ensemble de populations locales dans une zone où la migration d'une population locale vers d'autres est généralement nécessaire pour maintenir la démographie locale. La durée de vie de la métapopulation peut être supérieure à celle des populations locales individuelles.
Migration	déplacement régulier, généralement saisonnier, de tout ou partie d'une population animale depuis une zone donnée vers une autre.
Mosaïque	ensemble de parcelles et de corridors situés dans une matrice (un paysage, dans notre cas). Voir « Matrice ».
Moyen de transport	forme de transport (véhicule automobile, train, avion, bateau, canalisation, bicyclette, etc.).
Multimodal	relatif à plusieurs « moyens de transport » (voir ce terme plus haut).
Natura 2000	réseau de sites revêtant une importance pour la communauté européenne, selon la directive Habitat 92/43/CEE ou classés parmi les zones de protection spéciale (ZPS), selon la directive Oiseaux 79/409/CEE. Les ZPS inscrites par les États membres forment le réseau européen des sites protégés Natura 2000.
Occupation de l'espace	voir « Aménagement du territoire ».
Occupation des sols	type d'aménagement des terres.
Palplanches	protection contre l'érosion des berges d'une rivière (rideau en bois, en acier ou en béton planté entre le bord de l'eau et le remblai).
Passage à bestiaux	voir « Passage inférieur agricole ».

Terme	Signification
Passage à faune	mesure mise en place pour permettre aux animaux de traverser au-dessus ou au-dessous d'une route, d'une voie ferrée ou d'un canal, sans entrer en contact avec la circulation.
Passage à faune inférieur	ouvrage construit au-dessous d'une infrastructure pour relier les habitats de chaque côté. La surface est, au moins partiellement, couverte d'un sol ou d'un autre matériau naturel permettant l'établissement de la végétation.
Passage à faune supérieur	ouvrage construit au-dessus d'une infrastructure pour relier les habitats de chaque côté. La surface est, au moins partiellement, couverte d'un sol ou d'un autre matériau naturel permettant l'établissement de la végétation.
Passage inférieur	ouvrage (avec ses abords), permettant de faire passer une voie au-dessous d'une autre ou d'un autre type d'obstacle.
Passage inférieur agricole	passage inférieur ou tunnel au-dessous d'une infrastructure de transport, à usage agricole, pouvant également être utilisé par la faune.
Passage inférieur hydraulique	conduit enterré ou canal permettant le passage d'un cours d'eau et/ou d'un drain routier sous une infrastructure.
Passage inférieur pour piétons	tunnel passant au-dessous d'une infrastructure, conçu à l'usage des piétons.
Passage supérieur	ouvrage (avec ses abords) permettant de faire passer une voie au-dessus d'une autre (ou d'un autre type d'obstacle).
Paysage	ensemble spatial et visuel formant l'habitat humain et intégrant l'environnement géologique, biologique et artificiel. Territoire hétérogène composé d'un groupe d'écosystèmes en interaction, créant une structure spécifique et reconnaissable.
Aménagements paysagers	aménagements changeant le paysage originel par modification de la topographie et/ou de la couverture végétale (pouvant inclure des terrassements pour former de nouvelles structures paysagères).
Pente (degré de)	changement d'un paramètre entre une zone ou région et une autre.
Pesticide	tout produit chimique utilisé pour tuer les insectes, les rongeurs, les mauvaises herbes, les champignons ou autres organismes vivants et s'attaquant aux plantes, aux animaux ou aux aliments.
Piste forestière	route (étroite) construite essentiellement à des fins forestières, ouverte ou non au public.
Point de franchissement pour la faune	site conçu pour que la faune puisse traverser une infrastructure en toute sécurité (passage supérieur, passage inférieur spécifique, etc.).
Pont vert	grand passage à faune supérieur ou écoduc reliant des habitats au-dessus d'une infrastructure.
Population	groupe fonctionnel d'individus qui se reproduisent dans une zone donnée, souvent choisie arbitrairement.
Protection des talus	activité ou mesure destinée à prévenir l'érosion des sols en pente (en les recouvrant de végétation, de pierres, de béton ou de bitume).

Terme	Signification
Rail de sécurité	voir « Glissière de sécurité ».
Reboisement	reconstitution d'une forêt par plantation d'arbres (pouvant avoir une fonction commerciale ou écologique).
Région	zone géographique (généralement supérieure à 100 km^2) englobant plusieurs paysages ou écosystèmes qui partagent certaines caractéristiques (topographie, faune, végétation, climat, etc.). Les régions biogéographiques et socioéconomiques en sont des exemples.
Relief	forme naturelle de la surface terrestre.
Remblai	levée artificielle (de terre ou de gravier compact), telle qu'un talus ou une digue, construite au-dessus du niveau des terres naturelles selon une forme linéaire et conçue pour transporter une route ou une voie ferrée à travers une plaine.
Réseau écologique	ensemble de corridors écologiques (voir ce terme plus haut), de milieux intérieurs et d'écotones établissant le réseau d'habitats nécessaire pour une bonne protection de la diversité biologique au niveau du paysage.
Réseau routier	ensemble maillé de routes desservant une zone.
Restauration	procédure consistant à remettre un élément dans son état initial. La restauration écologique comprend une série de mesures et d'activités destinées à remettre un écosystème dégradé dans son état initial.
Rondins	morceaux de bois (souvent rangés en piles ou déposés au bord d'une infrastructure).
Route	voie publique revêtue de béton ou de goudron, accessible aux véhicules, aux piétons et aux animaux.
Route à chaussée unique	route dotée d'une seule chaussée circulant dans les deux sens, non séparée par une barrière ou un terre-plein central.
Route à deux chaussées	route dotée de deux chaussées circulant en sens opposé, séparées par un terre-plein central (voir ce terme plus bas).
Route à une voie	route de la largeur d'un véhicule et ne permettant donc pas la circulation dans les deux sens.
Route de desserte	route secondaire reliant une route plus importante, bordée de propriétés ou d'immeubles. Il ne s'agit généralement pas d'une voie de circulation.
Route principale	route dont la circulation est toujours prioritaire sur les autres routes.
Salmonidés	groupe réunissant plusieurs espèces de poissons (saumon, truite, truite de mer, omble).
Site	lieu, endroit ou point défini du paysage.
Sortie pour la faune	mesure mise en place pour éviter que les animaux ne soient bloqués par des clôtures longeant une infrastructure (par exemple, portail pour blaireaux ou rampe construite sur des palplanches d'un canal pour permettre aux animaux de sortir d'un crapauduc).
Suivi	observations et évaluations utilisées pour quantifier les résultats d'un plan, d'une mesure ou d'une action en fonction d'un ensemble d'indicateurs, de critères ou d'objectifs politiques définis.

Terme	Signification
Taxon	catégorie dans la classification des organismes vivants de Linné (par exemple, espèce).
Terre-plein central	bande de terrain (parfois couverte de végétation) au milieu d'une route à deux chaussées ou d'une autoroute et séparant les deux sens de circulation.
Terrestre	relatif à la terre ou au sol.
Unité spatiale	plus petit élément fonctionnel d'un paysage.
Vertébré	animal possédant une colonne vertébrale (squelette).
Viaduc	pont de grande hauteur et de grande longueur, construit sur des piles et transportant une infrastructure au-dessus d'une vallée ou d'une étendue similaire, peu élevée.
Voie navigable	masse d'eau où l'on peut naviguer.
Zone d'attraction	zone d'où viennent les animaux empruntant un passage à faune.
Zone humide	terre ou zone contenant une proportion élevée de sol humide ou complètement immergée pendant tout ou partie de l'année.
Zone tampon	bande de terre herbeuse, conçue pour protéger les habitats sensibles, c'est-à-dire les sites protégés, contre des impacts tels que la pollution ou les nuisances d'une infrastructure.

Annexe 2 : Abréviations

A	Autriche
AEE	Agence européenne pour l'environnement
B	Belgique
CE	Commission européenne
CEE	Commission économique européenne
CH	Suisse
COST	Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique
CY	Chypre
CZ	République Tchèque
dBA	Décibel
DK	Danemark
E	Espagne
ECNC	Centre européen pour la préservation de la nature
EES	Évaluation environnementale stratégique
EIE	Étude d'impact sur l'environnement
F	France
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
HU	Hongrie
I	Italie
ICOET	International Conference on Ecology and Transportation
IENE	Infra Eco Network Europe
IRL	République d'Irlande
IUCN	Union mondiale pour la nature
N	Norvège
NL	Pays-Bas
ONG	Organisation non gouvernementale
P	Portugal
RO	Roumanie
S	Suède
Sétra	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (F)

SIG	Système d’information géographique
SLO	Slovénie
UE	Union européenne
UK	Royaume-Uni
USDA	Ministère américain de l’Agriculture
WWF	Fonds mondial pour la nature

Annexe 3 : Participants

Ce manuel a été rédigé par un groupe de travail piloté par le comité de gestion de COST 341.

Comité de gestion de COST 341

Groupe de travail ayant participé au manuel

Bekker Hans, président de COST 341, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat (NL)

Iuell Bjørn, coordinateur du manuel, Miljø- og samfunnsavdelingen, Statens Vegvesen (N)

Dufek Jiri, Centrum Dopravního Výzkumu (CZ)

Fry Gary, Norsk Institutt for Naturforskning (N)

Hicks Claire, Highways Agency/Department for Transport (UK)

Hlaváč Václav, Agentura ochrany p□írody a krajiny ČR (CZ)

Keller Verena, Station ornithologique suisse (CH)

Rosell Carme, Minuartia Estudis Ambientals (E)

Sangwine Tony, Highways Agency/Department for Transport (UK)

Tørsløv Niels, Vejdirektoratet, puis København kommune (DK)

Wandall Barbara le Maire, Vejdirektoratet (DK)

Álvarez Georgina, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza (E)

Borer Blindenbacher Franziska, DETEC (CH)

Burnein George, Ministerul Transporturilor (RO)

Caramondani Anna, A.L.A. Planning Partnership (CY)

Chevalier Delphine, Chargée d'études Environnement, SETRA (F)

Damarad Tatiana, ECNC (NL)

De Vries Hans, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat (NL)

Farrall Helena, GUECKO-Grupo de Ecologia/DCEA, Faculdade de Ciencias e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa (P)

Folkeson Lennart, Väg- och transport-forskningsinstitutet (S)

Mastrilli Muriel, CETE Est/D4 (F)

Novaseliv Razvan, Institutul de Cercetari in Transporturi, INCERTRANS SA (RO)

O'Brien Eugene J., University College Dublin, Department of Civil engineering (IRL)

Peymen Johan, Instituut voor Natuurbehoud (B)

Seiler Andreas, Grims forskningsstation, Institutionen fr naturvrdsbiologi, Sveriges lantbruksuniversitet (S)

Simonyi Ágnes, Nemzeti Autopalya Rt. (HU)

Trocmé Marguerite, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, OFEFP (CH)

Van Straaten Dick, Instituut voor Natuurbehoud (B)

Varga Ildiko, Allami Kozuti Muszaki es Informacios Kht. (HU)

Liste des experts

Experts ayant participé à la rédaction de ce manuel (leurs fonctions peuvent avoir changé depuis la publication de cet ouvrage).

Adamec Vladimir, Centrum Dopravního Výzkumu (CZ)

Adamic Miha, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (SLO)

Albuquerque Carlos, Instituto da Conservação da Natureza (P)

Andersen Ulla Rose, COWI Rådgivende Ingeniører (DK)

Cibien Catherine, ECOTONE (F)

Cuénot Etienne, SAPRR (F)

Cuperus Ruud, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (NL)

Dos Santos Rui Ferreira, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa (P)

Eiby Anne, COWI Rådgivende Ingeniører (DK)

Forte Ana Luisa, Instituto da Conservação da Natureza (P)

Georgii Bertram, Vauna (D)

Hels Tove, Forskningscentret for Skov & Landskab (DK)

Henriksen Birgitte, Vejdirektoratet (DK)

Heynen Daniela, Station ornithologique suisse (CH)

Hœnigsfeld Marjana, Inštitut LUTRA (SLO)

Holzgang Otto, Station ornithologique suisse (CH)

Jedlicka Jiri, Centrum Dopravního Výzkumu (CZ)

Jerina Klemen, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (SLO)

Kobler Andrej, Gozdarski Institut Slovenije (SLO)

Léger Karine, SAPRR (F)

Magnac-Winterton Marie-Pierre, ECOTONE (F)

Mertl Alexandr, Ekologické inženýrství (CZ)

Poboljsaj Katja, Center za kartografijo favne in flore podruznica Ljubljana (SLO)

Righetti Antonio, PiU Partner/innen Umweltfragen (CH)

Török Katalin, Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet, Magyar Tudományos Akadémia (HU)

Zumbach, Silvia, Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz (CH)

Annexe 4 : Liens Internet utiles

Agence européenne pour l'environnement (AEE)

www.eea.eu.int

Centre européen pour la préservation de la nature (ECNC)

www.ecnc.nl

Centre for Transportation and the Environment (Caroline du Nord, États-Unis)

www.itre.ncsu.edu/cte

Forum européen des laboratoires de recherche routière (FLERR/FEHRL)

www.fehrl.org

Infra Eco Network Europe (IENE)

www.iene.info

International Conference on Ecology and Transportation (ICOET)

www.itre.ncsu.edu/cte/icoet

Union mondiale pour la nature (IUCN)

www.iucn.org

Wildlife Crossings Toolkit (USDA Forest Service, États-Unis)

www.crossingstructures.org

Annexe 5 : Autres manuels et recommandations

Belgique :

Claus K. & Janssens L. (1994) : « Vademecum Natuurtechniek Inrichting en Beheer van waterlopen », Vlaamse Gemeenschap departement Leefmilieu en Infrastructuur.

Econnection (2001) : « Doelmatigheidsanalyse van amfibieëntunnels en -geleidingswanden in Vlaanderen (drie delen) », Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL-afdeling Algemeen Natuurbeleid, Cel Natuurtechnische Milieubouw (NTMB), Brussel.

Janssens L. & Claus K. (1996) : « Vademecum Natuurtechniek Inrichting en Beheer van wegen », Vlaamse Gemeenschap departement Leefmilieu en Infrastructuur.

République Tchèque :

Hlaváč V. & Andèl P. (2002) : « On the permeability of roads for wildlife: a handbook », Agentura ochrany p□írody a krajiny ČR & EVERNIA s.r.o. Liberec.

Danemark :

Danmarks Miljøundersøgelser, Skov, og Naturstyrelsen (1994) : « Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg - en vejledning (pjece) ».

Danmarks Miljøundersøgelser, Skov, og Naturstyrelsen (1998) : « Faunapassager i forbindelse med mindre vejanlæg - en vejledning (pjece) ».

Foreningen til dyrenes beskyttelse i Danmark (1998) : « Kan vildtspejle og støjstriber sikre hjortedyr i trafikken? (pjece) ».

Hammershøj M. & Madsen A.B. (1998) : « Fragmentering og korridorer i landskabet, en litteraturudredning », 112 s. Faglig rapport fra DMU nr. 232, Danmarks Miljøundersøgelser.

Jeppesen J.L., Madsen A.B., Mathiasen R. & Gaardmand, B. (1998) : « Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg III », Faglig rapport fra DMU nr. 250, Danmarks Miljøundersøgelser.

Madsen A.B. (1993) : « Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg II », Faglig rapport fra DMU nr. 82, Danmarks Miljøundersøgelser.

Madsen A.B., Fyhn H.W. & Prang A. (1998) : « Trafikdræbte dyr i landskabsøkologisk planlægning og forskning », 42 s., Faglig rapport fra DMU nr. 228, Danmarks Miljøundersøgelser.

Salvig J.C. (1991) : « Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg », 67 s., Faglig rapport fra DMU nr. 28, Danmarks Miljøundersøgelser.

Vejdirektoratet (2000) : « Fauna- og menneskepassager », En vejledning, Copenhagen.

France :

Carsignol J. (1999) : « The wildlife problem in motorway project development, construction and operation », CETE de l'Est, Metz.

Ministère de l'Équipement, du Transport, du Logement, du Tourisme et de la Mer, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Direction de la Nature et des Paysages (DNP) (1994) : « La gestion extensive des dépendances vertes routières, intérêts écologiques, paysagers et économiques », 120 p.

Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) (1993) : « Passages pour la grande faune. Guide Technique », Bagneux.

Allemagne :

DVWK (1984) : « Oekologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fliessgewässern », Merkblätter 204.

Kramer-Rowold E.M. & A.R. Wolfgang (2001) : « Zur Effizienz von Wilddurchlässen an Strassen und Bahnlinien », Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen.

Verkehrsministerium, B. (1991) : « Amphibienschutz: Leitfaden für Schutzmassnahmen an Strassen », Schriftenreihe der Strassenbauverwaltung, Baden-Württemberg.

Italie :

Dinetti, M. (2000) : « Infrastructure ecologiche. Manuale pratico per progettare e costruire le opere urbane ed extraurbane nel rispetto della conservazione della biodiversita », Il Verde Editoriale.

Norvège :

Direktoratet for Naturforvaltning (2002) : « Slipp fisken fram! Fiskens vandringsmulighet gjennom kulverter og stikkrenner », DN Handbok 22-2002.

Statens vegvesen Vegdirektoratet (1998) : « Faunapassasjer », MISA-rapport 98/05.

Statens vegvesen Vegdirektoratet (2002) : « Veg og vilt », MISA-rapport 02/30.

Espagne :

Rosell C. & Velasco Rivas J. (1999) : « Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna », Documents dels Quaderns de Medi Ambient 4, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient, 95 pp., Barcelona.

Velasco J.M., Yanes M. & Suárez F. (1995) : « El efecto barrera en los vertebrados. Medidas correctoras en las vías de comunicación », CEDEX, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 139 pp., Madrid.

Suède :

« Artrikare vägkanter, en idéskrift » (1996), Vägverket Publ 1996:074, Borlänge.

« Assessment of the ecological effects of roads and railways. Recommendations for methodology » (1996), Swedish National Road Administration Publication 1996:33E, Swedish National Rail Administration Publication 1996:3E, Borlänge.

« Bedömning av ekologiska effekter av vägar och järnvägar. Rekommendationer om arbetssätt » (1996), Vägverket Publ 1996:33, Banverket Publ 1996:3, Borlänge.

« Djurens väg över vägen », Brochure, Vägverket, Borlänge.

Folkeson L. (1996) : « Ecological adaptation of roads. Discussion of possible ecological impacts and their mitigation as applied to a road project in Sweden », VTI meddelande 792A, Linköping.

Folkeson L. (1996) : « Ekologisk anpassning av vägar. Diskussion av bedömningsunderlag och åtgärder utifrån exemplet Rv 31 Bogla-Öggestorp », VTI meddelande 792, Linköping.

Handbok Miljökonsekvensbeskrivning inom vägsektorn, Del 2, Metodik (2002), Vägverket Publikation 2002:42, Borlänge.

Handbok Miljökonsekvensbeskrivning inom vägsektorn, Sammanfattande del (2002), Vägverket Publikation 2002:40, Borlänge.

Larsson M.-O., Gunnarsson B. & Stenström J. (1995) : « Vägars och järnvägars påverkan på värdefull natur. Att bedöma effekter av väg- och järnvägsdragningar i områden med höga naturvärden », Naturcentrum, Vägverket Region Väst, Banverket Västra regionen, Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län, Publ 1995:2, Göteborg.

« Road culverts. Nature's path under the road », Brochure, Vägverket, Borlänge.

Seiler A., Skage O.R., Nilsson S., Wallentinus H.-G. & Folkeson L. (1996) : « Ekologisk bedömning vid planering av vägar och järnvägar », Bakgrundsrapport, Banverket BV P 1996:2, Vägverket VV Publ 1996:32, Borlänge.

Sjölund A., Eriksson O., Persson T. & Hammarqvist J. (1999) : « Vägkantsfloran », Vägverket Publ 1999:40, Borlänge.

« Uttrar och vägar », Brochure, Vägverket, Borlänge.

Suisse :

Office fédéral de l’environnement, des forêts et du paysage (1998) : « Solutions novatrices pour la nture et la paysaget » : 7.02 Voûtages, 6.07 Bordures inclinées, 6. 12 Viaducs et faune, 6.03 Rendre les ponts habitables par la faune, 6.14 Clôtures à faune, 6.09 Evacuation des eaux de ruissellement de la route, Cahier de l’Environnement Nr. 281, CD-ROM, Numéro de commande 310.133.

Dumont A.G., Berthoud G., Tripet M., Schneider S., Dändliker G., Durand P., Ducommun A. Müller S. & Tille M. (2000) : « Interactions entre les réseaux de la faune et des voies de circulation », Manuel, Département fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Énergie et de la Communication, Office fédéral des routes, 194 p., Lausanne.

Holzgang et al. (2001) Les corridors faunistiques en Suisse. Cahier de l'environnement No 326, Office fédéral de l'environnmebnt des forêts et du paysage, Société suisse de Biologie de la faune et Station ornithologique suisse de Sempach, 120 p.

Müller S. & Berthoud G. (1994/6) : « Sécurité faune/trafics. Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils », École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de génie civil, LAVOC, Lausanne.

Müller S. & Berthoud, G. (1997) : « Fauna/Traffic Safety. Manual for Civil Engineers », École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de génie civil, LAVOC, Lausanne (traduction anglaise de Müller & Berthoud, 1994/96).

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1998) : « Solutions novatrices pour la nature et le paysage », CD-ROM, N° de commande 310.133.

Normes de l'association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS): **Faune et trafic** juin 2004, SN 640 690, SN 640 692, SN 640 693 et SN 640 694 . http://vss.exigo.ch/

Ryser J. (1989) : « Amphibien und Verkehr, Teil 3 », Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (KARCH), Bern.

Schweizerische Gesellschaft für Wildtierbiologie (Hrsg.) (1995) : « Wildtiere, Strassenbau und Verkehr. Wildtierbiologische Information für die Praxis », Chur, Zurich.

Pays-Bas :

CUR (1999) : « Natuurvriendelijke œvers: Aanpak en tœpassingen », CUR-publicatie 200, CUR Civieltechnisch Centrum Uitvœring Research en Regelgeving, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (2001) : « Handboek Robuuste verbindingen, ecologische randvoorwaarden », Alterra, Wageningen.

NS Railinfrabeheer (1995) : « Naslagwerk fauna- en floravoorzieningen », Utrecht.

Oord J. G. (1995) : « Handreiking maatregelen voor de fauna langs weg en water », Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde & Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden, Delft, Utrecht.

République d'Irlande :

National Roads Authority (2003) : « Guidelines for the treatment of ecology in national road schemes ».

Royaume-Uni :

Byron H (2000) : « Biodiversity and Environmental Impact Assessment: A Good Practice Guide for Road Schemes », The RSPB, WWF-UK, English Nature & The Wildlife Trusts, Sandy, Bedfordshire.

Ecoscope Applied Ecologists (2001) : « Highways and Birds: A best practice guide », Highways Agency & Ecoscope Applied Ecologists, St Ives, Cambridgeshire.

English Nature : « Dormouse Conservation Handbook », Peterborough.

English Nature (1996) : « The significance of secondary effects from roads and road transport on nature conservation », English Nature Research Report No 178, Peterborough.

English Nature (1999) : « Water Vole: Guidance for planners and developers », Peterborough.

English Nature (1999) : « Badgers: Guidelines for developers », Peterborough.

Grogan A., Philcox C. & Macdonald D. (2001) : « Nature Conservation and Roads: Advice in relation to otters », Highways Agency & Wildcru, Oxford.

Highways Agency (1992, dernière édition) : « Design Manual for Roads and Bridges Volume 10: Environmental Design and Management », The Stationary Office, Norwich.

Langton T.E.S., Beckett C.L. & Foster J.P. (2001) : « Great Crested Newt Conservation Handbook », Froglife, Halesworth.

Oxford, M (2000) : « Developing Naturally: A Handbook for Incorporating the Natural Environment into Planning and Development », Association of Local Government Ecologists (ALGE) & English Nature, Peterborough.

Penny Anderson Associates (1994) : « Roads and Nature Conservation: Guidance on impacts, mitigation and enhancement », 81p., English Nature, Peterborough.

RSPB (2000) : « Biodiversity Impact – Biodiversity and Environmental Impact Assessment: A Good Practice Guide for Road Schemes », Sandy, Bedfordshire.

Spellerberg I.F. & Gaywood M.J. (1993) : « Linear features: linear habitats and wildlife corridors », English Nature Research Report No 60, Peterborough.

Strachan R. (1998) : « Water Vole Conservation Handbook », EA, WildCRU & EN, Oxford.

service d'Études techniques des routes et autoroutes

Sétra

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.equipement.gouv.fr

Un des changements majeurs au cours des derniers siècles en Europe a été l'extension des réseaux d'infrastructures de transports. Ce développement s'est accompagné d'une augmentation exponentielle de la fragmentation des habitats naturels.

Dans le cadre de la mobilisation internationale pour la réduction des impacts des infrastructures de transports, une action de coopération scientifique et technique (COST 341) a débuté en 1998. Réalisée dans le cadre de la Commission Européenne, ce travail a été conduit grâce à l'initiative d'Infra Eco Network Europe (IENE). L'IENE avait alors souligné la nécessité d'une coopération et d'un échange d'informations à l'échelle européenne dans le domaine de la fragmentation des habitats due aux infrastructures.

Le manuel publié en 2003 en version anglaise est le résultat du travail concerté de 16 pays ayant contribué à l'action COST 341. Il fournit une synthèse des rapports nationaux sur "l'état de l'art" en la matière dressés par les pays participants a cette réflexion. Pour la France, le rapport : "Fragmentation de l'habitat due aux infrastructures de transport - État de l'art", publié en 2000 et disponible au Sétra sous la référence B0028.

La traduction du manuel permet de rendre le document accessible à l'ensemble des personnes concernées par les infrastructures de transports en France. Elle est destinée à sensibiliser les intervenants au problème de la fragmentation des habitats naturels due aux routes, aux voies ferrées et aux voies navigables. Le manuel examine également les mesures actuellement mises en œuvre dans de nombreux pays et propose des solutions pour atténuer ces impacts.

Le Sétra appartient au Réseau Scientifique et Technique de L'Equipement

Document imprimé par téléchargement à partir des sites web du Sétra :
- Internet : http://www.setra.equipement.gouv.fr
- I² (réseau intranet du ministère de l'Equipement) : http://intra.setra.i2

L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction même partielle de ce document.
© 2007 Sétra – Référence :0717w - N° ISRN : EQ-SETRA--07-ED21--FR