

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation / Bundesamt für Strassen

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication / Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni / Ufficio federale delle strade

Interactions entre les réseaux de la faune et des voies de circulation

Wechselwirkungen zwischen Fauna- und Verkehrsnetze

Manuel - Handbuch

Groupe d'étude Faune/Trafics:

A.-G. Dumont, professeur ; EPFL-LAVOC

G. Berthoud, biologiste ; ECONAT

M. Tripet, ing. civil, dipl. EPF ; SD Ingénierie

S. Schneider, ing. civil, dipl. EPF ; EPFL-LAVOC

G. Dändliker, P. Durand, biologistes ; ECOTEC Environnement SA

A. Ducommun, biologiste ; INSECTA

S. Müller, ing. civil, dipl. EPF

M. Tille, ing. civil, dipl. EPF ; EPFL-LAVOC

Mandat de recherche 8/97 sur proposition de l'Union des
professionnels suisses de la route (VSS)

Décembre 2000

Ont participé à cette recherche :

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Laboratoire des voies de circulation**

Professeur A.-G. Dumont	direction
S. Schneider	réalisation
M. Tille	co-réalisation

ECONAT, Yverdon

G. Berthoud	direction et réalisation
B. Kreis	participation

SD Ingénierie S.A., Boudry

M. Tripet	chef du projet
-----------	----------------

ECOTEC Environnement SA, Genève

G. Dändliker	co-réalisation
P. Durand	participation

INSECTA, Neuchâtel

A. Ducommun	co-réalisation
G. Carron	participation

Ingénieur indépendant

S. Müller	co-réalisation du projet
-----------	--------------------------

Le projet a été mené sur mandat de l'Office fédéral des routes à la demande de l'Union des professionnels suisses de la route (VSS).

Le suivi a été assuré par une commission d'experts constituée de :

J. Bärlocher, président	Tiefbauamt des Kantons Thurgau, Frauenfeld
L. Von Segesser et F. Gächter	Chemins de fers fédéraux, Berne
J. Fritz	Aéroport international de Genève
G. Thélin, M. Trocmé	Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berne
L. Froidevaux, M. Pigois	Office fédéral des routes, Berne
C. Neet	Centre de conservation de la faune et de la nature, St-Sulpice
P-A. Oggier	Département des Transports, de l'Equipeement et de l'Energie, canton du Valais
B. Nievergelt	Université de Zürich, Zoologisches Institut

* * * * *

Avec nos remerciements aux organismes qui ont apporté un complémentaire :

EOS SA l'Energie Ouest-Suisse, Lausanne
Aéroport international de Genève
Centre de conservation de la faune et de la nature, St-Sulpice

PARTIE A

INTRODUCTION

A.1 REMARQUES PRELIMINAIRES

Le présent manuel est le fruit de une **collaboration au sein d'un groupe d'études** formé d'ingénieurs civils versés dans la construction routière et de biologistes spécialistes de la faune représentant toutes les grandes catégories fauniques.

Le travail effectué de concert par le groupe a montré les divergences de points de vue entre ingénieurs et biologistes sur les problèmes soulevés par la confrontation des trafics et de la faune. L'ingénieur doit créer des voies de circulation sûres, efficaces et au meilleur compte lors de leur construction et de leur exploitation. Le biologiste doit mettre en évidence les atteintes portées au paysage et à la faune par ces infrastructures linéaires et faire des propositions pour les corriger ou les atténuer.

Il n'est pas facile d'atteindre simultanément ces deux objectifs ; cela nécessite un effort de bonne volonté des deux parties. Pour parvenir à des résultats valables, les travaux effectués en commun par le groupe d'études ont montré qu'il était nécessaire que quatre conditions soient remplies par les ingénieurs et biologistes, à savoir :

- être **compétents** chacun dans leur domaine,
- s'entendre sur un **langage commun**,
- faire preuve de **bonne volonté** pour arriver à des solutions et non défendre des positions de principe propres à leur groupe,
- avoir une **connaissance** approfondie des problèmes de l'autre partie et savoir en tenir compte.

A.2 FONCTION DU MANUEL

Le présent manuel s'adresse principalement :

- aux **praticiens**, pour les aider à mieux comprendre la problématique, à prendre en compte tous les paramètres correspondants, à élaborer des solutions adéquates et à faciliter leur collaboration interdisciplinaire,
- aux **décideurs**, comme aide à la décision pour leur permettre de vérifier l'adéquation d'un projet de mesures de protection aux exigences requises,
- aux **milieux académiques**, enseignants et étudiants, comme source d'informations abondante et complément de formation dans le domaine de la thématique faune/trafics.

Il recourt à un langage commun et à une démarche coordonnée visant à informer, aider et guider ses utilisateurs, tout en leur laissant une grande liberté d'analyse et de décision.

Le groupe d'études a proposé un ensemble de **postulats** basés sur les expériences faites tout au long de la recherche ainsi que sur des réflexions prospectives. Ces postulats sont présentés tout au long du manuel sous forme d'encadrés. Sans être en soi une garantie de succès, le respect de l'esprit de ces postulats doit cependant amener toute étude d'un projet lié à l'interaction des réseaux de la faune et des voies de circulation à concentrer ses efforts pour arriver à des résultats valables pour tous en évitant toutes situations de blocage.


A.3 ORGANISATION DU MANUEL

Le manuel est divisé en 6 parties dont les trois premières sont conceptuelles alors que les trois dernières sont plus spécifiques et pratiques. Les différentes parties se suffisent à elles-mêmes pour la solution d'un problème particulier ; il est cependant recommandé de considérer l'ensemble du manuel pour saisir pleinement le concept proposé.

Le public cible proposé dans le "Tableau A.3-1" ne recouvre que les personnes désireuses de trouver rapidement une réponse à un problème sans passer par une lecture de l'ensemble.

Description	Public cible
Partie A - Introduction	
Présentation des bases sur lesquelles le manuel a été élaboré et comment il est organisé.	Tous lecteurs souhaitant lire et comprendre le manuel dans son ensemble
Partie B - Interactions entre les réseaux de la faune et des voies de circulation	
Présentation de la problématique : réseaux d'infrastructure de transport, réseaux de la faune et interactions dues à leur superposition.	Toutes personnes souhaitant approfondir leurs connaissances dans la problématique faune/trafics (milieux académiques, praticiens désirant compléter leur formation, etc.)
Partie C - Méthodologies pour les intervenants	
Liste des intervenants et description d'une méthodologie indiquant quand et comment la contrainte "faune" doit être prise en considération dans le déroulement d'un projet de voie de circulation.	Praticiens (ingénieurs, biologistes, maîtres d'ouvrage, etc.)
Partie D - Création de mesures de protection pour la faune	
Recommandations sur la façon de concevoir un plan de mesures de protection et de choisir ces mesures.	Praticiens (ingénieurs, biologistes) et milieux académiques
Partie E - Gestion des mesures	
Gestion des mesures (entretien, contrôles) devant accompagner tous ensembles de mesures de protection.	Praticiens (projeteurs, concepteurs, maîtres d'ouvrage, gestionnaires) et milieux académiques
Partie F - Méthodologie pour l'appréciation des projets de mesures de protection	
Aide aux décideurs ayant à se prononcer sur la nécessité et le contenu d'un projet de mesures de protection faune/trafics. Cette aide permet aussi aux concepteurs de connaître les bases sur lesquelles leurs projets seront appréciés.	Décideurs et projeteurs soumis à décision (services administratifs, concepteurs, juristes, politiciens, etc.)

Tableau A.3-1 : Organisation du manuel

 **Annexe** regroupe un glossaire des termes employés, une explication des abréviations, une bibliographie sélective et un CD-Rom, intitulée « Données de base », qui complète le manuel pour les lecteurs désireux d'obtenir des informations plus détaillées sur la recherche (contributions personnelles de membres du groupe, bases de données, conférence « Faune-trafics », comptes rendus des tables rondes, bibliographie complète, etc.).

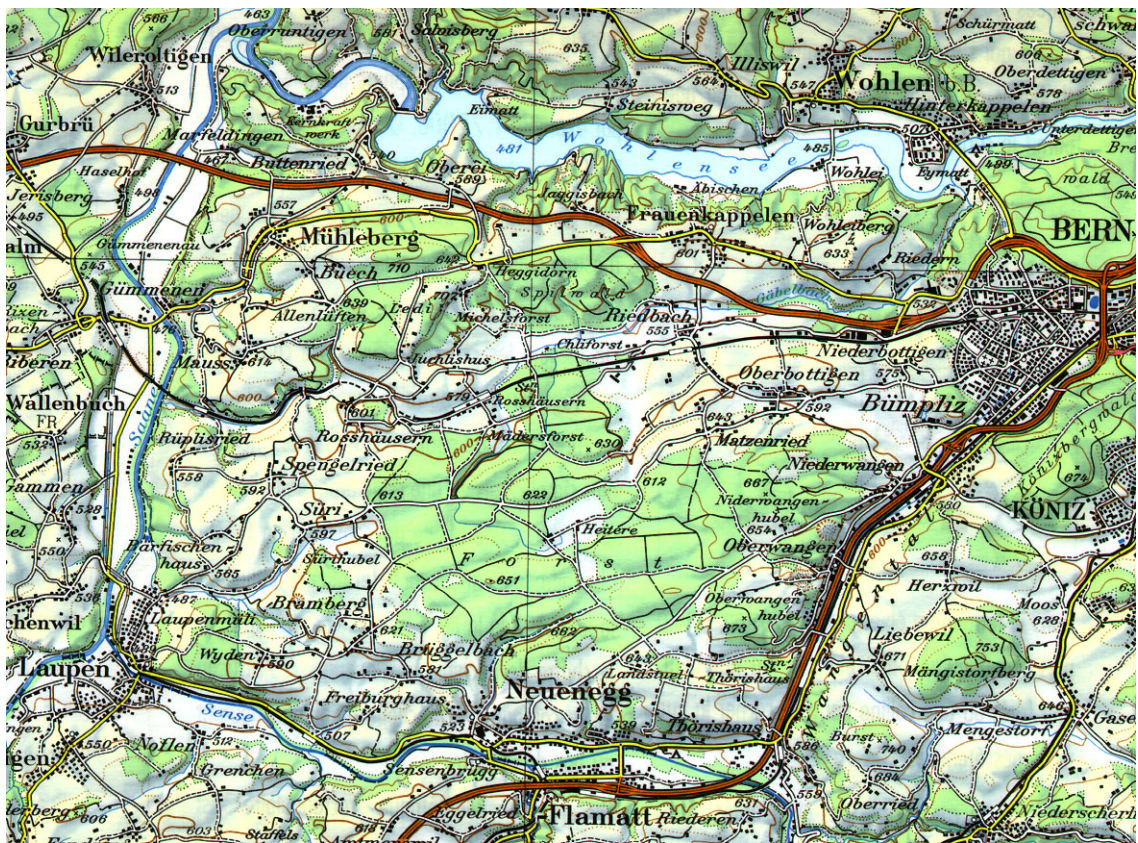
PARTIE B

INTERACTIONS ENTRE
LES RÉSEAUX DE LA
FAUNE ET DES VOIES DE
CIRCULATION

B.1 APPROCHE DE LA PROBLEMATIQUE

Une infrastructure de transport crée de grandes perturbations dans le paysage. Son emprise et son caractère linéaire ont un impact important sur le territoire traversé en agissant comme une coupure.

Les routes, les voies de chemin de fer, les canaux, les transports par câble et les lignes à haute tension forment le **réseau des infrastructures de transport**. Ce réseau, les zones urbanisées ou fortement soumises à des activités humaines ainsi que des éléments naturels tels que rivières, lacs, falaises ou montagnes créent des coupures dans le paysage plus ou moins imperméables (c'est-à-dire infranchissables) à certaines espèces de faune. Ces coupures qui se traduisent par un effet-barrière fragmentent leur territoire en parcelles qui, en dessous d'une certaine taille, se révèlent insuffisantes pour permettre leur développement, voire leur survie. Ce phénomène est particulièrement visible sur le Plateau suisse (cf Figure B.1-1).



Carte de base: n°36, © 1998 Office fédéral de topographie

Figure B.1-1 : Exemple de fragmentation due aux activités humaines sur le Plateau suisse

Pour se déplacer, les animaux utilisent leur propre réseau de déplacement, en empruntant de manière préférentielle certaines parties du paysage, caractérisées le plus souvent par des structures paysagères proches de l'état naturel (cours d'eau, haies, boisement, etc). Ces réseaux de la faune forment le **réseau écologique** (cf exemple Figure B.1-2).

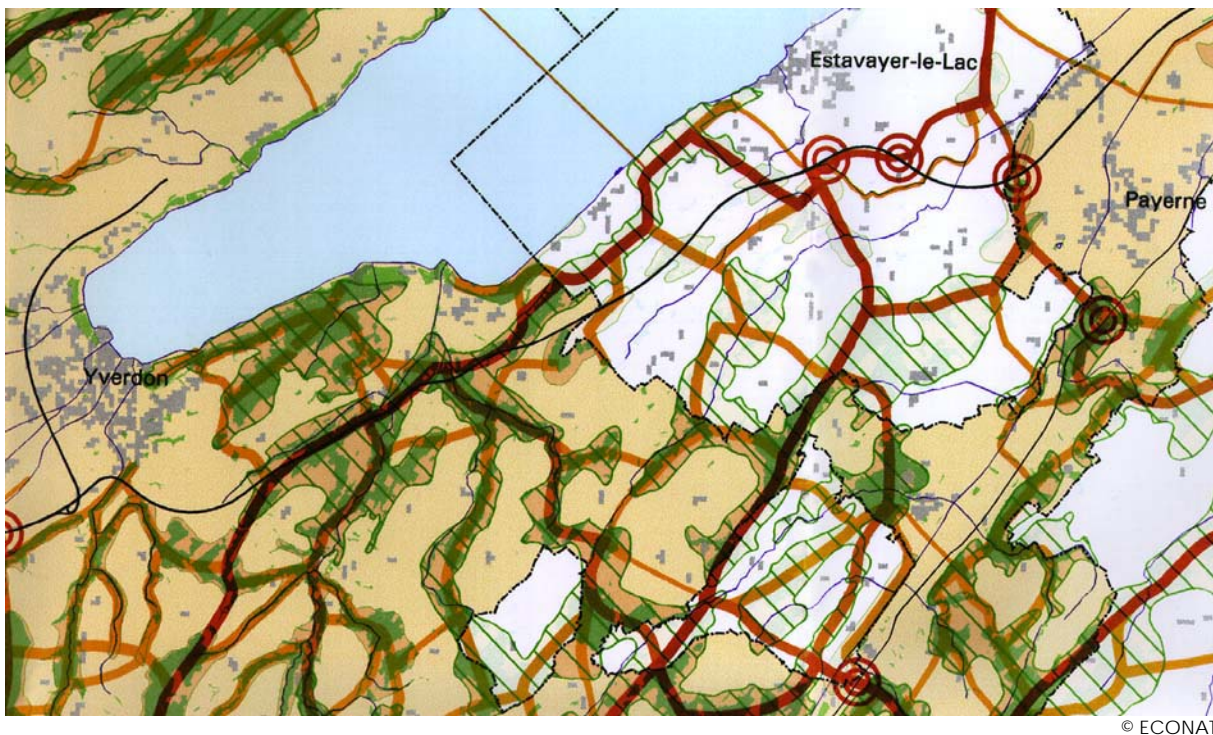


Figure B.1-2 : Exemple de réseau de faune (grands mammifères) sur la rive sud du lac de Neuchâtel

Ce réseau écologique évolue à cause des influences humaines sur le paysage (agriculture intensive, déboisement, construction de voies de circulation, urbanisation, etc). Quand la fonctionnalité de ce réseau est gravement réduite, des espèces peuvent décliner, voire disparaître localement.

Durant de nombreuses années, l'homme a développé son réseau d'infrastructures de transport sans se soucier de celui de la faune. C'est vers le milieu des années 60 que la coexistence et la superposition de ces deux réseaux ont commencé à être étudiées. Les problèmes suivants et leur importance apparurent alors peu à peu :

- la **sécurité des usagers** des voies de circulation : accidents avec la faune (4.1.1),
- la **mortalité des animaux** suite à des collisions (4.2.1),
- la **fragmentation du paysage** avec tous les effets qu'elle comporte (4.2.2).

De nombreuses contraintes légales, financières et politiques se sont ajoutées à ces problèmes (4.1.2).

Il faut donc tenir compte de nombreux éléments lorsque l'on traite d'interactions faune/trafics, or certains de ceux-ci sont encore mal connus tels que par exemple le comportement des animaux face à l'effet-barrière, leur capacité d'adaptation, etc.

La problématique faune/trafics doit être traitée sur des surfaces étendues définies par la faune et pas seulement ponctuellement là où un conflit intervient ou peut intervenir entre les réseaux des voies de circulation et ceux de la faune.

B.2 LES RESEAUX D'INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

B.2.1 TYPOLOGIE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Une infrastructure de transport est caractérisée par les rôles qu'elle joue dans les domaines suivants :

- Transport : capacité d'écoulement de flux de personnes et/ou de marchandises
- Accessibilité : desserte territoriale
- Domaine social : amélioration des conditions de vie par une diffusion sur le territoire
- Structuration : organisation du territoire, développement des activités

Ces différents rôles antinomiques sont toujours combinés en des proportions diverses, ce qui engendre une grande variété de type d'infrastructures.

C'est principalement le **réseau des voies de circulation** qui sera pris en considération dans ce manuel. Il comprend :

- les routes de toutes classes allant des routes de desserte aux autoroutes
- les chemins agricoles, forestiers ou pédestres
- les voies de chemin de fer
- les canaux

Les autres infrastructures de transport tels que les aéroports, les lignes à haute tension ou les transports par câble (téléphériques, téléskis, etc.), qui ont un impact plus faible sur la faune, ne seront abordées que très partiellement. Les problèmes posés par les pistes de ski ne sont pas traités dans ce manuel.

B.2.2 IMPORTANCE DES DIFFERENTS RESEAUX

Le **réseau routier suisse** compte 111'000 km de chaussée soit 1'638 km de routes nationales¹ (= 88% des 1'857 km du réseau planifié), 18'300 km (1996) de routes cantonales, 51'000 km de routes communales et environ 40'000 km de routes privées, ce qui représente une densité d'environ 2.7 km de route par km² de territoire national et de 3 à 4 km/km² sur le Plateau suisse. Le réseau des routes nationales prévu comprendra 29 % d'ouvrages d'art : 257 tunnels et galeries (14 % du réseau), 1069 ponts (9 %), 1114 passages supérieurs (4 %) et 1116 passages inférieurs (2 %).

Le réseau des **chemins et routes forestières** est estimé à 29'000 km [Landes-Forstinventar (LFI 1999)].

¹ Bulletin 1999 de l'Office fédéral des routes « Routes nationales suisses »

La longueur totale du **réseau ferroviaire suisse** est de 5000 km (1998). Le 7.3 % du réseau est constitué de tunnels (364 km) et le 2.5 % de ponts (125 km). Le réseau CFF compte 3000 km et comprend 266 tunnels (215 km) et 5491 ponts (84 km), les 2000 km restants appartiennent au réseau privé. Les CFF ont transporté 266 millions de voyageurs et 49 millions de tonnes de marchandises avec une densité moyenne de 24 trains marchandises et 86 trains voyageurs par jour et par ligne en 1998.

Le transport de marchandises par voie d'eau n'a lieu en Suisse qu'entre Bâle et Rheinfelden. Des lacs sont régulièrement utilisés pour le trafic touristique et occasionnellement pour des transports de gravier.

Les besoins en mobilité augmentent (cf Figure B.2-1) et impliquent une croissance des réseaux et donc du conflit faune-trafics défini au chapitre B.4.

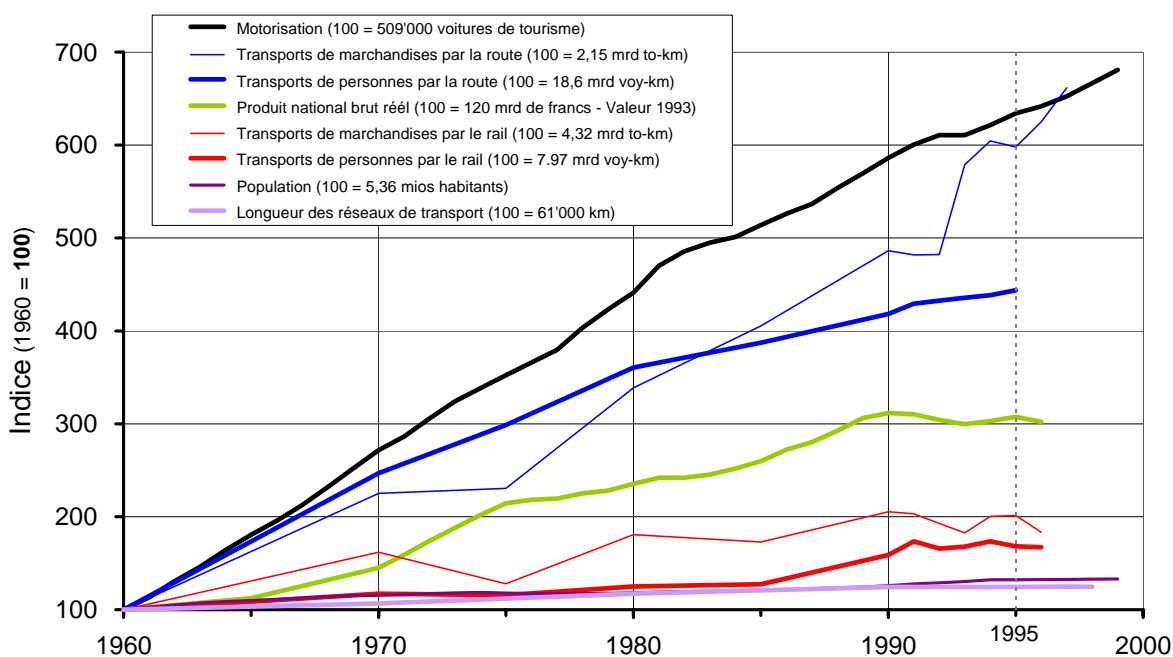


Figure B.2-1 : Evolution de paramètres liés à la mobilité en Suisse

B.2.3 STANDARDS DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

B.2.3.1 Le standard et la norme

Le **standard** est l'ensemble des critères que doit remplir une infrastructure de transport réalisée pour répondre à un besoin de mobilité.

Le standard est une notion souvent imprécise, parfois fixée par la loi, qui n'est pas d'essence technique mais plutôt politique. Il varie selon l'importance accordée à une infrastructure de transport au sein d'un réseau structuré, les revendications diverses, l'expérience acquise et les attentes propres à chaque époque. Il peut concerner divers stades de la vie d'une infrastructure de transport (conception, réalisation, exploitation ou entretien) ainsi que divers acteurs (projeteur, riverain, usager, etc.). Il n'est question ici que des standards du projeteur et de l'utilisateur.

Le standard est à distinguer de la **norme**, qui concerne les règles techniques de conception et d'exécution des infrastructures de transport, avec pour principal objectif d'assurer la sécurité des usagers et la qualité de l'ouvrage. Elle est établie par des professionnels du domaine.

Le standard précise ce qui doit être fait pour répondre à un certain besoin (quoi ?), tandis que la norme précise la manière de le réaliser (comment ?).

B.2.3.2 Standards pour l'utilisateur

En échange d'une prestation monétaire directe (taxes sur l'essence, billet de train, etc.) ou indirecte (impôts spécifiques, subventions publiques, etc.), l'utilisateur attend d'une infrastructure de transport qu'elle lui procure un standard assurant sa mobilité d'une manière :

- ... **sûre** : pas de tracé dangereux, revêtement à adhérence élevée, etc.
- ... **permettant un temps de déplacement court et stable** : stabilité d'horaire des transports collectifs, peu de gêne due à l'exploitation, fluidité d'écoulement du trafic, vitesse commerciale élevée, etc.
- ... **économique** : faible consommation énergétique, maintien des fonctionnalités du véhicule, etc.
- ... **confortable** : tracé fluide, revêtement uniforme, signalisation, guidage optique, paysage agréable, installations annexes, etc.
- ... **permettant une bonne accessibilité** : couverture territoriale, accès réguliers à l'infrastructure, etc.

Ces différents critères ne dépendent pas que de l'infrastructure proprement dite (la sécurité dépend aussi du comportement des usagers, le temps de déplacement dépend de la charge de trafic, etc.), mais la qualité de celle-ci a une influence prépondérante. Le standard doit être le plus homogène possible pour une infrastructure donnée afin de permettre à l'utilisateur d'identifier la qualité de celle-ci et de disposer d'une mobilité de qualité constante.

Une infrastructure de transport doit posséder un standard assurant à l'utilisateur un déplacement sûr, rapide, économique et confortable.

B.2.3.3 Standards pour le Maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est essentiellement intéressé par les aspects économiques liés aux exigences des standards d'une infrastructure de transport. Ces aspects concernent les éléments suivants :

- **Réalisation** : faible coût (étude, construction), taux de subventionnement, mesures environnementales nécessaires, etc.
- **Exploitation** : taux de rentabilité, subventions, maintien du trafic, services aux usagers, permanence et niveau de qualité d'usage de l'infrastructure, mesures de sécurité, etc.
- **Maintenance** : durabilité des ouvrages, seuil de qualité, sécurité, etc.

B.3 LES RESEAUX DE LA FAUNE

B.3.1 STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE L'ENVIRONNEMENT NATUREL

Un **paysage** proche de l'état naturel fonctionne selon un réseau diffus et complexe d'interactions qui assure à l'ensemble une relative stabilité en diversité d'espèces et en importance des populations. Un paysage est toujours constitué d'un ensemble de milieux étroitement reliés entre eux par des relations complexes.

Un **milieu** désigne un écosystème composé d'ensembles d'écosystèmes associés tels que forêt et lisière, étang et marais, etc. Un paysage devient ainsi un ensemble d'écosystèmes reliés entre eux par des relations fonctionnelles plus ou moins importantes.

Le terme d'écosystème est une notion théorique développée en écologie pour désigner un milieu caractérisé par un environnement physico-chimique particulier appelé biotope, dans lequel s'est développée une communauté vivante de plantes et d'animaux adaptés à celui-ci et appelée biocénose (exemples d'écosystème : un lac, une forêt, un étang, une prairie, etc.).

Un **réseau écologique** résulte de la répartition et de l'utilisation spatiale de milieux plus ou moins intacts ou dégradés, reliés par des flux d'échanges, variables en intensité et dans le temps. Un réseau écologique est un système de maintenance, voire de survie d'un ensemble d'écosystèmes.

Les **éléments d'un réseau écologique** ont été définis (cf Tableau B.3-1) par le Conseil de l'Europe dans une « Stratégie paneuropéenne de conservation de la diversité biologique et paysagère »¹.



Figure B.3-1 : Représentation schématique d'un réseau écologique d'après BENNETT (1993) modifié.

¹ Conseil de l'Europe, 1998. Elaboration d'une approche commune pour la Constitution d'un Réseau écologique paneuropéen : concept et critères.

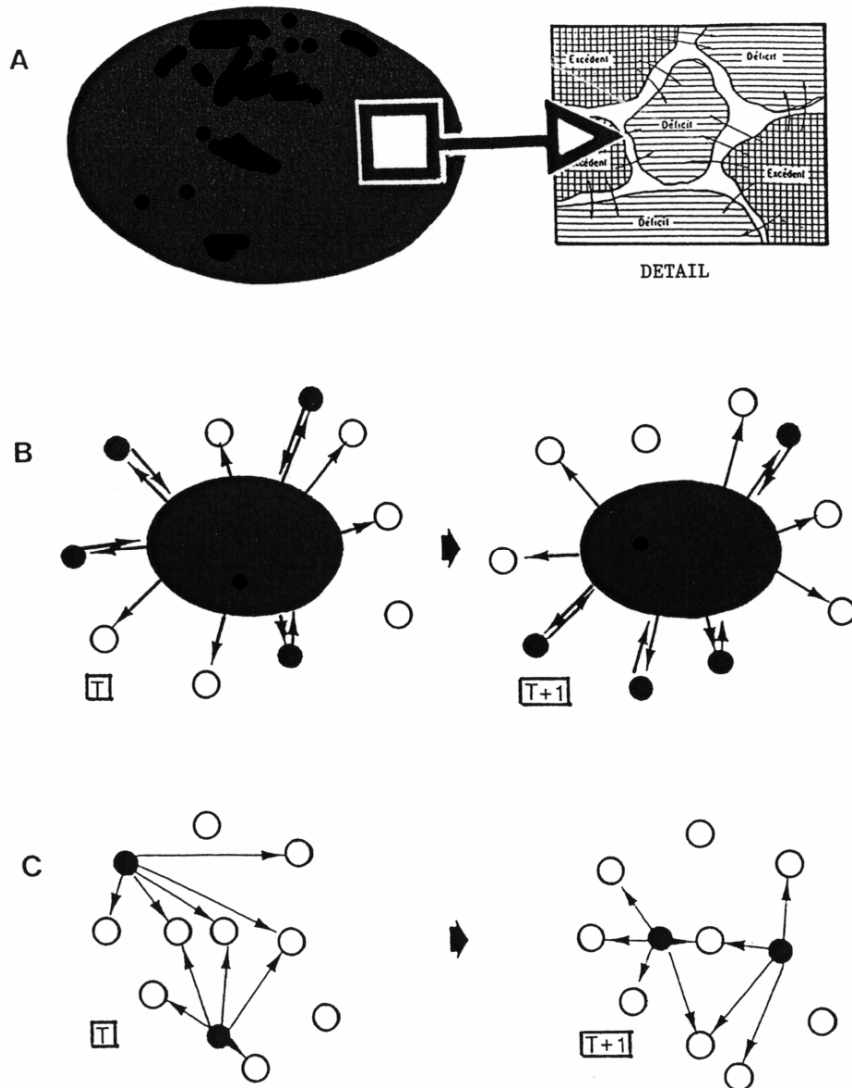
Définitions théoriques	Applications au modèle « Ongulés »
Des zones-réservoir , formées de milieux naturels favorables aux populations animales et végétales.	Ensemble de zones boisées et complémentaires augmentées des zones agricoles utilisées pour le gainage des ongulés.
Des couloirs , appelés aussi corridors , qui relient les zones-réservoir et qui permettent aux espèces de se disperser.	Les corridors utilisés par la faune ont divers aspects : <ul style="list-style-type: none"> • éléments linéaires du paysage, tels que cordons boisés le long d'un cours d'eau • mosaïques de milieux refuges complémentaires • maillages bocagers perméables • zones d'accès libres (sans construction et sans clôture) reliant entre eux des milieux favorables.
Des zones tampons qui protègent le réseau des activités dommageables menées hors du réseau. Une zone tampon est un concept d'aménagement et de gestion qui permet d'éviter des dégradations supplémentaires du site concerné.	Zones perturbées par des activités humaines. A partir de sources d'émission de nuisances, il est possible de délimiter des zones d'influence des activités humaines (pollution, bruit, lumière, déplacements). Par superposition, on obtient les zones d'interférences avec le réseau écologique.

Tableau B.3-1 : Eléments d'un réseau écologique avec exemple d'application pour les ongulés illustrés à la Figure B.3-1.

Le réseau écologique permet de conserver la biodiversité dans un espace paysager transformé. En effet, les populations animales peuvent se maintenir à partir de sous-populations, pour autant que des échanges sociaux puissent s'effectuer régulièrement entre elles. L'organisation en **métapopulations** (ensemble de sous-population échangeant des individus) est facilitée par la proximité de zones favorables et l'existence de corridors de libre déplacement (Figure B.3-1). Elle représente une possibilité de survie pour de nombreuses espèces habituées aux milieux en transformations continues.

La transformation des paysages par les activités humaines entraîne obligatoirement une réorganisation du réseau écologique.

Dans un paysage modérément transformé, chaque espèce utilise divers milieux favorables à une ou plusieurs activités vitales. Si ces milieux sont suffisamment groupés et étendus, le développement d'une population importante que l'on appelle « **zone-réservoir** » ou « zone-source » peut généralement être observé. A partir de cette population-mère peuvent se développer des populations-filles en fonction des flux émigrants et de l'existence de zones de développement secondaires accessibles (Figure B.3-2).



- A Population : Ensemble de sous-populations se maintenant par des échanges internes
 B Métapopulation fondée sur un noyau stable : les biotopes externes sont occupés alternativement par des sous-populations.
 C Métapopulations à noyaux variables : seuls les biotopes favorables et accessibles sont utilisés aléatoirement

Figure B.3-2 : Principes de transformation d'une population en métapopulation animale

Les **corridors de liaison** peuvent être constitués d'un espace étendu de déplacement sans obstacle ou d'un espace étroit lié à la présence d'une structure de guidage permettant les déplacements et servant simultanément de repère visuel, de refuge en cas de danger et de ressource alimentaire en cas de nécessité. Le mode de fonctionnement et la fréquentation de tels corridors par la faune dépendent à la fois de la qualité des zones reliées et de la capacité des corridors à remplir leurs fonctions.

B.3.2 TYPOLOGIE ET IMPORTANCE DES DÉPLACEMENTS DE LA FAUNE

Les facteurs agissant sur les besoins de mobilité de la faune sont variés et complexes. En effet, pour survivre les animaux doivent être capables à la fois de choisir les éléments de l'environnement qui leur sont favorables et d'accéder à toute une série de milieux qui ne sont pas forcément regroupés spatialement. Chaque espèce a ses exigences propres et ses besoins varient en fonction de l'état de développement, de l'âge de l'animal, de la saison et du climat.

Malgré l'extrême complexité des facteurs de mobilité, il est toutefois possible de définir un certain nombre de constantes parmi les facteurs principaux des déplacements de la faune (Tableau B.3-2). Ceux-ci ont surtout été développés pour les ongulés, mais peuvent s'extrapoler à d'autres espèces. Il est possible de distinguer généralement :

- les facteurs individuels fournissant à l'animal son autonomie de survie. Les déplacements doivent permettre à l'animal de repérer et d'accéder aux ressources nécessaires. Ils forment un ensemble de cheminements permettant d'exploiter de manière optimale un espace disponible. Ils définissent ce que l'on appelle un domaine vital.
- les **facteurs de groupes** liés à la présence sur un espace donné d'animaux exploitant les mêmes ressources. Dans cette situation, il y a en opposition un facteur de compétition qui peut conduire à la défense d'un territoire individuel, s'il y a un risque d'épuisement des ressources utilisées, et un facteur synergique qui améliore la vie d'un groupe en facilitant la reproduction, la croissance et la sécurité de chaque individu. Dans ce cas apparaissent des nouveaux déplacements vers des lieux favorables à la communauté.
- les **facteurs de population** impliquent des limites contraignantes pour chaque individu en fonction de son sexe et de son appartenance à une classe d'âge particulière. La reproduction et la survie des individus reproducteurs deviennent des facteurs prépondérants pour l'ensemble des activités de la population. L'accès aux lieux favorables à la population nécessite des déplacements particuliers encore plus conséquents. La nécessité d'accroître ou au contraire de diminuer une population reste liée à la capacité de charge du milieu. En cas de risque de surexploitation du milieu et selon leur position hiérarchique dans la société, les individus dominés peuvent être contraints de s'expatrier ou sont éliminés.

Les mécanismes d'émigration ou de dispersion vers de nouveaux sites inoccupés ou non saturés conduisent souvent à des pertes importantes et des déplacements inhabituels considérables.

- les **modifications naturelles de l'environnement** sont également parmi les facteurs inducteurs de déplacements. Les variations saisonnières du climat et par conséquent de la végétation provoquent des migrations massives impressionnantes par leur synchronisme et leur ampleur. Ces types de déplacement impliquant des populations entières sont souvent des événements spectaculaires mais peuvent rester discrets par leur brièveté ou leurs conditions particulières (nuit, pluie, vent, etc.).
- les **modifications artificielles de l'environnement** par les activités humaines provoquent le plus souvent des destructions massives d'animaux et sont également génératrices de migrations importantes. Les impacts globaux de ces modifications ne sont supportables pour la survie des populations que dans la mesure où les animaux trouvent dans un premier temps des zones-refuges suffisantes et, dans un second temps, des zones de développement accessibles et de qualité permettant l'installation d'une nouvelle population.

Quelques exemples chiffrés de l'importance de ces déplacements pour quelques groupes d'espèces caractéristiques de nos régions sont mentionnés dans le "Tableau B.3-3". Ils peuvent servir de modèle pour comprendre et résoudre les problèmes de cloisonnement du paysage par les infrastructures de transport.

Les espèces à déplacements aériens fournissent des exemples encore plus spectaculaires, mais ne sont que peu ou pas influencées par les obstacles linéaires créés par les voies de circulation. Elles restent par contre fortement influencées par la disposition spatiale des surfaces de milieux favorables.

Facteurs	Fréquence des déplacements	Ampleur des déplacements	Buts	Types de déplacements
Facteurs individuels : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité locomotrice ▪ Besoins alimentaires ▪ Zones d'activités particulières ▪ Exploitation de l'espace et des ressources 	Permanente et journalière	Locaux ou régionaux, avec modifications en fonction des ressources disponibles.	Occupation d'un espace vital minimal.	Type 1 - Déplacements vitaux Journaliers, organisés selon un réseau de pistes d'accès vers des zones favorables (parcours du domaine vital).
Facteurs de groupes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Défense territoriale ▪ Zones spécifiques d'activités sociales (rut, reproduction, élevage des jeunes, sécurité) 	Saisonnière	Sur un ensemble de zones accessibles dans un même secteur géographique.	Organisation sociale permettant la pérennité du groupe.	Type 2 - Déplacements territoriaux Périodiques, organisés selon un réseau de pistes avec des places de stationnement.
Facteurs de populations : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Contacts sociaux intergroupes dans une population 	Permanente pour le groupe, mais individuellement variable en fonction de l'âge.	Ensemble de zones occupées par des populations ou des métapopulations.	Organisation sociale permettant la pérennité d'une population.	Type 3 - Déplacements sociaux Périodiques, à distance moyenne, organisés selon un réseau de pistes avec des places de stationnement.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dynamique fluctuante de populations 	Flux périodiques d'émigration ou d'immigration selon capacité d'accueil du secteur paysager.	Dispersion au hasard des animaux subadultes vers de nouveaux secteurs (colonisation).	Brassage génétique évitant la consanguinité. Contrôle des risques de surpopulation.	Type 4 - Déplacements de dispersion Déplacements saisonniers, non organisés, sur de longues distances, à la recherche de milieux favorables, évitant une surpopulation.
Facteurs liés à l'environnement : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Adaptations à des modifications naturelles non permanentes 	Périodique régulière (saisons) Événements épisodiques diffus	Reflux temporaires vers des zones-refuges à l'intérieur du domaine vital de l'espèce.	Mécanisme de survie à court terme rendu possible par la proximité immédiate de zones-refuges.	Type 5 - Déplacements de replis Déplacements occasionnels, non organisés, à courtes distances vers des zones-refuges connus, permettant des adaptations aux perturbations temporaires.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adaptations à des modifications artificielles 	Périodique répétée (mise en cultures) Catastrophes épisodiques Evolution progressive	Reflux temporaires ou permanents vers des zones-refuges. L'ampleur dépend de l'intensité des perturbations.	Mécanisme de survie à long terme dont la réussite dépend de l'accessibilité de nouvelles zones-refuges.	Type 6 - Déplacements d'émigration Déplacements occasionnels, non organisés, à moyenne ou longue distance vers des milieux favorables, permettant des adaptations aux perturbations durables.

Tableau B.3-2 : Caractérisation des facteurs réglant les déplacements d'une grande partie de la

faune

	Coléoptères Carabidés	Odonates (libellules)	Batraciens, reptiles	Musaraignes, campagnols	Martres, putois, fouines, hermines	Renards, blaireaux	Chevreaux, sangliers	Chamois et cerfs	Loups, lynx, ours	Loutre, castor	Truite lacustre
Domaine vital (Type 1)	1 m ²	0.1 à 1 ha	0.1 à 0.5 ha	0.1 à 0.5 ha	1-3 km ²	0.5-3 km ²	1-10 ha	0.5-3 km ²	100-400 km ²	5-10 km 0.1-3 km de rives	Tout ou partie du lac + totalité des affluents
Déplacements sociaux sur un territoire connu (Types 2, 3, 5)	200-300 m	0.5 à 1 km	1-5 km	100 m	5-15 km	3-6 km	2-5 km	2-5 km	10-30 km	2-15 km	Taille du lac 1-100 km
Déplacements de dispersion vers des zones non connues (Types 4, 6)	0.5 à 1 km	5-10 km	5-10 km	0.5 à 1 km	5-30 km	3-40 km	5-10 km	5-15 km	20-50 km	5-30 km	Plusieurs centaines de km
Milieux recherchés	Spécialisés, variables selon espèces	Zones humides, étangs, cours d'eau	Prairies sèches ou humides, forêts, zones humides	Prairies et lisières, zones structurées	Forêts ouvertes et prairies structurées	Forêts ouvertes et prairies structurées	Forêts, clairières et lisières	Zones rocheuses et forêts d'altitude	Forêts ouvertes et pâturages d'altitude	Hydro- système de plaine diversifié et productif, forêts alluviales	Lacs pour son dévelop- pement
Capacité d'adaptation à des milieux transformés	très faible en général, mais variable selon les espèces	très faible en général, mais variable selon les espèces	nul à faible	faible	faible	espèces opportu- nistes	moyenne à bonne	faible	faible	faible à moyenne	faible à moyenne

Tableau B.3-3 : Importance des déplacements de quelques groupes d'espèces de nos régions

B.4 LES INTERACTIONS ENTRE LES RESEAUX DE LA FAUNE ET DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

B.4.1 PROBLEMES DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

B.4.1.1 Aspects sécurité pour l'utilisateur

La faune représente un danger sur les routes, sur les voies ferrées et sur les aéroports. Elle ne présente par contre pas de danger sur voies navigables vu la lenteur des trafics sur celles-ci.

Les **statistiques**¹ montrent que les accidents de la circulation automobile provoqués par la faune sauvage ont représenté 2 % du nombre total d'accidents de la circulation routière en Suisse durant la période 1995-1997. Dans l'ensemble, la faune a provoqué :

- 1.98 % des accidents avec dégâts matériels seulement (\cong 1700 cas/an)
- 0.06 % des accidents avec lésions corporelles pour l'utilisateur (\cong 40 cas/an)
- 0.01 % des accidents avec suite mortelle pour l'utilisateur (< 1 cas/an)

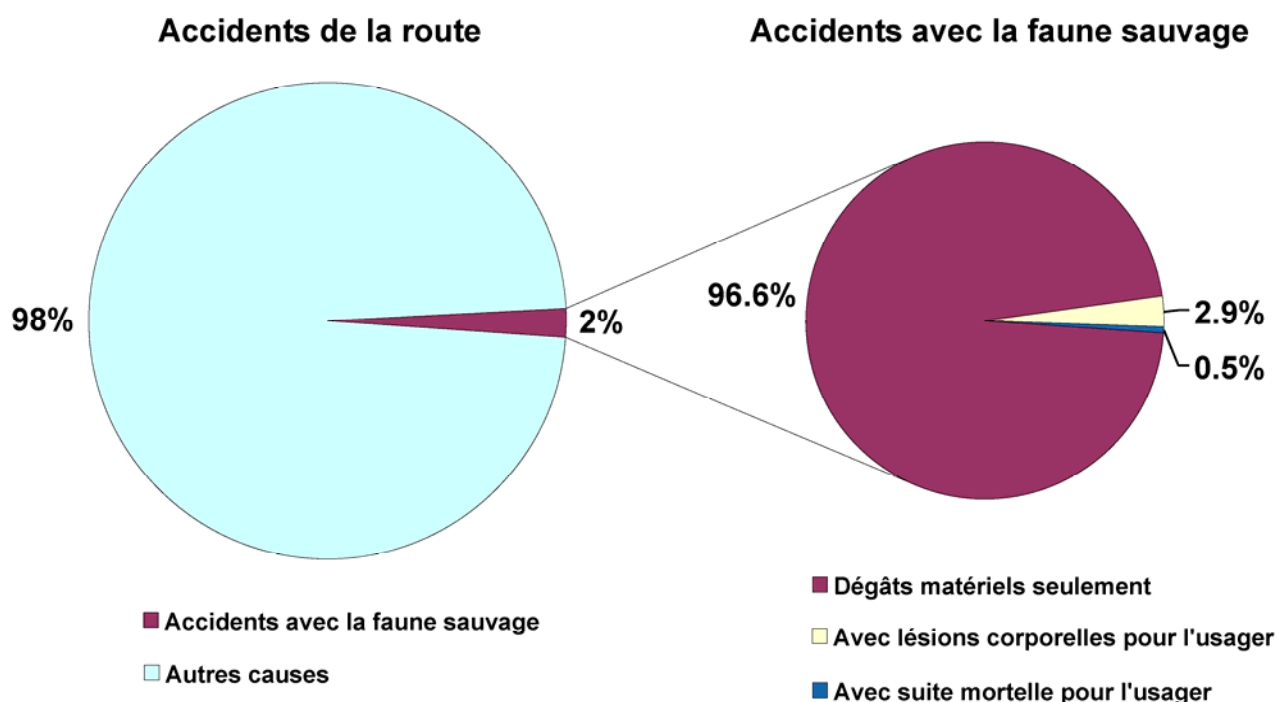


Figure B.4-1 : Proportions des accidents avec la faune ayant des conséquences pour l'utilisateur

¹ Bases : données de l'Office fédéral de la statistique (OFS) 1999

Des accidents avec la faune se produisent aussi le long des voies ferrées. Les conducteurs de locomotives doivent établir un rapport en cas de collision avec un animal. Il existe donc des données à ce sujet aux Chemins de fer fédéraux, mais elles n'ont pas fait l'objet d'une étude détaillée. La sécurité des usagers n'est pratiquement pas mise en danger dans ce type de collisions qui ne provoquent en général que des dégâts matériels.

La longueur du réseau des voies ferrées représente 7% de la longueur du réseau routier (sans le réseau privé). La comparaison entre les moyennes annuelles d'animaux tués sur ces deux réseaux entre 1990 et 1998 donne les résultats suivants¹ :

Espèces	Moyennes des animaux tués par année sur le réseau ferroviaire		Moyennes des animaux tués par année sur le réseau routier	
	nombre de cas	cas/1000 km	nombre de cas	cas/1000 km
Cerf	64	12.8	313	4.41
Chamois	16	3.20	25	0.35
Bouquetin	8	1.60	0.5	0.01
Chevreuil	506	101	7'463	105
Sanglier	16	3.20	198	2.79
Renard	469	93.8	5'275	74.3
Blaireau	144	28.8	1'635	23.0
Lièvre brun	33	6.60	700	9.86
Totaux	1'256	251	15'610	220

Tableau B.4-1 : Rapport entre les nombres d'animaux tués sur les voies ferrées et sur les routes

La densité des accidents est plus élevée sur le réseau ferroviaire que sur le réseau routier, vraisemblablement en raison de la vitesse plus élevée des trains et de leur approche plus discrète.

Les statistiques sur lesquelles se basent les données précédentes prennent en compte les accidents faisant l'objet d'un constat de gendarmerie ou d'un organe de contrôle de la chasse. Ils ne reflètent donc pas le nombre total des animaux victimes du trafic automobile, car tous les animaux accidentés ne sont pas déclarés.

Un examen détaillé des accidents de la circulation automobile et ferroviaire montre que ce ne sont pas des collisions avec la faune dont il faut s'occuper principalement dans le cadre de la sécurité des trafics.

Les collisions entre les trafics automobile et ferroviaire et la faune sauvage sont pour l'homme une cause mineure parmi toutes les causes des accidents de la circulation, sachant que les autoroutes sont clôturées et doivent continuer à l'être. Ce sont donc surtout des considérations d'éthique, de maintien de la biodiversité et de développement durable qui conduisent à prendre des mesures dans le cadre de la sécurité faune/trafics.

Malgré ce taux d'accident relativement faible, le **coût social des accidents** avec la faune sauvage n'est pas négligeable (cf Tableau B.4-2).

¹ Bases : Données de la statistique fédérale de la chasse 1998

Types d'accidents	Nombre d'accidents avec la faune sauvage par année (moyenne 95-97)	Valeur indicative pour le coût social des accidents CHF par cas	Coûts social des accidents avec la faune sauvage CHF
Avec dégâts matériels	1722	37'000	63'702'000
Avec lésions corporelles	43	80'000	3'467'000
Avec suite mortelle	0.3	1'800'000	600'000
Totaux	1765		67'769'000

Tableau B.4-2 : Coûts sociaux des accidents avec la faune sauvage en Suisse (SN 640 007)

Les collisions avec la faune se concentrent souvent en des lieux bien déterminés, appelés « **points noirs** ».

Une localisation des points noirs est nécessaire afin de réduire le nombre des collisions tant pour la sécurité de l'utilisateur que pour la protection de la faune. Ces points noirs sont de bons indicateurs de zones à problèmes pour la faune (cf chapitre D.3.1).

La désignation d'une zone dangereuse comme « point noir » ne peut pas se faire sur la base de données quantifiables et ne peut être que le fruit d'une appréciation de la situation locale¹.

De nombreuses données sur les accidents existent et sont collectées par plusieurs instances, mais il n'y a aucune systématique concernant leur forme, leur récolte, leur archivage et leur analyse. Une telle systématique faciliterait largement la localisation et l'analyse des points noirs.

Les risques liés aux **ouvrages de franchissement pour la faune** sont les mêmes que ceux inhérents à tous les ouvrages d'art et plus particulièrement à ceux de grandes dimensions (tunnels, tranchées couvertes, ponts, grands passages inférieurs), par exemple :

- risques liés au chantier : construction d'un ouvrage sur une voie de circulation en exploitation, entretien
- introduction de limitation de vitesse dans les tunnels (ralentissements)
- sécurité dans les tunnels (incendie, visibilité restreinte, absence de bande d'arrêt d'urgence, etc.)
- risque de gel plus élevé sur les ponts et les passages inférieurs
- etc.

Les passages créés pour la faune peuvent selon leur nature affecter la sécurité de l'utilisateur.

L'**avifaune** représente aussi un risque pour les trafics. Faute de données suffisantes et fiables, il peut être estimé à 5 à 10% du risque représenté par les mammifères pour les routes.

¹ La norme SN 640 691 « Protection du gibier, Projet » indique dans son chiffre 5 « Zones de danger » des valeurs pouvant aider à classer ces zones en trois catégories en fonction du danger latent.

Dans le cas du trafic aérien, les collisions entre oiseaux et avions peuvent avoir de graves conséquences (cf Tableau B.4-3). Quant il ne s'agit pas de la sécurité des passagers et de l'équipage, elles sont un manque à gagner de plusieurs centaines de millions de dollars par année pour les compagnies d'aviation.

AVIATION CIVILE		AVIATION MILITAIRE	
20'000	impacts par année	3'200	impacts par année (USAF)
1'300	moteurs endommagés perdus par année	1'500	chocs par année dans 9 armées de l'air européenne
30	accidents fatals (1912 - 1995)		
52	avions civils perdus (1912 - 1995)	168	avions militaires perdus en Europe depuis 1959
190	morts (1912 - 1995)	40	morts en Europe depuis l'année 1950
coûts : plusieurs centaines de millions de dollars par année		coûts : 115 millions de dollars par année aux USA	

Aéroport International de Genève « Prévention du péril aviaire »

Tableau B.4-3 : Importance des collisions avion/avifaune en Europe et dans le monde

Des services spécialisés dans la prévention aviaire¹ ont été mis sur pied dans les grands aéroports pour s'occuper des problèmes posés par les oiseaux. Leurs rôles sont d'une part la prévention et d'autre part la collecte des relevés d'accidents et leur traitement statistique avec pour objectif une amélioration de la prévention. Le risque d'accident majeur est d'autant plus élevé que la taille des oiseaux est grande ou que leur nombre est important. Les périodes de migration sont donc des périodes à risque, ceci d'autant plus que les oiseaux ne sont pas habitués aux conditions locales de trafic.

Les insectes peuvent également représenter un danger pour les trafics en incommodant par exemple les conducteurs.

¹ L'organisation internationale « International Bird Strike Committee (IBSC) » et en Suisse l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) traitent également de cette problématique.

B.4.1.2 Aspects économiques

Les **coûts d'une infrastructure** de transport comprennent les coûts d'investissement (construction), d'exploitation et d'entretien assumés par le Maître de l'ouvrage, ainsi que les coûts de l'usager et les coûts externes plus difficiles à quantifier et de connaître comment et par qui ils sont couverts.

Comme pour toute construction, le Maître de l'ouvrage est confronté au problème de la maîtrise des coûts de réalisation et le détenteur final à celui de la maîtrise des coûts d'exploitation et d'entretien. Or, ceux-ci ont tendance à exploser (voir ci-dessous). La prise en compte de la problématique faune est une pression supplémentaire sur la maîtrise des coûts.

COÛTS DE RÉALISATION DES INFRASTRUCTURES

En 1960, le coût du kilomètre d'autoroute avait été estimé à 2,4 millions de francs. Du début des années 60 et jusqu'à la fin des années 70, ce coût est passé à environ 20 millions de francs, pour dépasser, au milieu des années 90, la somme de 50 millions de francs. L'Office fédéral des routes (OFROU) estime que jusqu'à l'achèvement du réseau des routes nationales, le coût du kilomètre subira encore une augmentation et ira jusqu'à 76 millions de francs.

L'augmentation des coûts des autoroutes est souvent mise en relation avec le nombre croissant des ouvrages d'art réalisés sur la base de considérations environnementales. La fourchette des coûts unitaires pour les ouvrages de franchissement en Suisse va de 1'100.- à 8'600.- Frs/m² selon le niveau d'équipement et d'aménagement de ces ouvrages. Le professeur Vogel de l'Ecole polytechnique fédérale de Zürich (ETHZ) évalue le coût moyen d'un ouvrage à 2'300.- Fr./m². Un kilomètre d'autoroute avec peu d'ouvrages d'art (tunnel, pont, galerie, etc.) coûte entre 8 et 20 millions de francs, alors que le coût d'un kilomètre avec beaucoup d'ouvrages peut varier entre 20 et 150 millions de francs.

Il est difficile aujourd'hui d'estimer quelle part de l'augmentation des coûts de réalisation d'une nouvelle voie de circulation est imputable aux mesures environnementales¹ et en particulier dans le cas qui nous intéresse aux mesures prises pour la faune.

Une des difficultés provient du fait que le planificateur tient compte spontanément de nombreux aspects environnementaux dès le début du projet : zones bâties (bruit), forêt, zones naturelles, etc. Les exigences provenant de l'étude d'impact sur l'environnement ne viennent qu'en complément à ces mesures de protection déjà incorporées dans le projet. Il n'est donc pas possible de chiffrer précisément le coût des nombreuses contraintes dues à l'environnement qui sont prises en compte par un projet.

Pour les ouvrages de franchissement pour la faune, outre le coût de l'ouvrage proprement dit, il faut considérer le coût supplémentaire nécessité par l'intégration paysagère de l'ouvrage en question.

¹ Conclusion du rapport Tschopp de la commission de gestion du Conseil National

Le laps de temps très long (jusqu'à 20 ans) qui s'étend entre le début de la planification d'une route nationale et sa mise en service accroît notablement le coût de réalisation de celle-ci. A l'inverse, les standards liés à la circulation routière ont plutôt régressé (limitation de vitesse permettant une géométrie plus restrictive, restriction des emprises par réduction de la largeur de la berme centrale, etc.) et n'ont pas participé à l'augmentation des coûts.

Dans le cas des **chemins de fer fédéraux** (CFF), l'effort financier pour les projets purement environnementaux est graduellement passé de 16 millions de francs en 1986 à 142 millions en 1998. Dans les années futures, l'assainissement phonique de base coûtera 200 millions de francs en plus chaque année.

COÛTS D'ENTRETIEN COURANT (CAS DES ROUTES NATIONALES)¹

La « Figure B.4-2 » présente les coûts d'entretien de différents types de route nationale.

L'entretien d'une section de route à 4 voies à ciel ouvert coûte annuellement entre 46'000.- à 75'000.- Fr./km, à quoi vient s'ajouter une somme estimée à 80'000.- Fr. par kilomètre pour l'entretien des mesures de protection de la nature, soit un total de 126'000.- à 155'000.- Fr./km. Il faut compter environ 80'000.- Fr./km par année de supplément pour un passage supérieur large de 75 à 150 m servant au franchissement par la faune (par exemple N7 – Thurgovie, N1 – Chèvrefu etc.)

L'entretien d'une tranchée couverte de quelques centaines de mètres de long, assimilable à un pont écologique, coûte env. 250'000.- Fr./km par an, à quoi vient s'ajouter env. 40'000.- à 50'000.- Fr. pour l'entretien des mesures de protection.

Le coût de l'entretien croît encore pour les tunnels (ponts paysagers) de 1 km et plus pour atteindre 350'000.- à 370'000.- Fr. le kilomètre (coût de la ventilation); dans ce cas, le coût de l'entretien des mesures de compensation tend vers zéro.

L'entretien d'une section de route nationale peut coûter annuellement jusqu'à sept fois plus si des mesures lourdes sont prises pour la protection de la nature.

¹ Chiffres tirés du devis estimatif des coûts d'exploitation du tronçon Treytel-Areuse de la route nationale A5, Yverdon-Soleure (prix valeur 1995)

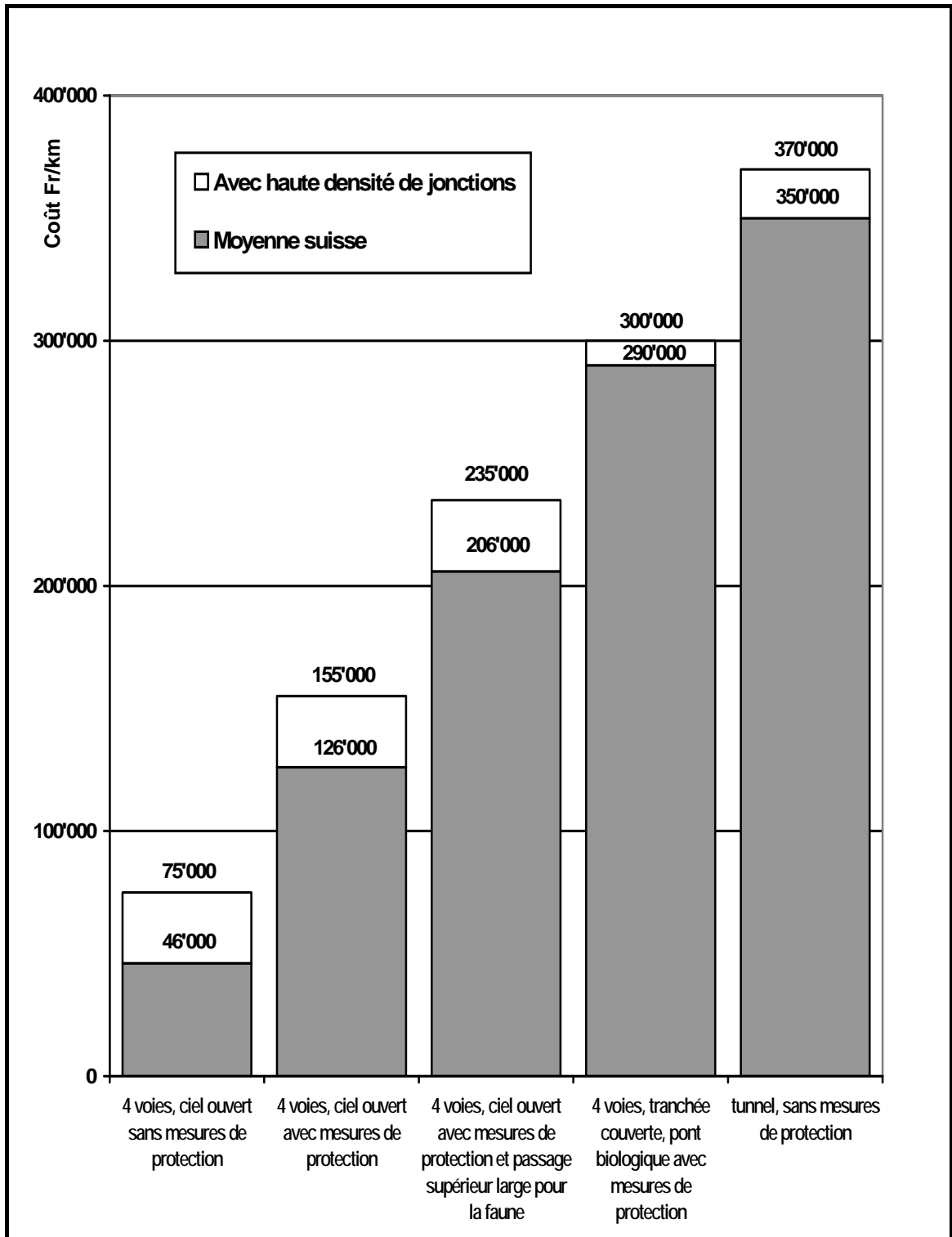


Figure B.4-2 : Coût annuel d'entretien d'un kilomètre de route nationale en Suisse

COÛTS EXTERNES

Une tentative de quantifier les **coûts externes** liés à la faune se trouve dans une étude faite à la demande du Service d'étude des transports¹. Elle additionne les coûts de la fragmentation, de la perte d'habitat et de la perte de qualité due à la présence d'une route pour obtenir des valeurs comprises entre 200'000 à 290'000 Fr./année et par km. Dans une autre recherche financée par le Fonds national, un modèle de calcul de ces coûts a été proposé².

La méthode consistant à monétariser chaque élément en vue d'une comparaison est actuellement abandonnée bien que des chercheurs ou planificateurs y fassent encore parfois référence. Ce souci de quantification part de l'idée de pouvoir attribuer à chaque acteur la responsabilité du coût qu'il a généré (exemples : le bruit, la pollution, etc.).

RATIONALISATION DES COÛTS

La meilleure **rationalisation des coûts** passe principalement par deux points :

- **Réduction de la durée des projets** : des conflits, des oppositions, des révisions générales de projet pourront être en partie évités en prenant en compte très tôt dans le projet (choix du tracé déjà) les problèmes liés à l'environnement et en favorisant la concertation avec toutes les parties concernées.
- **Mieux investir et au bon endroit** : par exemple, l'investissement dans de coûteux passages à faune de grandes dimensions et chers à entretenir peut parfois être compensé par d'autres aménagements moins coûteux et tout aussi efficaces pour la faune.

Les différentes méthodologies et recommandations présentées dans ce manuel vont dans ce sens.

¹ Externe Kosten des Verkehr im Bereich Natur und Landschaft par le bureau Ökoskop

² Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaft par le bureau Infraconsult

B.4.2 PROBLEMES DE LA FAUNE

B.4.2.1 Impacts des infrastructures de transport sur la faune

Les impacts d'une infrastructure de transport sur la faune portent atteinte à trois facteurs la concernant :

- la capacité d'accueil du milieu
- le taux de mortalité des espèces animales
- la fonctionnalité du réseau écologique

La faune terrestre, la faune aquatique et dans une moindre mesure la faune aérienne sont affectées ces les trois facteurs (capacité, mortalité, fonctionnalité), les plus visiblement touchées étant les espèces à grand territoire et dépendant de possibilités de déplacement sur de longues distances.

LA CAPACITE D'ACCUEIL DU MILIEU

La **capacité d'accueil du milieu** est affectée par une destruction directe des milieux situés dans l'emprise de l'infrastructure de transport ou par la dégradation de ses abords par des émissions sonores, visuelles et/ou polluantes. L'impact dépend surtout du choix du tracé, mais aussi des surfaces touchées et de l'importance du trafic. Il se traduit par une réduction directe de la capacité d'accueil du milieu. Son importance dépend particulièrement de la valeur et de la rareté des milieux touchés. Le problème est identifié par l'analyse des milieux affectés par le tracé de la voie de circulation.

Les éléments naturels affectés sont le paysage, la faune et flore. Les espèces les plus touchées sont celles occupant un territoire restreint ou liées à des milieux rares.

Dans le cas des autoroutes, un **modèle empirique** est couramment utilisé pour l'évaluation des impacts liés au trafic. Il définit un gradient cumulatif de nuisances à partir du bord de la chaussée :

- une zone fortement polluée, large d'environ 50 m de chaque côté de l'axe de l'infrastructure, caractérisée par un niveau de bruit élevé supérieur à 65 dB(A), des dépôts de poussière importants (environ 95 % des émissions) et des accumulations gazeuses importantes
- une zone perturbée écologiquement adjacente à la précédente, large d'environ 100 m, recevant le solde des poussières et une partie des émissions gazeuses et phoniques non négligeables.

Ce modèle est ajustable aux autres types de routes à fort trafic selon la Figure B.4-3.

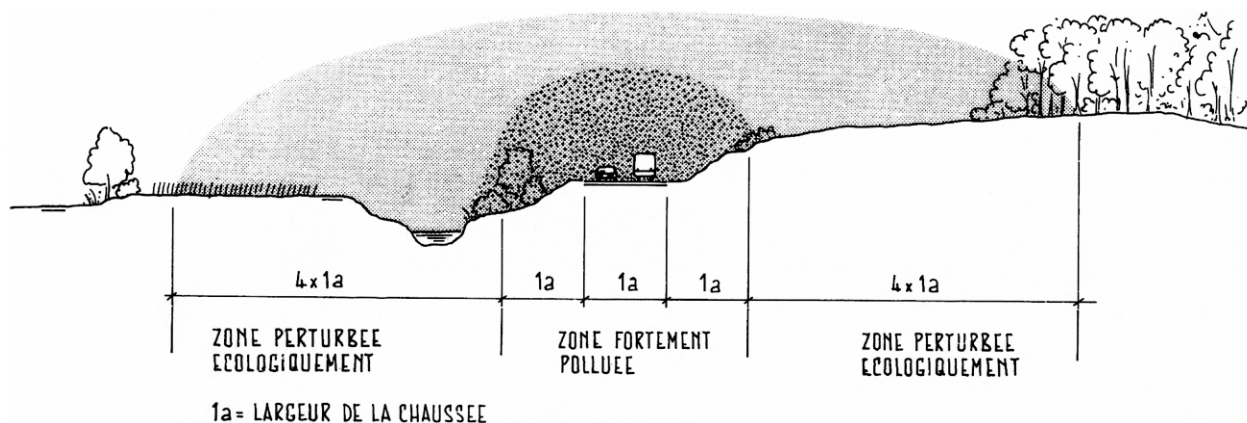


Figure B.4-3 : Répartition schématique des pollutions par le gaz, les poussières d'usure, le bruit, le mouvement et la lumière altérant la vitalité des milieux

Ce schéma standard de zonation des nuisances, applicable pour une chaussée construite au niveau du sol sur un terrain plat, doit être modifié en fonction des milieux traversés, de la pente, de la position relative sol/chaussée et des vents locaux dominants.

Dans la pratique, les zones perturbées restent paradoxalement des zones privilégiées parce qu'elles sont facilement disponibles pour la réalisation d'aménagements de mesures de revitalisation ou de compensation de milieux naturels. Ce choix n'est pas absurde car ces zones doivent être intégrées dans la restructuration de l'espace et être incluses notamment dans les réseaux écologiques locaux.

LA MORTALITE DES ESPECES

La **mortalité** accrue des espèces est causée essentiellement par traumatisme (collisions avec des véhicules ou avec l'infrastructure de transport elle-même (câbles)) et par les émissions polluantes dues au trafic. L'importance de l'impact dépend surtout du trafic et pour les mammifères de la présence ou non de clôtures. Cet impact se traduit par une réduction de capacités démographiques des espèces qui dépend particulièrement de la vitalité des populations affectées. Le problème est identifié par l'analyse de la fréquentation par la faune du tracé de la voie de circulation.

Les espèces terrestres et aériennes les plus touchées sont celles :

- peu mobiles
- fréquentant les bas cotés de la route
- à effectifs et/ou taux de reproduction faibles
- aux besoins en surface très importants (ce qui les oblige à de nombreuses traversées de routes)

Exemples : batraciens, papillons des talus, rapaces nocturnes, ongulés, lynx.

Cet aspect du problème joue un rôle particulier, car il affecte aussi la sécurité des utilisateurs des voies de circulation (cf B.4.1.1). Il est souvent résolu par la pose de clôtures, au détriment de la fonctionnalité du réseau écologique.

LA FONCTIONNALITE DU RESEAU ECOLOGIQUE

L'impact des infrastructures de transport sur la fonctionnalité du réseau écologique se traduit par un **effet-barrière** plus ou moins prononcé selon le type d'infrastructure, son trafic et la faune considérée. Plusieurs facteurs directs ou indirects peuvent intervenir :

- **Obstacle infranchissable :**

Clôtures, murs, parois antibruit sont infranchissables pour un grand nombre d'espèces, un simple trottoir ou un relèvement de chaussée peut être un obstacle pour la petite faune (batraciens, invertébrés,...); dans le cas des cours d'eau : barrages, grilles, seuils, etc.

- **Impact sur le comportement :**

Le mouvement des véhicules, le bruit, la lumière et les émissions polluantes (Figure B.4-3) ainsi que le danger qu'ils représentent, incitent un grand nombre d'espèces à ne pas traverser la voie de circulation.

- **Nature du substrat :**

Les revêtements de type artificiel, voire de type naturel sont homogènes et dénués de végétation contrairement au terrain naturel. La nature des chaussées peut être ainsi hostile à certains groupes d'espèce, notamment à la majorité des invertébrés. Pour les cours d'eau stabilisés (béton par exemple), le manque de végétation, l'irrégularité du lit sont défavorables à une très large partie de la faune benthique (vitesse du courant souvent élevée, faible profondeur, absence de remous et de zones calmes, de refuges, de nourriture, etc.).

- **Microclimat :**

Les voies de circulation (accotements compris) changent les paramètres microclimatiques qui règnent dans les milieux naturels ou cultivés qu'elles traversent. Le microclimat, en particulier d'une route à grand gabarit, peut avoir un effet décroissant se propageant jusqu'à plus de 30 mètres de chaque côté du bord de la chaussée. Plus spécifiquement, il se traduit globalement de la façon suivante pour les infrastructures routières (Figure B.4-4) : augmentation de l'insolation, de la température de surface, de la vitesse du vent et de l'évaporation (en corollaire, l'humidité relative de l'air décroît). Ces conditions, plus rigoureuses voire extrêmes par rapport à celles des milieux traversés, repoussent une large majorité d'invertébrés.

- **Changement de la structure végétale du milieu :**

La structure végétale des accotements et autres dépendances vertes des infrastructures de transport peuvent être inappropriées à la faune. Le manque de couverts ou un milieu défavorable peuvent conduire à ce que certaines espèces (invertébrés, écureuils, etc.) renoncent à les traverser.

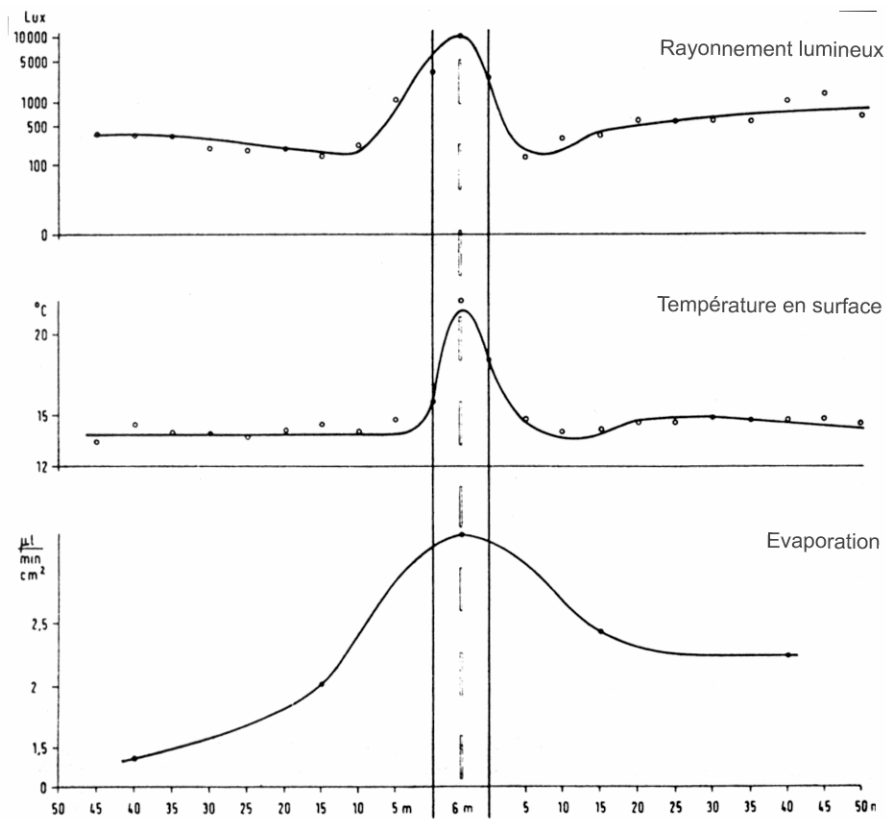


Figure B.4-4 : Microclimat provoqué par une route d'après MADER (1979)

L'effet-barrière comprend deux sous-effets (Figure B.4-5) :

- L'effet de **dérivation** qui incite les animaux à contourner un obstacle en se détournant de leur direction initiale. Le cerf, le sanglier et la plupart des carnivores par exemple sont capables de se déplacer sur plusieurs kilomètres pour trouver un point de franchissement possible.
- L'effet d'**inhibition** qui concerne les animaux confrontés à un obstacle important ou à des perturbations majeures et qui abandonnent rapidement leur direction de cheminement en faisant demi-tour. Cette réaction est caractéristique d'une majorité d'invertébrés, des batraciens et des reptiles, par exemple.

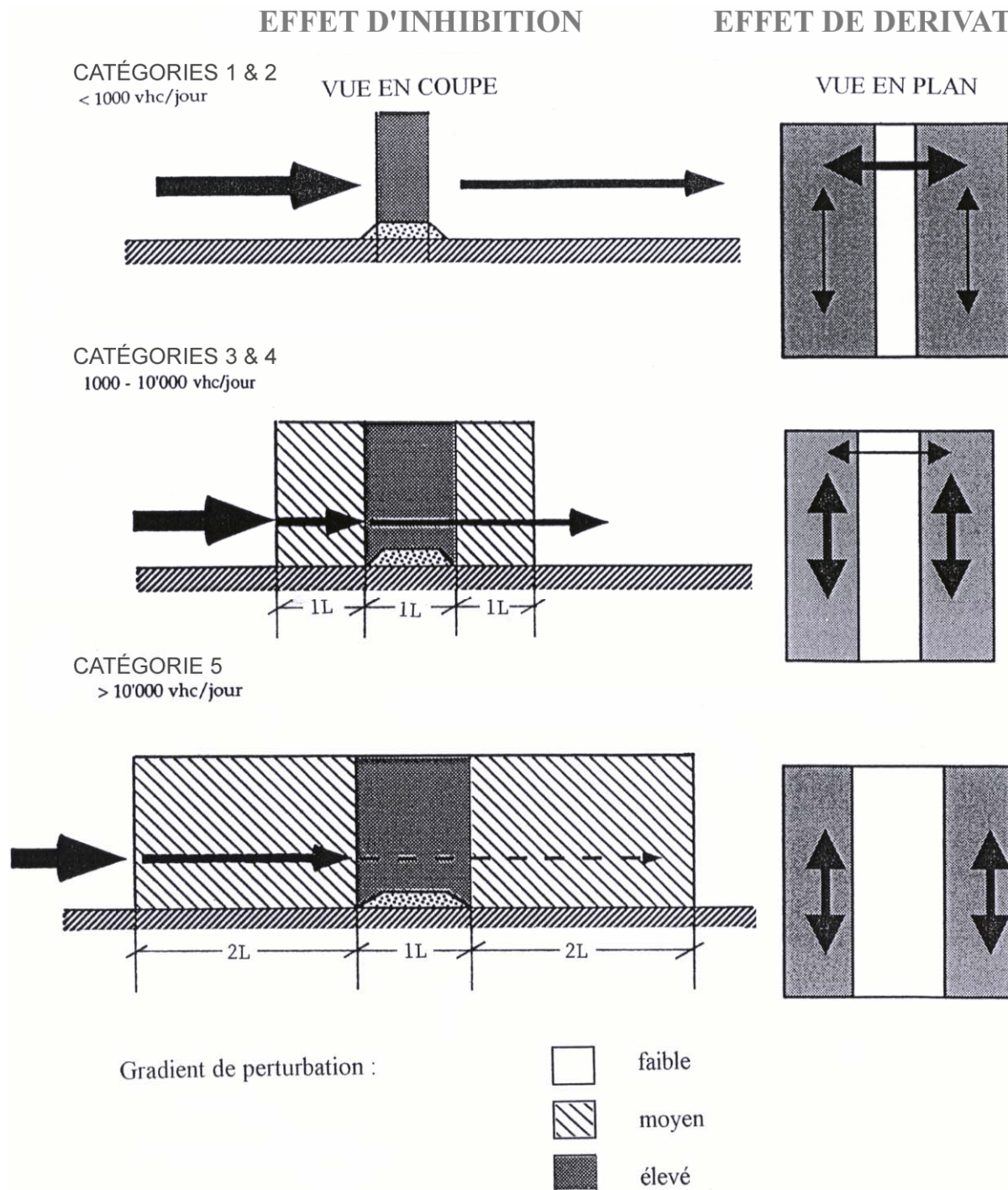


Figure B.4-5 : Effets schématisés d'inhibition et de dérivation

Les **voies de circulation** peuvent être regroupées dans 5 grandes catégories¹ selon un effet-barrière progressif et selon leurs effets sur les échanges biologiques observés :

- **Catégorie 1**

Dessertes agricoles, forestières, routes communales à trafic faible la journée et occasionnel la nuit.

Effet restreint aux déplacements locaux de la petite faune du sol et notamment des invertébrés et des micromammifères qui ne peuvent pas franchir un espace découvert.

- **Catégorie 2**

Routes cantonales à faible trafic, inférieur à 1'000 vhc/jour.

Effet maximal de prédation sur l'ensemble de la faune. Les animaux sont tués au hasard par les véhicules. Le prélèvement est proportionnel au trafic.

- **Catégorie 3**

Routes cantonales à trafic moyen, compris entre 1'000 et 5'000 vhc/jour, voies ferrées non clôturées, rivières de largeur inférieure à 10 m.

Effet sélectif sur les animaux percevant partiellement le danger. Les tentatives de traversées ne sont plus proportionnelles au trafic.

- **Catégorie 4**

Routes cantonales à trafic élevé, compris entre 5'000 et 10'000 vhc/jour, voies ferrées doubles ou triples non clôturées, rivières de largeur supérieure à 10 m.

Grande appréhension du danger, refus de traverser important, pertes limitées.

- **Catégorie 5**

Routes cantonales à trafic très élevé, supérieur à 10'000 vhc/jour et autoroutes clôturées, voies ferrées clôturées, canaux à berges renforcées (béton, perré, palplanches).

Effet-barrière pratiquement absolu. Seuls des animaux paniqués ou stressés tentent des traversées.

L'effet-barrière s'exprime par la combinaison du nombre de tentatives de traversées, du nombre d'animaux tués et de la répulsion exercée sur la faune par le trafic routier.

L'effet-barrière pour la plupart les mammifères devient déterminant lorsque le trafic dépasse 2000 à 5000 véhicules/jour.

¹ Les catégories 2 à 4 se basent de la fréquence des accidents avec la faune en fonction du trafic selon BURNAND (1985).

B.4.2.2 Fragmentation et perméabilité

La **fragmentation du paysage** est issue de la combinaison des atteintes aux trois facteurs décrits précédemment (cf chapitre B.4.2.1). Elle résulte des discontinuités du paysage et des réseaux écologiques existants dues à l'apparition d'obstacles ou à des destructions de milieux qui empêchent ou limitent les flux relationnels entre ou dans les écosystèmes.

Ces perturbations sont plus ou moins marquées selon qu'elles agissent séparément ou simultanément sur la qualité, la capacité ou le fonctionnement des milieux. La dégradation de la diversité biologique et paysagère dépend en grande partie de la destruction des milieux servant de refuge ou au transit des espèces.

Le morcellement du paysage par les infrastructures de transport augmente considérablement la perte d'espaces peu perturbés restreignant ainsi les zones de calme (Figure B.4-6).

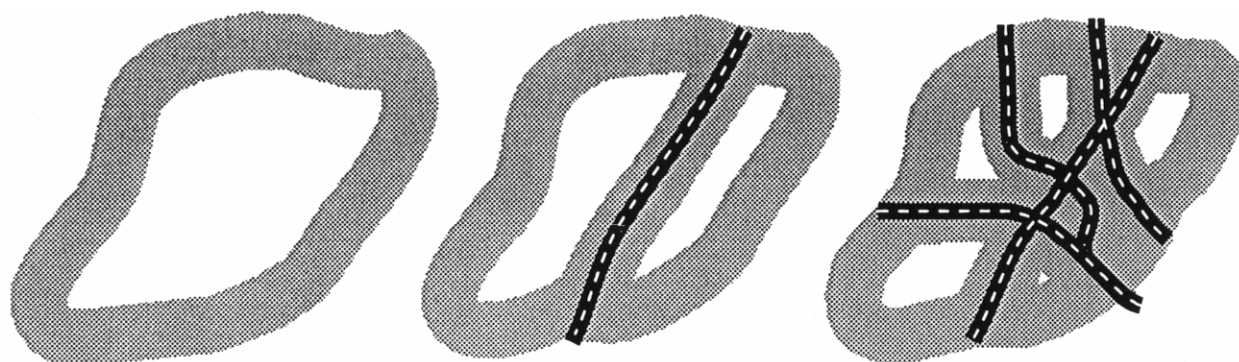


Figure B.4-6 : Le morcellement du paysage par les infrastructures de transport d'après MADER (1984).

Les problèmes de migration des espèces, de survie des petites populations, les risques de proliférations locales et les risques de dérive génétique ont montré la nécessité pour la faune de disposer d'un **réseau écologique fonctionnel** au sein des paysages fragmentés. Ces menaces ne sont toutefois souvent pas établies dans des cas concrets, faute d'investigations ou de recul.

La nécessité de garder des échanges entre les populations animales n'est pas contestée du point de vue biologique, mais l'importance de cette nécessité reste à préciser de cas en cas.

La complexité des enjeux (nombre d'espèces concernées, multiplicité des facteurs) et l'absence de connaissances et de recul pour définir le taux de fonctionnalité requis et les manières de l'obtenir conduisent à une approche souvent empirique de la question.

L'analyse de la fragmentation du paysage est inséparable de celle des réseaux écologiques et comprend les deux points suivants :

- Définir les seuils à partir desquels les effets de la fragmentation du paysage menacent l'existence des réseaux écologiques.
- Comprendre où et comment mettre en œuvre les moyens nécessaires à la reconstitution des éléments manquants ou défectueux des réseaux écologiques.

L'effet-barrière doit être relativisé. La **perméabilité** d'une voie de circulation, qui est sa capacité à permettre à la faune de la traverser, n'est jamais nulle sur l'ensemble d'un tracé, compte tenu des caractéristiques de celui-ci (perméabilité de base).

La perméabilité dépend d'une multitude de facteurs comme par exemple le volume de trafic et sa répartition dans le temps, la topographie des lieux et les obstacles aux abords de celle-ci tels que clôtures, glissières ou murs de soutènement. Elle dépend également de la faune considérée dans la région traversée par la voie de circulation.

Les ouvrages d'art (ponts, tunnels, passages inférieurs ou supérieurs, coulisses hydrauliques etc.), un trafic à fortes variations présentant des périodes creuses (trafic saisonnier, trafic nocturne) sont des exemples de possibilités de franchissement pour la faune.

La perméabilité de base des réseaux d'infrastructure de transport doit être prise en compte lors de la recherche de solution à la défragmentation du paysage.

B.4.2.3 Faune concernée par la problématique

La problématique de la fragmentation, décomposée selon les trois facteurs de capacité d'accueil du milieu, de taux de mortalité et de fonctionnalité du réseau écologique décrits au chapitre B.4.2.1, concerne a priori **toutes les espèces animales sauvages**.

Si elle est évidente pour les mammifères, les batraciens et les reptiles, elle l'est moins pour les invertébrés, les oiseaux (ou plus généralement la faune aérienne), la faune aquatique. Quelques précisions sont apportées ci-après.

INVERTEBRES

Les **invertébrés** subissent les impacts de la fragmentation à beaucoup plus petite échelle que les grands mammifères et les notions de migration et de déplacements, qui leur sont appliquées, sont quelque peu différentes.

En effet, les véritables migrations d'invertébrés en général et d'insectes en particulier - définies comme des déplacements actifs de nombreux individus de la même espèce selon un axe précis vers une destination donnée - sont limitées dans notre pays à quelques groupes tels que les Diptères et les Lépidoptères. En revanche, les invertébrés utilisent différents modes de déplacement, actifs ou passifs, à plus ou moins longue distance, ou de simples changements de lieux. Mais, dans la problématique « faune – trafics », les seuls mouvements d'invertébrés qu'il convient de prendre en considération sont les déplacements actifs entre habitats (déplacements journaliers, saisonniers ou annuels). Dans certaines situations, les infrastructures de transport sont largement responsables des ruptures des possibilités locales ou régionales de déplacement des invertébrés entre plusieurs habitats utilisés à des fins diverses : sites de rencontre des sexes et de reproduction, sites de nourrissage, sites de repos et de refuge, et sites de dispersion et d'extension des populations. De fait, les ruptures des échanges entre les habitats à fonctions multiples peuvent avoir des conséquences plus ou moins profondes sur la survie à terme de certaines espèces.

La plupart des invertébrés terrestres (mollusques, arthropodes dont les araignées, les insectes aptères (dépourvus d'ailes) sont très sensibles à l'effet de coupure généré par un chemin empierré, une petite route goudronnée. Pour ces animaux, l'ensemble des voiries locales représente des obstacles peu ou pas franchissables. En Europe de l'ouest, le niveau actuel de fragmentation de l'espace pour ces petites espèces est considérable. Les problématiques de conservation de ces organismes se situent à une échelle particulièrement fine de l'aménagement du territoire et concernent un nombre très élevé d'espèces (des milliers). Ainsi, l'approche de la fragmentation de l'espace à l'échelle des grandes infrastructures de transport est mal adaptée pour appréhender les effets de coupures qui affectent les invertébrés terrestres. Il est néanmoins possible et nécessaire d'améliorer certains ouvrages de franchissement pour tenir compte de cette faune aux exigences hautement spécialisées.

Au contraire des vertébrés, la capacité d'adaptation des invertébrés à la transformation de certains aspects de leur environnement est faible, voire inexistante (comportement rigide). Chez les invertébrés, il est délicat de prédire le comportement des individus et a fortiori des populations et des peuplements. En outre, les connaissances à ce propos sont très réduites. Il convient donc de prendre des mesures préventives :

- au niveau de l'aménagement du territoire (conservation des milieux et habitats existants ; création et revitalisation de milieux et habitats),
- par le maintien de possibilités d'échange (conservation des réseaux entre milieux et habitats ; assurance du franchissement ou du contournement des obstacles physiques).

FAUNE AERIENNE

La problématique de la **faune aérienne** est abordée généralement avec les oiseaux. Cependant de nombreux insectes, les araignées se déplaçant par des fils aériens emportés par le vent ou les chauves-souris peuvent être traités par analogie avec les oiseaux.

La majorité des oiseaux sont capables de voler. Les voies de circulation ne constituent donc pas en général d'obstacles infranchissables pour eux. Néanmoins, la problématique faune-trafic est bien réelle et prend les aspects suivants pour l'avifaune :

- La **perte d'habitat** ne se limite pas aux surfaces situées dans l'emprise de la voie de circulation, mais s'étend aussi sur une zone variable non négligeable pour certaines espèces, du fait du dérangement induit par la route.
- Les voies de circulation augmentent fortement le **risque de mortalité dû à des collisions**. Les risques de collisions entre les oiseaux et les véhicules augmentent avec la vitesse de ces derniers. Les facteurs suivants influencent la mortalité :
 - la hauteur de la végétation dont émergent les oiseaux par rapport à celle de la voie de circulation (plus elle est haute, plus il y a de chance pour que les oiseaux passent par-dessus les véhicules),
 - la présence de facteurs attractifs sur les bas-côtés des voies de circulation (en particulier nourriture: bernes herbeuses riches en micromammifères, attractives pour les rapaces ; arbustes à baies pour les passereaux frugivores comme les merles),
 - la présence d'obstacles transparents (en particulier de murs antibruit ou de parapets de ponts vitrés) qui fonctionnent comme des pièges mortels pour les oiseaux stressés ou peu attentifs.

- La voie de circulation constitue une **interruption du réseau écologique**. Comme le reste de la faune, de nombreux oiseaux ne se déplacent pas au hasard mais suivent le réseau écologique dans leurs déplacements. Il s'agit en particulier des passereaux qui suivent les structures boisées (forêts, lisières, haies) et des oiseaux aquatiques qui longent les cours d'eaux. Aux intersections avec les voies de circulation, les oiseaux peuvent être désorientés et éventuellement rebrousser chemin (ce qui a pour effet de limiter les échanges entre les secteurs séparés par les voies de circulation), ou essayer de franchir l'obstacle en traversant par-dessus les voies de circulation, d'où risque de collisions.

FAUNE AQUATIQUE ET AMPHIBIE

Les voies de circulation qui traversent les cours d'eau les restituent en principe, mais il se peut que ceux-ci soient dégradés :

- sur l'intersection avec la voie de circulation, le réaménagement du cours d'eau impliquant des modifications importantes de son lit (substrat, géométrie, couverture, état des berges, etc.),
- à l'aval de la voie de circulation, la restitution des eaux de ruissellement de la voie de circulation pouvant modifier sensiblement son hydrologie (importance des crues, charriage) et la qualité de l'eau (hydrocarbures, sels, etc).

La conjugaison de ces impacts peut rendre une partie du cours impropre à l'habitat, du moins pour des fonctions spécialisées (par exemple destruction de frayères de truites), ou infranchissables (interruption de possibilité de migration le long du cours d'eau).

Si la législation impose le principe du maintien de la libre circulation des poissons, celle-ci est en pratique difficile à assurer pour toutes les espèces concernées. La faune liée aux cours d'eau comprend non seulement les poissons, mais aussi de nombreux invertébrés et la faune amphibie.

La **faune amphibie** comprend un ensemble d'espèces fortement liées au cours d'eau pour la réalisation d'une partie de leurs cycles vitaux.

Les espèces concernées sont principalement :

- les mammifères comme le castor, les musaraignes aquatiques, la loutre et le putois,
- les oiseaux liés aux rivières telles que le cincle, le martin-pêcheur, les bergeronnettes, le harle bièvre et d'autres canards, plus rarement le chevalier guignette ou le petit gravelot,
- les amphibiens et certains reptiles comme les couleuvres aquatiques.

Elles sont en général particulièrement sensibles à l'état des berges des cours d'eau. Celles-ci font partie du réseau écologique et ne sont pas toujours reconstituée dans les ouvrages de franchissement construit pour les voies de circulation. Les animaux auront donc tendance à, soit rebrousser chemin, soit traverser la voie de circulation avec tous les risques de collision que cela représente (cf chapitre B.4.2.1).

B.4.3 ASPECTS AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

L'aménagement du territoire joue un grand rôle dans la problématique faune-trafics et dans celle de la fragmentation du paysage. Il doit tenir compte du développement de la société en y intégrant la protection de l'environnement au sens large.

La fragmentation du paysage est aussi le fruit du **développement de l'urbanisation** dû à la croissance de la population, à l'élévation du niveau de vie et au développement économique et industriel.

La construction d'une infrastructure de transport entraîne des modifications profondes et définitives dans **l'utilisation de l'espace**. Les travaux de construction nécessitent en effet une réorganisation générale du parcellaire, des réseaux locaux d'infrastructures et des structures paysagères.

Les atteintes au paysage consistent notamment en :

- pertes de surfaces exploitables compensées en partie par des remaniements parcellaires et des corrections des réseaux locaux des dessertes agricoles et forestières,
- modifications d'écoulements hydriques, superficiels ou souterrains par l'adjonction de nouveaux réseaux de dérivation,
- aménagements de nouveaux espaces verts le long des chaussées pour des motifs d'intégration paysagère ou dans des buts écologiques (compensation des milieux détruits).

Une infrastructure de transport génère la création de **nouveaux pôles de développement** industriels et l'extension de zones d'urbanisation lors de sa mise en service : afflux d'activités nouvelles par attraction (zones d'habitations, zones industrielles, zones commerciales se développant à proximité des jonctions autoroutières) et par répulsion (zones de dépôts, parcage d'engins, activités bruyantes indésirables). Il en résulte une transformation profonde des paysages qui est difficile à appréhender.

Les **transformations du paysage** dues à la modification de l'aménagement du territoire à long terme doivent être anticipées tant par l'ingénieur projeteur que par le biologiste lors de l'élaboration d'un plan de mesures de protection faune/trafics.

L'aménagement du territoire doit intégrer les mesures de protection de l'environnement (faune, bruit, etc.) et les réseaux et milieux écologiques en plus des voies de communication et des zones urbanisées (cf exemple Figure B.4-7). Ceci devrait permettre une meilleure stratégie de protection de l'environnement à long terme et **une gestion globale du territoire**.

La Conception Paysage Suisse (CPS) fournit aujourd'hui déjà plusieurs pistes allant dans le sens d'un rapprochement de l'aménagement du territoire et de la protection du paysage.

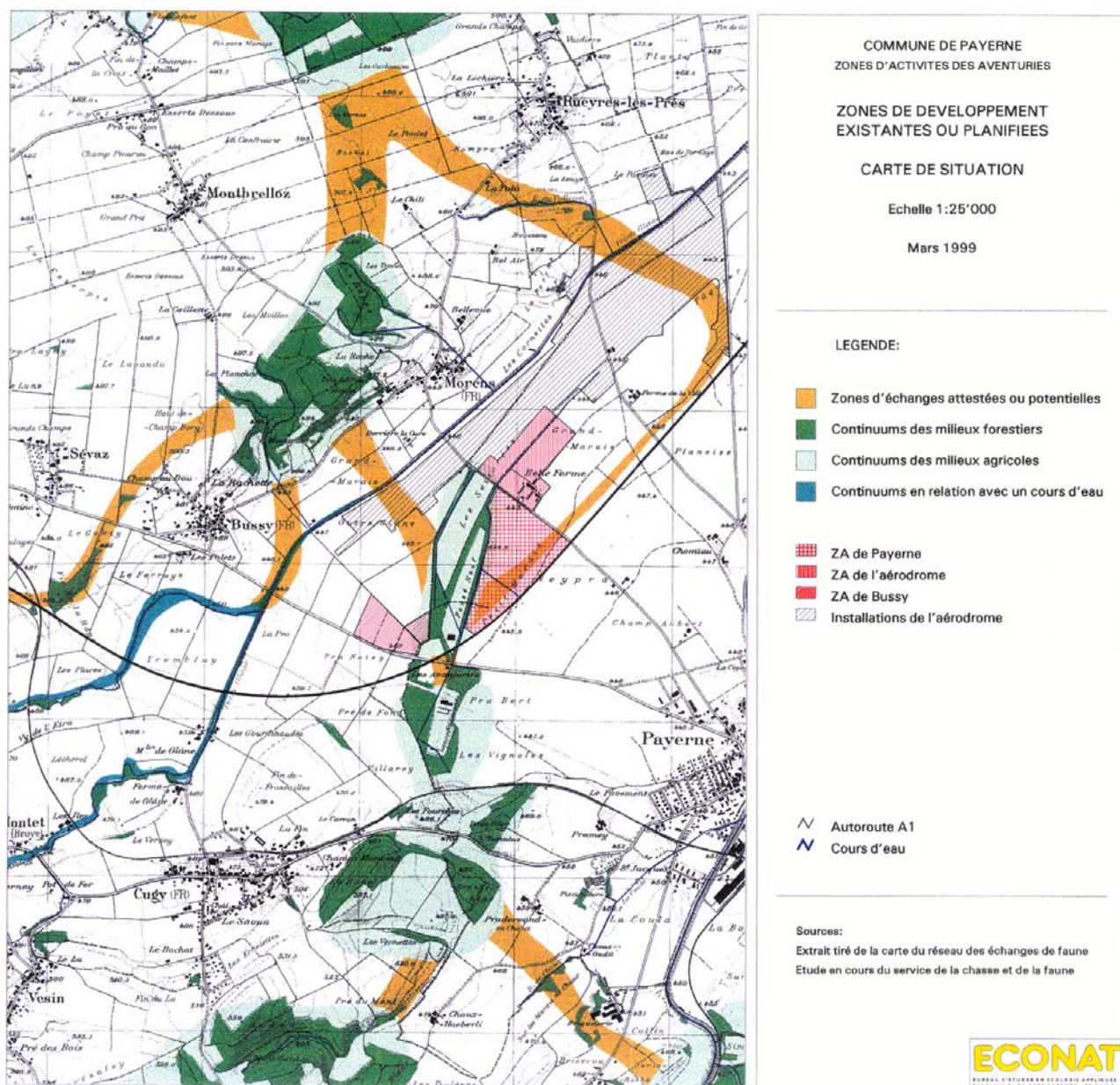


Figure B.4-7 : Exemple d'éléments de réseau écologique régional inclus dans un plan de « Concept paysager d'ensemble ». Cas des Avanturies, commune de Payerne

PARTIE C

MÉTHODOLOGIES POUR LES INTERVENANTS

C.1 LES INTERVENANTS ET LEURS ROLES

C.1.1 LES INTERVENANTS

- **Les mandants**

Toute collectivité publique, organisation ou société privée peut endosser le rôle de mandant. Ces personnes morales disposent de leurs propres bases juridiques et statutaires.

Le mandant, appelé le **Maître d'ouvrage** (MO), est le promoteur du projet. Propriétaire du futur ouvrage. Il a la responsabilité de son financement et de l'organisation du projet. Certains projets font intervenir plusieurs Maîtres d'ouvrage, comme par exemple lors du cas d'infrastructures jumelées rail-route. L'un d'eux est alors désigné comme représentant vis-à-vis des tiers. Il coordonne les objectifs des autres Maîtres d'ouvrage. Au sens de l'Ordonnance relative à l'étude de l'impact sur l'environnement (OEIE), le Maître d'ouvrage est le requérant.

- **Les mandataires**

Dans le cadre des constructions publiques, les relations contractuelles mettent en présence des intervenants d'horizons divers aux intérêts parfois contradictoires qu'il s'agit de concilier. C'est la raison pour laquelle ont été élaborés des contrats types qui décrivent sans équivoque possible les conditions de collaboration et les compétences de chacun :

- Le **maître d'œuvre** est un spécialiste de la construction et de la gestion, mandaté par le Maître d'ouvrage. Conseiller principal, coordonnant l'ensemble des activités, il est parfois considéré comme le mandataire principal ou l'auteur du projet.
- Les **mandataires spécialisés** sont appelés par le maître d'œuvre pour l'exécution de tâches spécifiques. Dans la suite de ce chapitre, il sera question du mandataire spécialisé faune.
- Les **entreprises** réalisent l'ouvrage ou partie de celui-ci et sont mandatées à cet effet sur la base de contrats comprenant des cahiers des charges établis par le maître d'œuvre, dont elles dépendent légalement et financièrement.

- **Les autres intervenants**

D'autres instances peuvent intervenir et influencer le projet, soit :

- **instance de subventionnement** (exemple : l'Office fédéral des routes (OFROU) pour ce qui touche aux routes principales),
- **instance d'approbation** (exemple : l'Office fédéral des transports (OFT) pour ce qui est régi par la loi fédérale sur les chemins de fer),
- **instance de décision** ou autorité compétente, au sens de l'ordonnance sur les études d'impact ; elle peut se reposer à son tour sur un service spécialisé qui joue le rôle d'organe de **coordination** entre les divers services de l'état (exemples : Conseil d'Etat et service cantonal de la protection de l'environnement),
- **organe de contrôle financier** surtout en phase de réalisation (exemple : l'organe de surveillance du Département Fédéral des Finances),
- **organe habilité à faire recours** selon l'OEIE (liste figurant dans l'ordonnance),
- **instance judiciaire** (Tribunal administratif, Tribunal fédéral),
- **organe de gestion** qui va surveiller, entretenir et maintenir l'ouvrage (Service d'entretien),
- sans oublier les **groupes de pression** (Organisations non gouvernementales (ONG), associations de quartier, de riverains, etc.), les usagers et le public.

C.1.2 LES COMPETENCES

Les **compétences** sont fixées par un certain nombre de lois, ordonnances et procédures, comme :

- loi sur les routes nationales, sur les chemins de fer
- loi sur la protection de l'environnement
- ordonnance sur les routes nationales
- ordonnance sur les études d'impact
- procédure d'approbation des plans ferroviaires
- demande de défrichement
- loi sur la coordination et la simplification des procédures d'approbation des plans
- etc.

Ces lois et ordonnances fédérales se doublent à leur tour d'une série de lois d'application cantonales.

Il importe pour le Maître d'ouvrage et l'auteur du projet de bien connaître ces lois et ces procédures, de savoir les appliquer et d'effectuer correctement la pesée des intérêts en présence.

C.1.3 APPLICATION CONCRETE A LA PROBLEMATIQUE FAUNE/TRAFICS

A chaque stade du projet selon le chapitre C3 (voir plus loin), il importe :

- ❶ de définir les intervenants et leur rôle en fonction des problème à résoudre,
- ❷ de les identifier nommément,
- ❸ d'établir la matrice des compétences selon le modèle ci-après (c.f. Tableau C.1-1).
- ❹ d'identifier à quelle loi et à quelle procédure obéit l'approbation du projet.


INTERVENANTS / FONCTIONS	NOMS	TACHES
Phase 1 - Approbation du projet d'infrastructure		
Maitre d'ouvrage	Etablit
Services spécialisés	Contrôlent et préavisent
Organe de coordination	Coordonne et fait la synthèse des préavis
Autorité compétente	Décide
Organe d'approbation de subvention	Approuve et garantit le paiement
Organe habilité à faire recours	Recourt
Organe de recours	Juge
Phase 2 - Elaboration du projet de mesures de protection pour la faune		
Mandataire spécialisé faune	Collabore
Auteur du projet infrastructure	Etablit
Organes du Maitre d'ouvrage	Contrôlent et  visent
Maitre d'ouvrage	Décide
Phase 3 - Exécution du projet de mesures de protection pour la faune		
Mandataire spécialisé faune	Collabore
Auteur du projet infrastructure	Etablit
Entreprise	Exécute
Direction des travaux	Dirige / contrôle
Organe chargé du suivi environnemental	Contrôle
Maitre d'ouvrage	Décide / paie
Phase 4 - Gestion des mesures de protection pour la faune		
Mandataire spécialisé faune	Collabore
Auteur du projet infrastructure	Etablit un plan de gestion
Maitre d'ouvrage	Décide
Service ou mandataire spécialisé	Contrôle l'efficacité de l'ouvrage
Organe du Maitre d'ouvrage	Gère l'ouvrage
Organe d'approbation et de subventionnement	Approuve / garantit le paiement

Tableau C.1-1 : Matrice des compétences des principaux intervenants au projet, cas spécifique de la problématique faune/trafic

C.2 INTERDISCIPLINARITE ET METHODE DE TRAVAIL

Il est nécessaire de procéder à une **approche interdisciplinaire** des problèmes à résoudre, dans tous les travaux concernant la problématique faune/trafics, comme du reste pour toutes les interactions d'un projet d'infrastructures de transport avec l'environnement.

L'élaboration de solutions à la problématique faune/trafics passe par une analyse interdisciplinaire de ces problèmes. Cette analyse doit débiter le plus tôt possible dans le déroulement du projet.

En effet, la courbe théorique de l'évolution du potentiel d'amélioration d'un projet dans le temps montre que l'essentiel de ce potentiel se trouve dans les phases préliminaires, soit lors de l'établissement de l'avant-projet (par exemple : possibilité d'agir sur le tracé et le profil en long).

Cette approche interdisciplinaire passe ainsi par la formation d'un groupe d'études, formé de spécialistes des infrastructures et de la faune.

Pour le **choix du spécialiste faune**, plusieurs cas peuvent se présenter au Maître d'ouvrage suivant l'importance du projet : soit il dispose d'un écologue dans sa propre organisation de conduite de projet, soit il recourt aux services spécialisés de l'administration (par exemple : le service cantonal de la faune), soit il mandate un écologue (indépendant ou bureau privé). Ce choix peut varier selon la phase du projet concernée.

Le groupe d'études composé, l'étape suivante va consister à définir une **méthode de travail** tenant compte des points suivants :

- définition de **termes utilisés** dans les deux professions et de termes communs,
- définition du **mode d'échanges d'informations** (transfert des informations, banque de données) ; vérification de la validité des informations,
- **programme de travail** en mettant l'accent sur la différence entre les tâches individuelles et celles du groupe et sur l'importance du travail selon les phases du projet,
- **partage des responsabilités** entre ingénieurs et écologues,
- définition des **interfaces**,
- **élaboration itérative** des projets,
- **méthodes d'analyses** de situation servant à définir les contraintes spécifiques du projet et celles dues à la faune, pondération de toutes les contraintes les unes par rapport aux autres exigences environnementales et mise en évidence des blocages possibles,
- **relations** entre le groupe d'études et le Maître de l'ouvrage d'une part et avec les autres intervenants définis au chapitre précédent d'autre part (stratégie de communication, concertations, dialogue).

Il est important que l'ingénieur responsable d'un projet ait des notions dans le domaine de l'environnement et que le mandataire faune connaisse les principales contraintes techniques des projets de voie de circulation. L'un ne doit toutefois pas se substituer à l'autre.

C.3 DEROULEMENT DU PROJET

C.3.1 DEMARCHES

Il ressort des enquêtes menées que :

Les procédures de mise en consultation et d'approbation des projets donnent aujourd'hui entière satisfaction, mais le processus de travail interdisciplinaire régissant les relations entre le Maître de l'ouvrage et ses mandataires reste souvent inapproprié par manque de clairvoyance sur l'ampleur des problèmes environnementaux, dont ceux de la faune

En effet, si les procédures administratives fonctionnent, les risques de blocage des projets sont eux partiellement reportés sur la qualité des dossiers et sur la faisabilité des solutions proposées.

Il est donc préférable pour un Maître d'ouvrage d'anticiper les démarches du diagnostic environnemental afin de pouvoir :

- éviter les problèmes majeurs qui pourraient remettre en question ou modifier significativement le projet,
- définir précocement les enjeux techniques permettant de résoudre les problèmes environnementaux et, par conséquent, définir les coûts qui en résulteront.

Les propositions de **processus de travail interdisciplinaire** qui suivent se calquent sur le déroulement du projet tel qu'il est décrit dans la **norme SN 640 026** « Elaboration de projets / étapes de projet » en y intégrant les études spécifiques liées à la faune et aux autres contraintes environnementales (Tableau C.3-1).

	Etapes de projet	Normes de projets	Procédures environnementales	Processus proposés
Elaboration du projet = Norme VSS 640 026 	Etude de planification	SN 640 027	EIE-phase 1	Flux FT 1
	Avant-projet	SN 640 011 (en projet)	EIE-phase 2	Flux FT 2
	Projet définitif	SN 640 012 (en projet)	EIE-phase 3	Flux FT 3
	Appel d'offres	} SN 640 013 (en projet) }	} Travail de la commission d'experts VSS 6.04 }	Flux FT 4
	Exécution / direction des travaux			
	Mise en service			
		Accompagnement environnemental du projet 		

Dossier d'achèvement			
Entretien / surveillance	Normes spécifiques	Suivi d'efficacité	Flux FT 5

Tableau C.3-1 : Déroulement du projet selon la norme SN 640 026

La "Figure C.3-1" et la "Figure C.3-2" extraites de la norme SN 640 026, rappellent quels sont les étapes, les objectifs et les intervenants à chaque phase du projet, puis sont décrites les prestations propres à fournir lors de chaque phase. Un diagramme de flux spécifique aux interactions faune/trafics est donné pour chaque phase. Les tâches spécifiques nécessitées sur la faune peuvent être ainsi en tout temps connectées à celles, plus générales, du projet et pondérées quant à leurs importances respectives.

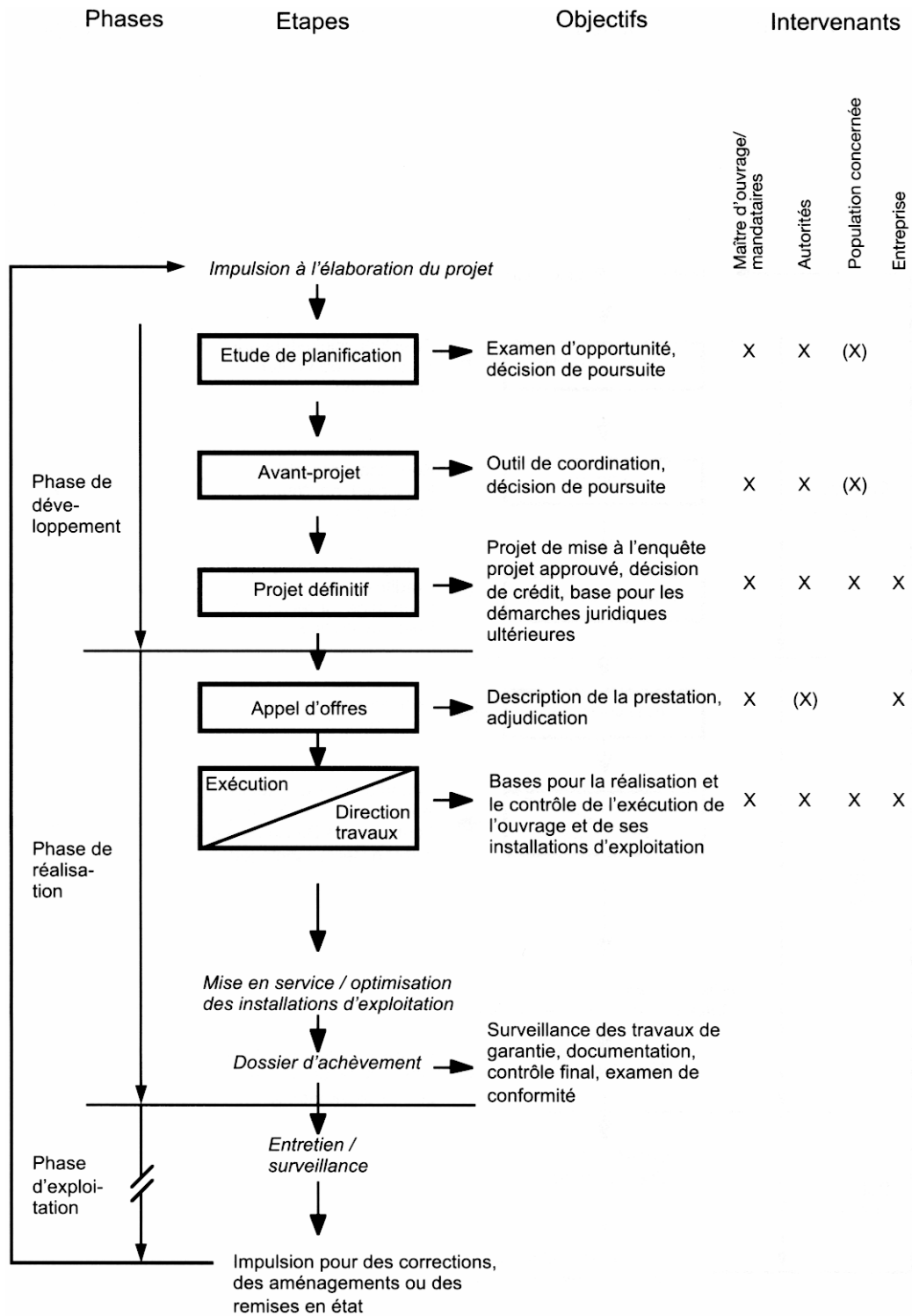



Figure C.3-1 : Norme SN 640 026 « Etape de projet »

Contenu Etape de projet	Objectifs	Bases	Prestations
Etude de planification	<ul style="list-style-type: none"> - Examen de l'opportunité du projet (preuve du besoin et de la faisabilité) et si possible décision de variantes à retenir - Compatibilité avec la législation sur la protection de l'environnement et planifications selon la loi sur l'aménagement du territoire (LAT), en particulier à l'échelon cantonal - Détermination des zones réservées - Inscription dans les programmes pluriannuels 	<ul style="list-style-type: none"> - Exposé sommaire du problème - Examens préalables éventuels - Planifications générales ainsi que concepts et inventaires existants - Plans et prescriptions en vigueur relatifs à l'occupation du sol - Objectifs et contraintes 	<ul style="list-style-type: none"> - Collecte des données et analyse de la situation, des objectifs et des contraintes - Type d'ouvrage et régime de circulation - Elaboration et évaluation de variantes - Evaluation sommaire des coûts
Avant-projet	<ul style="list-style-type: none"> - Choix définitif des variantes - Coordination - Consultation et examens préalables concernant les autorisations et l'approbation - Compatibilité avec la législation sur la protection de l'environnement et planifications selon la LAT, notamment avec le plan directeur cantonal et les plans d'affectation - Acquisition de terrains de gré à gré - Inscription dans les plans financiers et exécution de travaux préliminaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Etude de planification et compléments relatifs à la problématique, aux objectifs et aux contraintes 	<ul style="list-style-type: none"> - Etablissement de l'avant-projet des variantes retenues, y c. des éléments essentiels à l'exploitation - Examen approfondi des variantes restantes - Eventuellement rapport d'impact sur l'environnement (selon les prescriptions légales) - Devis estimatif
Projet définitif	<ul style="list-style-type: none"> - Mise à l'enquête publique - Information et participation de la population concernée - Approbation du projet (crédit de construction), octroi d'autorisations spéciales et financement - Concordance avec les plans d'affectation et examen de la compatibilité avec l'environnement - Acquisition de terrains et de droits - Détermination des alignements en plan et en élévation 	<ul style="list-style-type: none"> - Résultats des étapes de projet précédentes, en particulier de l'avant-projet 	<ul style="list-style-type: none"> - Approfondissement de l'étude de la variante retenue - Plans d'utilisation et plans de sécurité spécifiques à l'ouvrage - Eventuellement rapport d'impact sur l'environnement - Planification d'accompagnement de l'aménagement paysager - Devis général - Le cas échéant, établissement des données d'appel d'offres
Appel d'offres	<ul style="list-style-type: none"> - Appels d'offres et contrats d'entreprise 	<ul style="list-style-type: none"> - Résultats des étapes de projet précédentes, en particulier du projet définitif et des résultats de la mise à l'enquête publique 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise au point du projet définitif - Données d'appels d'offres et plan de contrôle pour l'exécution des travaux - Appels d'offres et contrats d'entreprise
Exécution/direction des travaux	<ul style="list-style-type: none"> - Etablissement des plans d'exécution et de détail - Réalisation et mise en service de l'ouvrage - Information et participation de la population concernée - Décomptes - Contrôle des décomptes, travaux de garantie et conditions - Elaboration du dossier conforme à l'exécution pour l'exploitation et l'entretien ainsi que du dossier d'achèvement - Archivage des plans et des actes 	<ul style="list-style-type: none"> - Résultats des étapes de projet précédentes, en particulier des contrats d'entreprise - Exécution et dossier de la direction des travaux - Modifications éventuelles lors de la construction et optimisation en début de phase de mise en service 	<ul style="list-style-type: none"> - Etablissement des plans d'exécution et de détail pour l'exécution des travaux - Direction des travaux - Suivi de la réalisation du point de vue écologique - Documentation relative aux contrôles selon le plan qualité (gestion de la qualité) - Concept de l'examen de conformité - Plan d'entretien et de surveillance - Mise au point et mise à jour des documents utilisés pour l'exécution (construction effective) - Rassemblement de tous les dossiers de la direction des travaux

Figure C.3-2 : Norme SN 640 026 « Contenu des étapes de projet »

C.3.2 ETUDES DE PLANIFICATION (EIE-PHASE 1)

La **norme SN 640 027** décrit les prestations générales à accomplir dans cette phase et donne un exemple de processus général d'évaluation et de décision qui peut être utilisé pour la problématique faune/trafics.

Le diagramme de  Faune/trafics FT1 (cf Figure C.3-3) montre le déroulement des activités spécifiques liées à la faune correspondant à l'EIE phase 1.

L'élaboration d'une **étude de planification** comprend les prestations générales suivantes :

- **collecte des données** (p.ex. données sur le trafic, nature du terrain, plans directeurs et plans d'affectation, plans d'ensemble, modèles et concepts éventuels),
- **information de la population** concernée en cas de participation,
- **formulation des problèmes** (analyse de la situation),
- liste des **objectifs et des contraintes**,
- détermination des **données du projet** (régime de circulation, caractéristiques de base, profils en travers sommaires),
- élaboration de **variantes** avec dimensionnement sommaire basé sur la technique de la circulation,
- **comparaison de variantes** sous forme d'un examen d'opportunité : description et évaluation des conséquences pour la circulation, l'environnement (éventuellement étude d'impact sur l'environnement EIE 1^{ère} phase), les coûts, l'aménagement du territoire et la faisabilité,
- élimination et **choix des variantes** avec présentation de la pondération des intérêts,
- liste des **autorisations**, approbations et investigations nécessaires en relation avec la législation sur l'environnement, le financement et les mesures organisationnelles.

Dans cette phase, le mandataire spécialiste de la faune est plutôt subordonné à l'auteur de l'étude d'impact sur l'environnement et a beaucoup de contacts avec l'auteur du projet dans la mesure où il est capable de définir rapidement les contraintes écologiques utiles aux analyses des variantes de tracés.

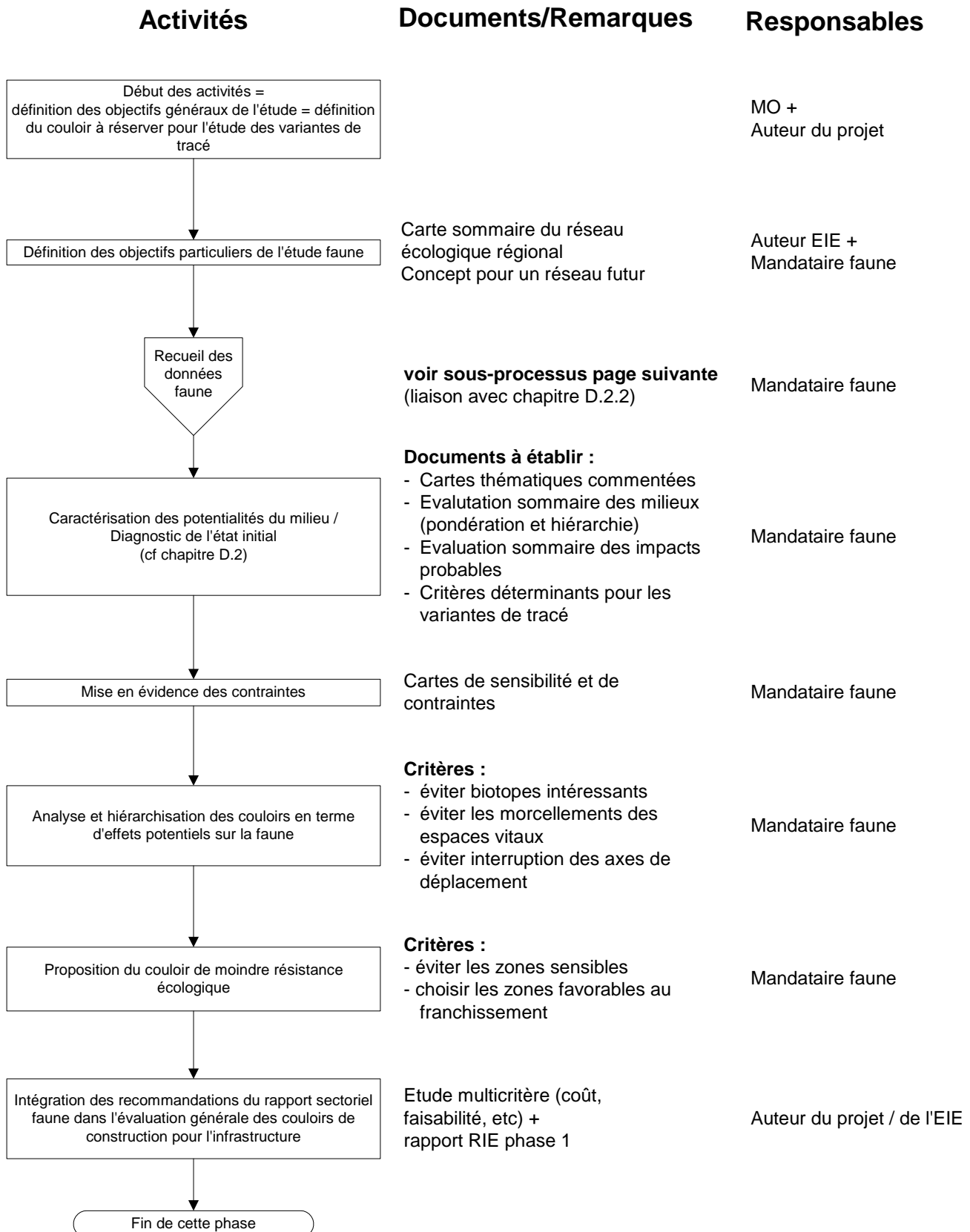


Figure C.3-3 : Processus Faune/trafics (FT 1) correspondant à la phase "Etude de planification" (EIE-phase 1)

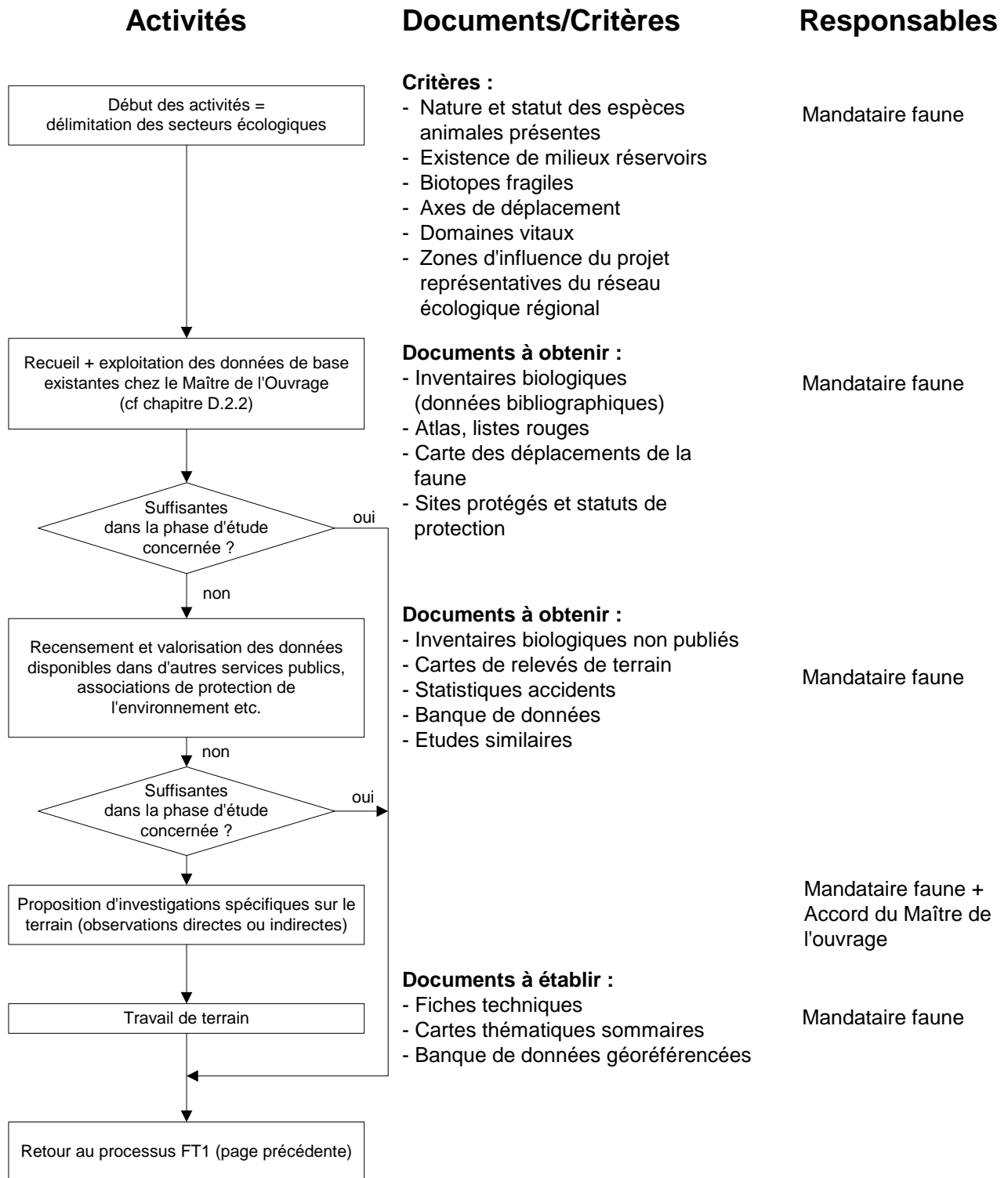


Figure C.3-4 : Recueil des données concernant la faune dans la phase d'étude de planification

C.3.3 PHASE DE L'AVANT-PROJET (EIE-PHASE 2)

Cette phase est nommée « projet général » dans la terminologie de l'OFROU.

La **norme SN 640 011** (en projet) rappelle les prestations générales à accomplir. Un processus plus détaillé pour les études liées à la faune est donné à la « Figure C.3-5 ».

L'élaboration de l'**avant-projet** comprend les prestations générales suivantes :

- **établissement de l'avant-projet** des variantes retenues en tenant compte des éléments essentiels pour l'exploitation y. c. des mesures d'accompagnement,
- **examen approfondi** des éventuelles variantes retenues et choix de la meilleure, éventuellement rapport d'impact sur l'environnement lors de processus en plusieurs étapes,
- **devis estimatif** ($\pm 20\%$) sur la base du plan comptable du projet.

Cette phase fait déjà intervenir le spécialiste faune dans un groupe pluridisciplinaire comme mentionné dans le chapitre C.2. Elle est essentiellement itérative et concertative.

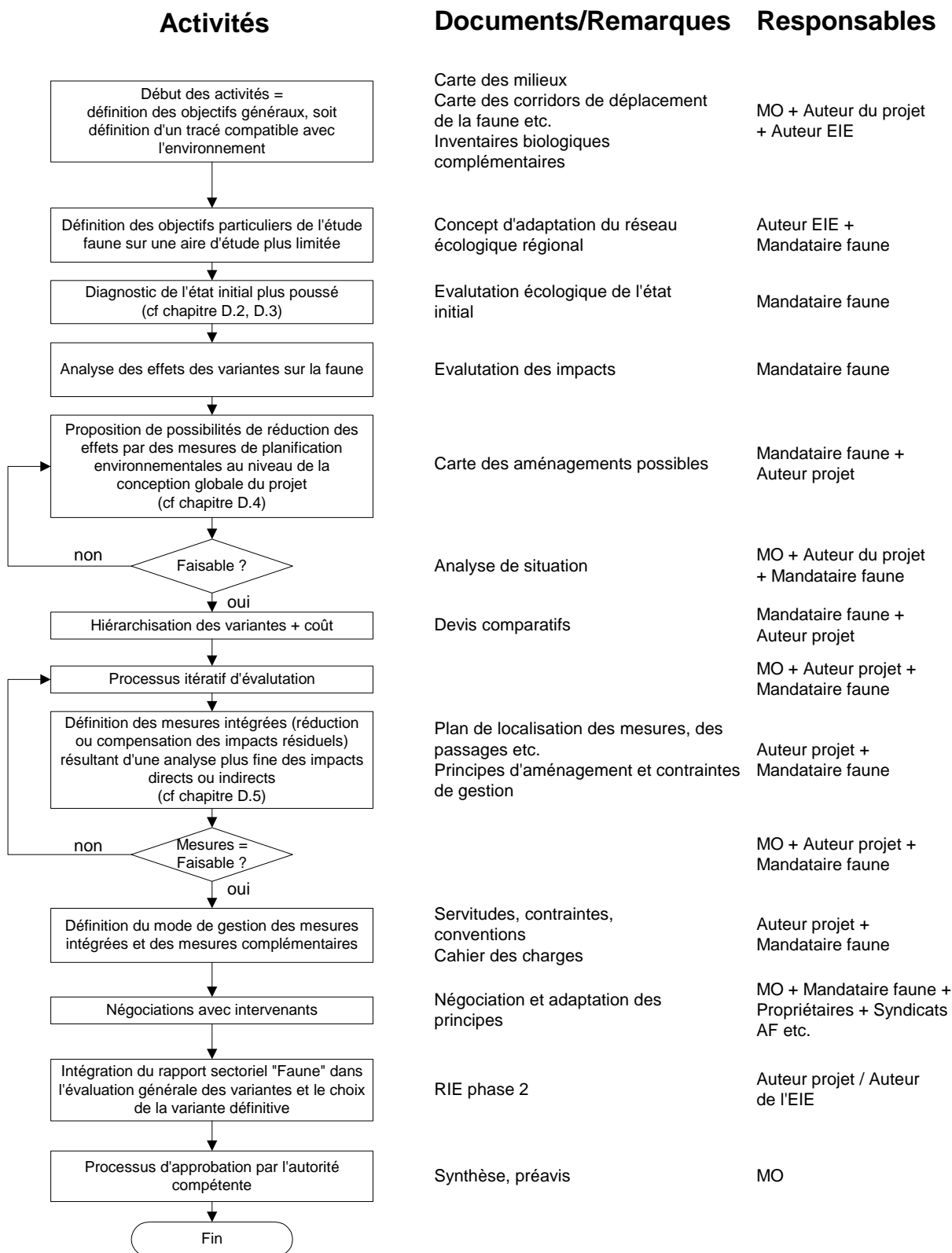


Figure C.3-5 : Processus Faune/trafics (FT 2) correspondant a la phase avant-projet ou projet général (EIE-phase 2)

C.3.4 PHASE DU PROJET DEFINITIF (EIE PHASE 3)

Cette phase est appelée aussi projet de mise à l'enquête ou encore projet d'approbation

La **norme SN 640 012** (en préparation) rappelle les prestations générales à accomplir dans cette phase. Un processus ciblé sur les études liées à la faune est donné à la Figure C.3-6.

L'élaboration du **projet définitif** comprend les prestations générales suivantes :

- **élaboration approfondie de la variante** retenue avec présentation des éléments essentiels pour la construction et l'exploitation de l'infrastructure de transport, y c. les ouvrages d'art et les installations annexes,
- **plan d'utilisation** et **plan de sécurité** selon Société suisse des ingénieurs et architectes [SN 505 160],
- **EIE** pour les ouvrages soumis à une telle étude, vérification du respect de la législation sur la protection de l'environnement pour des ouvrages non soumis à une EIE,
- établissement du **devis général**, estimation des frais d'exploitation et considérations relatives aux frais d'entretien.

Le projet définitif se différencie de l'avant-projet par une élaboration technique plus détaillée, par la détermination de mesures pour la protection de l'environnement et par l'établissement d'un devis général ($\pm 10\%$), sur la base du plan comptable du projet.

Les grandes options relatives au tracé, aux ouvrages, aux mesures de protection de l'environnement et de la faune en particulier ont été étudiées et décidées dans la phase d'avant-projet, aussi retrouve-t-on un déroulement de l'étude plus linéaire.

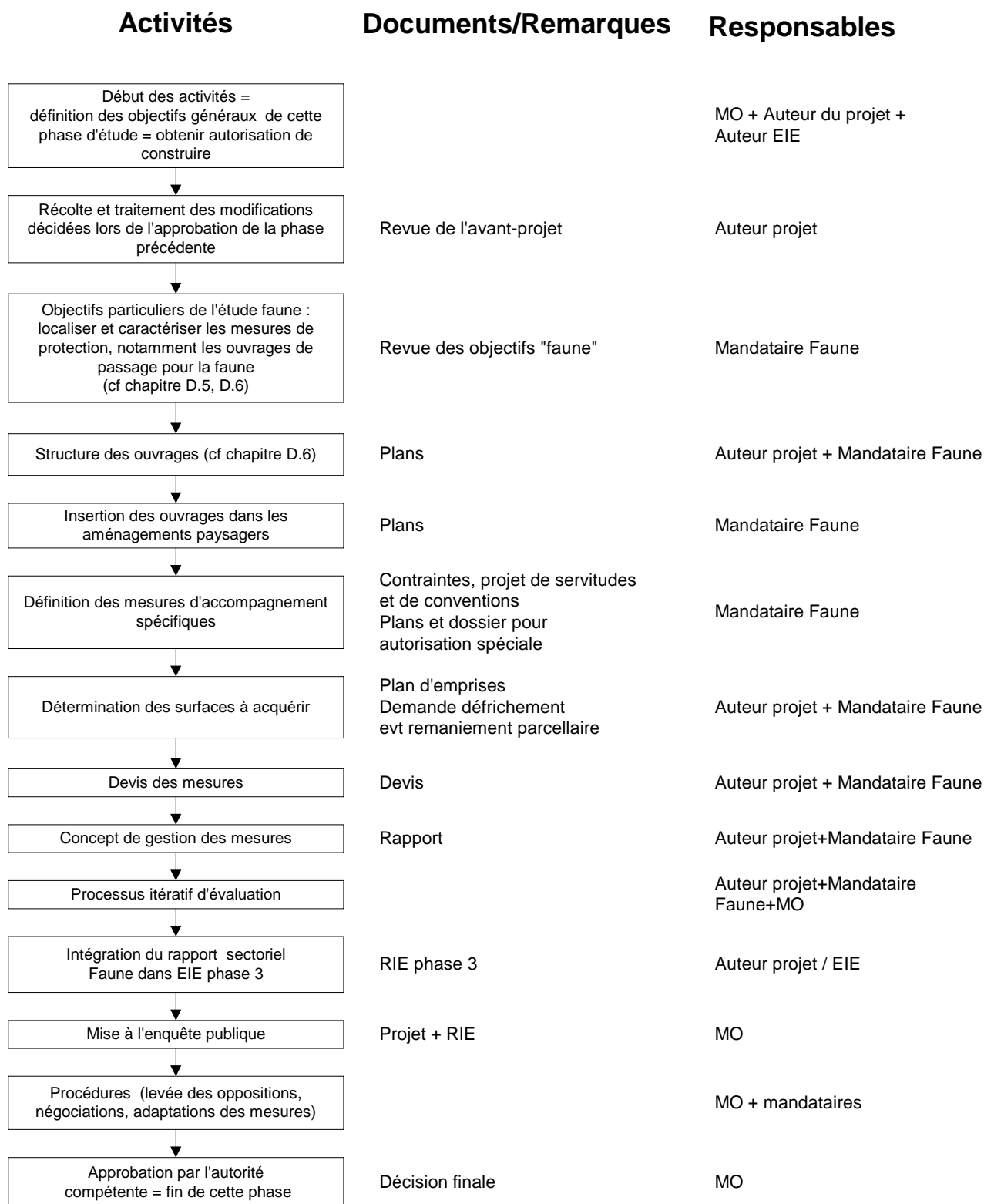


Figure C.3-6 : Processus Faune / Trafics (FT 3) correspondant à la phase projet définitif (EIE-phase 3)

C.3.5 PHASE D'EXECUTION

L'équivalent de cette phase en termes environnementaux est le suivi environnemental des projets. Il ne figure pas dans les ordonnances légales en vigueur (OEIE, p. ex.) et fait l'objet d'un travail de normalisation par le groupe d'experts 6.04 « Environnement » de l'Union suisse des professionnels de la route (VSS).

La **norme SN 640 013** (en préparation) rappelle les prestations à accomplir. Un processus concernant les objectifs faune est détaillé à la « Figure C.3-7 ».

Il s'agit de la phase la plus délicate dans la mesure où souvent les mandataires du projet changent et les spécialistes appelés pour l'EIE disparaissent peu à peu. Il est primordial que les modifications du projet décidées au moment de l'approbation de celui-ci, négociées avec les opposants ou différées pour des raisons économiques, soient identifiées, tracées et communiquées aux auteurs du projet d'exécution et de la soumission.

La solution idéale est celle qui voit une continuité des mandataires tout au long du projet. Actuellement, elle se heurte aux nouvelles dispositions en vigueur et tout particulièrement aux lois sur les marchés publics.

L'**établissement du projet d'exécution** est un travail de collaboration entre ingénieurs et écologues. En fonction des besoins de l'écologue, l'ingénieur va proposer les moyens techniques nécessaires.

Au cours de la préparation du dossier d'appel d'offres, l'ingénieur et l'écologue, concepteurs de la mesure, peuvent, chacun dans leur domaine, établir les plans d'exécution et fournir les conseils techniques ou scientifiques nécessaires à l'autre partie. La validation du projet d'exécution est généralement faite en commun.

La **mise en œuvre** d'une mesure environnementale comporte en général deux parts d'activités complémentaires :

- la part équipement en ouvrages ou en aménagements propres au génie civil dont les procédures d'appel d'offres, les démarches liées à la qualification des entreprises, les adjudications et la direction des travaux sont suffisamment connues pour ne pas être rappelées ici.
- la part aménagement propre au génie écologique (création de biotope, plantation, etc.) pour laquelle la situation est moins codifiée.

Dans la majorité des cas, les coûts des aménagements proposés sont relativement modestes, par contre, le suivi des chantiers peut nécessiter la présence de l'écologue pour informer et conseiller les entreprises mandatées sur les aspects « génie écologique » de la mesure (mise en place de la végétation, piège à trace, etc.).

L'efficacité d'une mesure de génie écologique dépend de l'étroite collaboration entre l'ingénieur-projeteur, l'écologue-concepteur, l'entreprise mandatée et la direction locale des travaux.

La **phase d'exécution** comprend le projet d'exécution, le dossier d'appel d'offres, la direction des travaux et le dossier d'achèvement (ancienne dénomination : plans conformes à l'exécution). Ce dernier constitue un élément principal pour la gestion des mesures de protection.

L'élaboration du **projet d'exécution** comprend les prestations suivantes :

- mise au point du **projet définitif** sur la base des oppositions résultant de la mise à l'enquête publique ou des modifications issues de la mise en soumission,
- mises à jour éventuelles des **plans d'utilisation** et de **plans de sécurité** spécifiques à l'ouvrage [SN 505 160],
- **plans de détail**, compléments et instructions détaillées nécessaires à la réalisation de l'ouvrage ainsi qu'à son entretien,
- **dossier d'appel d'offres**,
- **plan qualité** pour l'exécution des travaux (gestion de la qualité),
- cahier des charges pour le **suivi de la réalisation** du point de vue écologique,
- **direction des travaux**.

L'élaboration du **dossier d'achèvement** s'effectue en principe parallèlement aux travaux et comprend les prestations suivantes :

- mise au point et mise à jour des **plans du projet d'exécution** conformément à l'exécution effective des travaux, ainsi que les éventuelles améliorations faites au début de la phase d'exploitation,
- rassemblement de tous les **décomptes et actes** importants de la direction des travaux,
- **réception de l'ouvrage** au point de vue technique et écologique,
- documentation relative aux **vérifications réalisées** sur la base du plan qualité (gestion de la qualité), y compris le respect des conditions,
- liste des **travaux de garantie** en suspens, expiration des délais de garantie et sûretés en relation,
- **plan d'utilisation**,
- **plan d'entretien**,
- **plan de surveillance**,
- **archivage** des plans et des actes,
- concept pour **l'évaluation de l'efficacité**.

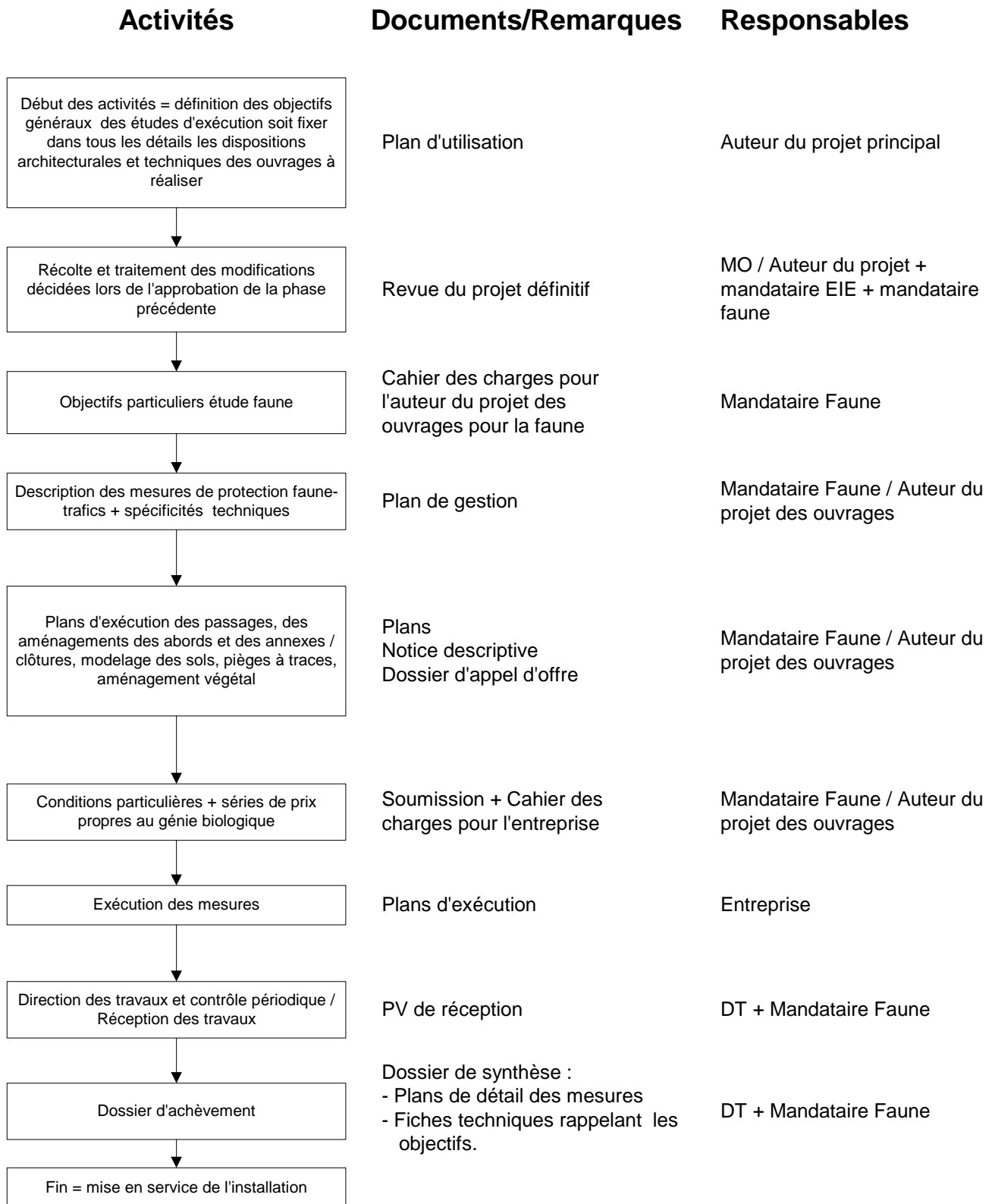


Figure C.3-7 : Processus Faune / Trafics (FT 4) phase projet exécution (suivi environnemental des projets)

C.4 PRINCIPES DE LA GESTION DES MESURES

C.4.1 ENTRETIEN ET CONTROLES D'EFFICACITE

La gestion des mesures comprend plusieurs opérations distinctes qui sont reprises dans la Partie E. Les principales sont liées à l'entretien et aux contrôles de l'efficacité des mesures. Ces phases ne sont pas traitées dans les normes mentionnées au chapitre précédent ni dans les diverses procédures environnementales (EIE).

Il faut distinguer deux types d'entretien :

- **l'entretien provisoire** durant la période qui s'écoule entre l'exécution d'une mesure de protection (p. ex. un ouvrage de franchissement pour la faune) et celle de sa réception provisoire par le Maître de l'ouvrage ou de la mise en service de l'infrastructure de transport concernée. Selon la norme SIA 118 [SN 507 118], l'entrepreneur est propriétaire de l'ouvrage jusqu'à sa réception par le MO soit durant toute cette période transitoire. Il doit donc entretenir les ouvrages pendant ce temps. Cette période peut s'étendre sur plusieurs années selon le programme des travaux.

Dans le cas des aménagements paysagers, les travaux mis en soumission comprennent en général l'entretien des plantations pendant deux ans.

- **l'entretien permanent** qui débute en général dès la réception provisoire par le Maître de l'ouvrage ou à la mise en service de la nouvelle infrastructure. Le Maître de l'ouvrage n'intervient plus dès lors comme « constructeur » mais comme « propriétaire et gestionnaire ». Une même instance peut assumer successivement ces deux fonctions, mais les personnes qui les assument au sein de cette instance changent en général à ce moment-là.

Le changement s'opère également du point de vue de l'environnement des mesures. Il ne s'agit plus de l'entretien d'une réalisation dans l'espace restreint d'un chantier, mais de l'entretien global d'une voie de circulation en service.

Dès le début de ce type d'entretien, il faut veiller à la transmission des documents essentiels à cet entretien aux responsables de celui-ci, surtout du **dossier d'achèvement** et du **plan de gestion**.

Une lacune existe actuellement dans le domaine des **contrôles d'efficacité** des installations de protection à long terme. Ils sont en effet rarement entrepris.

Dans le domaine des interactions faune/trafics, les réseaux de la faune, les mesures paysagères et les infrastructures de transport présentent un caractère dynamique. Il est donc indispensable de prévoir des **contrôles d'efficacité**, si possible dès les études du projet définitif, mais au plus tard lors de la mise en service des installations de protection.

C.4.2 PROCESSUS FAUNE/TRAFICS

Une méthodologie pour la gestion des mesures de protection est donnée dans le processus ci-dessous (Figure C.4-1).

Un développement détaillé de la problématique de la gestion est donné dans la partie E.

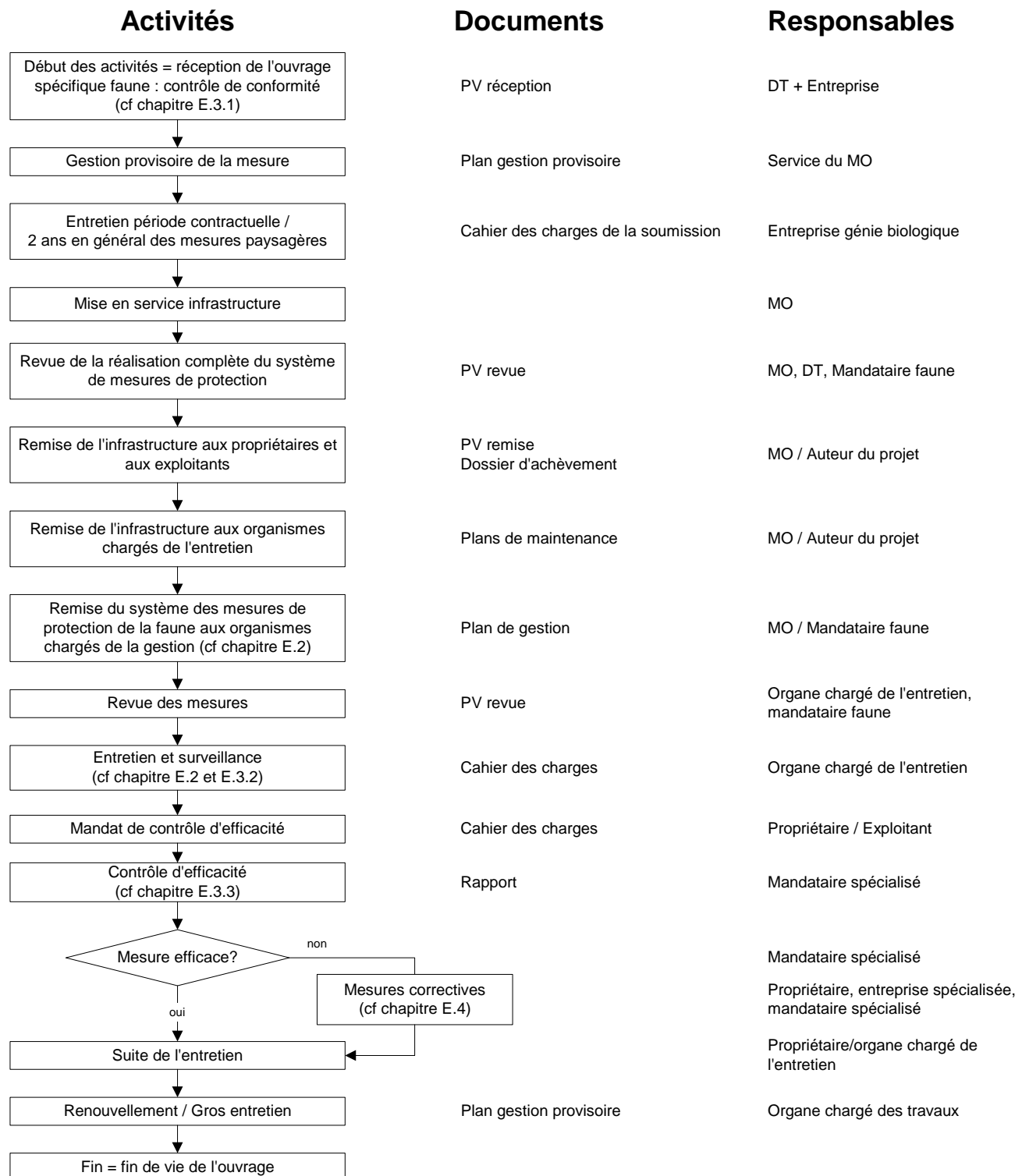


Figure C.4-1 : Processus Faune/trafics (FT 5) lié à la gestion des mesures

PARTIE D

CRÉATION DE MESURES DE PROTECTION POUR LA FAUNE

D.1 DEMARCHE GENERALE

La démarche proposée est applicable à un projet de défragmentation paysagère (assainissement) comme à un projet de nouvelle infrastructure de transport.

Deux approches doivent être utilisées pour identifier des solutions globalement efficaces dans le rétablissement des réseaux de la faune :

- **l'identification du réseau écologique (corridors et zones-réservoir)** à l'aide de documents existants (cartes, inventaires) (cf chapitre D.2.2) ou, lorsque ceux-ci sont insuffisants, par une modélisation (cf chapitre D.2.3). Une étude locale permet d'affiner l'identification du réseau écologique.
- **l'analyse de la perméabilité de la voie de circulation** existante ou projetée permettant de quantifier l'impact du projet sur les déplacements de la faune (cf chapitre D.3).

L'utilisation de ces deux approches permet d'interpréter correctement les points de conflits existants et sert de base à l'élaboration **d'un concept de réseau écologique futur** (cf chapitre D.4). Celui-ci permet ensuite la réalisation d'un **plan de mesures** (cf chapitre D.5).

La « Figure D.1-1 » résume la démarche générale en faisant référence aux chapitres qui suivent.

La démarche proposée ici se base sur une identification des réseaux écologiques et la conservation de leur fonctionnalité au travers d'un concept de réseau futur. Une autre approche passant par l'analyse de la fragmentation est également possible et peut être complémentaire. Elle est décrite en annexe dans le CD-Rom.

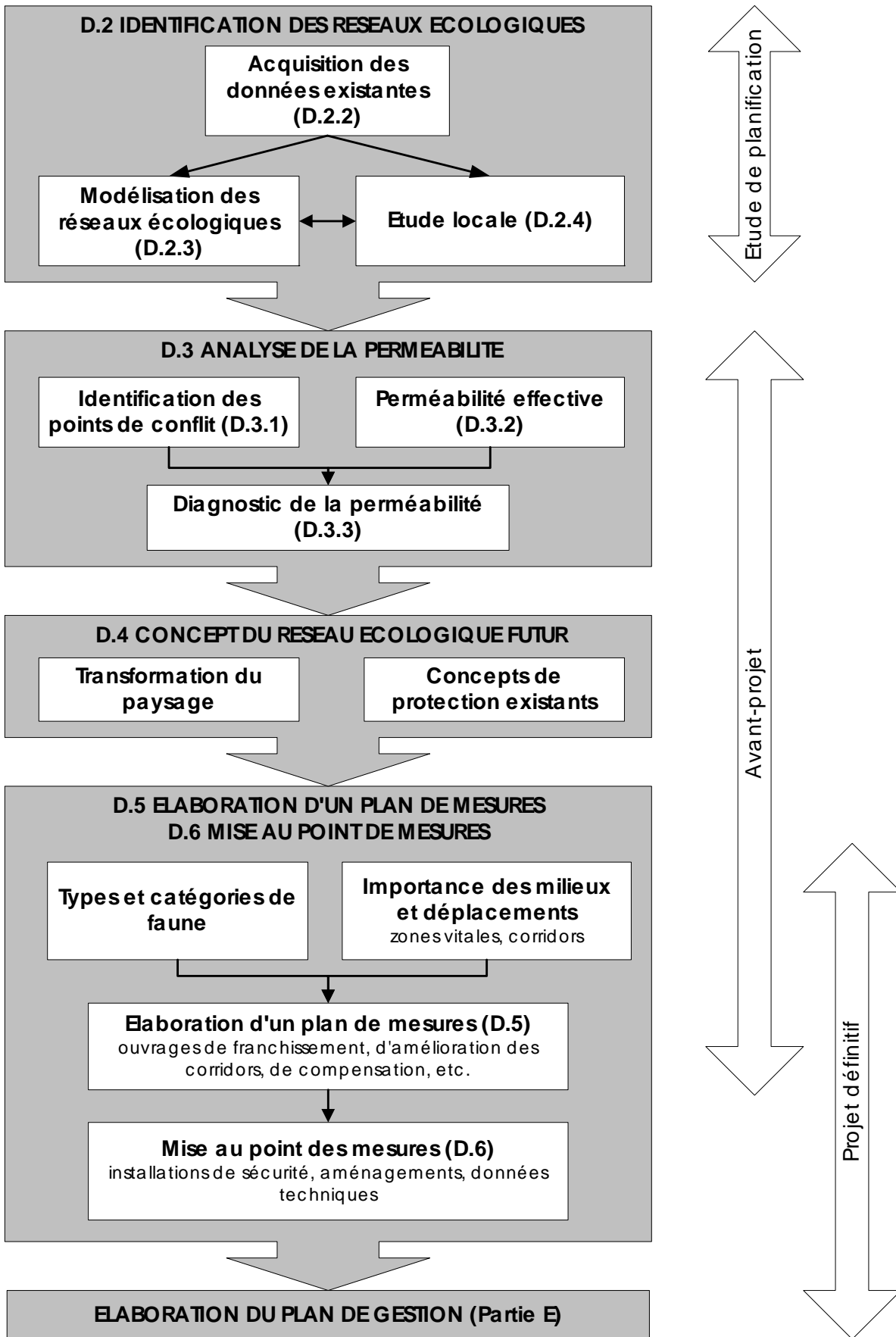


Figure D.1-1 : Démarche d'une étude faunistique d'un projet

D.2 IDENTIFICATION DES RESEAUX ECOLOGIQUES

D.2.1 BASES DE L'ETUDE

D.2.1.1 Etapes

L'identification des réseaux écologiques existants passe par plusieurs étapes :

1. **Rassembler les données existantes** (cf chapitre D.2.2). Il existe en Suisse des documents, qui seront à l'avenir de plus en plus nombreux et complets, répertoriant les espèces menacées, les milieux de valeur et les réseaux écologiques. Ils sont riches en informations et doivent être pris en compte dans tout projet de voie de circulation.
2. Compléter éventuellement les données manquantes ou insuffisantes par une **méthode de modélisation** (cf chapitre D.2.3).
3. Affiner et hiérarchiser les réseaux écologiques issus de la modélisation (corridors et zones-réservoir) par une **étude locale** (cf chapitre D.2.4). Celle-ci se déroule en grande partie sur le terrain et permet aussi d'identifier les problèmes faunistiques particuliers qui n'apparaissent pas dans la modélisation en réseaux écologiques.

Pour l'étude, il n'est pas possible de prendre en compte toutes les espèces animales existantes. Seules certaines d'entre elles sont sélectionnées pour leurs caractères représentatifs. Il s'agit des **bioindicateurs**. Le chapitre D.2.1.2 les traite en détail.

D.2.1.2 Groupes bioindicateurs

Une espèce, un groupe ou une communauté doivent remplir les conditions suivantes pour être utilisables comme bioindicateur dans la pratique :

- identification simple et fiable,
- bonnes connaissances de base sur leur biologie, écologie, éthologie et biogéographie,
- sensibilité du taxon à différents facteurs de modification de l'environnement par le projet.

Un bon bioindicateur doit en outre être utilisable dans un cadre méthodologique, temporel et financier (enveloppe du mandat d'étude) donné.

Dans un projet, les meilleurs indicateurs de réseaux écologiques sont toujours dépendants de la disponibilité de spécialistes compétents pour interpréter les résultats d'inventaires biologiques.

C'est en effet par le biais du spécialiste généraliste de l'écologie du paysage ou des spécialistes que l'on pourra définir correctement les contraintes biologiques et comportementales de l'espèce ou du groupe concerné.

Quel que soient les groupes bioindicateurs choisis, la problématique de la fragmentation du paysage doit être abordée par l'analyse des trois grands modes de déplacement de la faune :

- les déplacements par voie terrestre
- les déplacements par voie aérienne
- les déplacements par voie aquatique

Chaque groupe de faune a un mode de locomotion dominant, avec cependant presque toujours des exceptions. Si les déplacements terrestres et aquatiques sont certes fortement touchés par la construction d'infrastructure de transport, les déplacements par voie aérienne ne sont pas à négliger pour autant.

Pour chacun des groupes choisis comme bioindicateur, il sera nécessaire d'examiner principalement les effets suivants :

- la perte d'habitat (capacité d'accueil du milieu)
- la mortalité par collision avec le trafic
- les modifications de la fonctionnalité du réseau écologique propre au groupe

Les impacts cumulés sont fréquents, mais selon le groupe bioindicateur considéré, il est possible qu'un des effets agisse isolément.

Quelques groupes de bioindicateurs sont donnés à titre d'exemple dans le Tableau D.2-1.

GROUPES BIOINDICATEURS :	Chevreuil, sanglier	Chamois, cerf, tétaras	Mustélidés, hérisson, musaraignes, campagnols	Lièvre, perdrix	Reptiles xérophiles, Orthoptères, Lépidoptères	Réptiles méso-, hydrophiles, batraciens	Insectes et oiseaux aquatiques, Odonates, poissons, crustacés	Chiroptères, hirondelles
CONTINUUM :								
Forêts de basse altitude (< 1000 m)	■	■				■		
Forêts + pâturages d'altitude (>1000 m)		■						
agricole extensif			■	■				
Prairial extensif thermophile	■		■	■	■	■		■
Prairial marécageux						■	■	■
Aquatique (étangs et cours d'eau)							■	
Rocheux de basse altitude (< 1000 m)		■			■			
STRUCTURES PAYSAGERES :								
lisières forestières, haies			■	■	■	■		■
talus, coteaux ensoleillés			■	■	■			■
Vallons, coteaux ombragés	■					■		
Cours d'eau							■	■
Végétation riveraine	■					■	■	■
Crêtes sommitales		■						
Espaces interforestiers	■							

Valeur bioindicatrice du groupe : ■ très bonne ■ bonne □ faible à nulle

Tableau D.2-1 : Groupes bioindicateurs des réseaux écologiques d'après BERTHOUD (1998)

MAMMIFERES

Parmi la faune terrestre (ensemble des animaux se déplaçant par voie terrestre) plusieurs groupes de mammifères sont intéressants à divers titres. Certains groupes sont de bons indicateurs de milieux et d'ensembles de milieux réunis sous le terme de continuums, alors que d'autres groupes sont indicateurs de structures paysagères remarquables.

Le groupe des ongulés (cerf, chevreuil, sanglier) est par exemple un bon indicateur des continuums forestiers, c'est-à-dire de l'ensemble des milieux boisés, ainsi que des milieux complémentaires utilisables préférentiellement par le groupe, à savoir : les prairies et pâturages, ainsi que les cultures proches des forêts. Le groupe « mustélidés, hérisson, musaraigne, campagnols » est par contre avant tout un indicateur de structures paysagères telles que lisières et haies.

A l'échelle des infrastructures de transport, les espèces qui nous fournissent les meilleures indications relatives à la continuité des habitats dans l'espace sont les mammifères à grands rayons d'action. Les espèces concernées sont des carnivores (loup, renard, blaireau, chat forestier, lynx, etc.) et des ongulés (sanglier, chevreuil, cerf, etc.). Parmi ces espèces, les ongulés ont une fonction indicatrice particulièrement pertinente pour documenter les voies de déplacement de la faune car ces populations d'animaux sont les plus largement réparties sur le territoire et sont en expansion.

ERPETOFAUNE

Les reptiles et les batraciens sont également de bons indicateurs des structures paysagères interconnectées. Leurs populations sont organisées spatialement de manière précise et optimale, avec des sites de reproduction, des sites d'hivernage et des terrains de chasse. Leurs possibilités d'adaptation sont généralement restreintes.

INVERTEBRES

Sur un plan pratique, les invertébrés constituent des **bioindicateurs** fiables et très sensibles de la qualité globale de l'environnement et de son évolution : ils permettent d'évaluer la qualité écologique des milieux, et ceci à différentes échelles (qualité des microstructures, qualité et importance locale d'un site, intérêt biogéographique d'un site). Leur utilisation est particulièrement intéressante dans les sites où la flore n'est pas très diversifiée ou lorsque les surfaces sont de petite taille (peu ou pas de populations de vertébrés).

Quoiqu'il y ait souvent une certaine concordance entre les différents taxa, les milieux de valeur pour les invertébrés ne sont pas forcément les mêmes que pour les plantes ou les vertébrés. Les résultats obtenus par l'étude des invertébrés peuvent être mis en parallèle avec ceux obtenus avec les plantes et les vertébrés, ce qui permet d'avoir une vue complète de l'intérêt du site et de décider en toute connaissance de cause des priorités à donner aux mesures de conservation et de gestion.

Par ailleurs, la prise en compte des invertébrés permet souvent de mettre en valeur des structures naturelles de petite taille qui peuvent passer inaperçues, mais jouent un rôle clé pour la conservation des espèces. Du fait de leur lien souvent très étroit avec un certain type de milieu très particulier, les invertébrés réagissent très rapidement aux moindres changements du milieu. L'étude de l'évolution de la structure du peuplement entomologique permet de suivre avec précision l'évolution du milieu.

Les insectes sont avant tout des bioindicateurs des milieux et des habitats en tant que tels ou organisés en réseaux, et non pas vraiment de réseaux écologiques au sens de corridors de déplacements rapides et dirigés (en référence à la notion de migration).

Les **groupes d'invertébrés** répondant aux critères ci-dessus et utilisables dans la problématique « faune – trafics » sont les suivants :

- Rhopalocères (Papillons diurnes)
- Orthoptères (Criquets et Sauterelles)
- Coléoptères (divers groupes indicateurs tels que les Carabidae, Scarabaeidae, Lucanidae et Cerambycidae)
- Hyménoptères (quelques espèces d'Abeilles sauvages et Guêpes)

Il s'agit en général de groupes-phares dont l'écologie et l'éthologie sont bien connues, ce qui n'est pas le cas à propos de la très grande majorité des espèces. Parmi ces groupes, il s'agit de faire porter les observations sur certaines espèces clés.

Les groupes fauniques mentionnés comprennent :

- des espèces exigeantes par rapport à la qualité des milieux et habitats (surfaces étendues, intactes, non fragmentées, ce qui correspond en général à des milieux et habitats fragiles)
- des espèces fidèles à leurs milieux et habitats (espèces sédentaires, se déplaçant peu voire pas du tout), possédant des liens souvent stricts et permanents avec leurs milieux et habitats
- des espèces réparties en méta-populations exigeant des déplacements facilités

Les groupes fauniques peu ou pas du tout concernés par la problématique comprennent :

- des espèces peu exigeantes par rapport à la qualité des milieux et habitats
- des espèces toujours très mobiles et ubiquistes

FAUNE AQUATIQUE

La faune piscicole des cours d'eau d'Europe compte plusieurs dizaines d'espèces susceptibles d'être touchées par la problématique des intersections entre les voies de circulation et les cours d'eau. La truite est souvent l'espèce de référence privilégiée du fait de sa large distribution, des bonnes connaissances qu'on a de son écologie et de sa biologie, du statut menacé de certaines de ses formes (truite lacustre), mais surtout du fait de son importance économique et sportive. La problématique des autres espèces moins mobiles: loches, chabot, blageon, etc) devrait toutefois aussi être pris en compte dans les cours d'eau où ils sont présents.

En ce qui concerne les invertébrés, une attention particulière doit être portée aux écrevisses, les espèces indigènes étant menacées. Pour les insectes aquatiques, les remarques faites pour les invertébrés ci-dessus s'appliquent pleinement : s'ils sont d'excellents indicateurs de la qualité du cours d'eau, il est nettement plus difficile de les utiliser comme indicateurs de la fonctionnalité du réseau écologique aquatique.

D.2.2 ACQUISITION DES DONNEES EXISTANTES

Les documents suivants permettent de fixer les priorités de protection de la faune et de son habitat :

- la liste rouge des espèces menacées de Suisse qui peut être obtenue auprès de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP),
- les catalogues (listes d'espèces traitées à l'échelle de la Suisse) et atlas de distribution de la faune disponibles au Centre suisse de cartographie de la faune (CSCF),
- les inventaires biologiques (sites à haute valeur écologique) disponible à l'OFEFP.

Deux études déjà publiées fournissent les bases utiles à l'établissement du réseau écologique national :

- Priorités nationales de la compensation écologique dans les zones agricoles de plaine [BROGGI & SCHLEGGEL, 1998].
- Les corridors à faune de Suisse [SGW, 1999]

De plus, un mandat devant se terminer en 2002 fait la synthèse des données existantes et vise à établir le **réseau écologique national** (REN) pour l'ensemble de la faune et des milieux naturels existants. Les cartes du REN provisoire sont déjà disponibles¹ à l'échelle du 1:300'000 et sont en cours de validation dans les cantons avec notamment pour but l'établissement de cartes détaillées au 1:25'000. Ces premières cartes permettent d'identifier pour chaque région les principaux éléments qui composent les réseaux écologiques et leur niveau d'importance (importance régionale ou nationale). Ces documents sont destinés à devenir à court terme des instruments de décision indispensables pour l'analyse du développement et de l'assainissement des réseaux des voies de circulation.

En Europe, la pratique de la cartographie des réseaux écologiques est en pleine extension. De nombreux travaux peuvent être cités en référence, tels que, par exemple, DAWSON (1994) en Angleterre, SIMBERLOFF & COX (1987), BISCHOFF & JONGMAN (1991) en Hollande.

La récolte des données des accidents impliquant la faune peut aussi être un précieux indicateur pour l'analyse du contexte local et régional de la problématique dans le cas d'un assainissement ou d'un suivi de nouvelles mesures de protection (cf chapitre D.3.3.2). Les sources sont multiples. Les principales sont les services de la faune et de la chasse, les centres d'entretien et les gendarmeries.

¹ Bureau ECONAT : Rue du Lac 6, CH-1400 YVERDON-LES-BAINS ; PiU : Gurtenbrauerei, Postfach 240, CH-3084 WABERN

D.2.3 MODÉLISATION DES RESEAUX ECOLOGIQUES

Les cartes du réseau écologique national sont le résultat concret de la modélisation des réseaux écologiques d'importance nationale et régionale. Toutefois, lorsque celles-ci sont inexistantes, plus à jour ou tout simplement qu'il faille identifier les réseaux écologiques au niveau local, le recours à la modélisation est nécessaire.

Cette modélisation se construit sur la base de cartes topographiques (de type cartes nationales au 1 :25'000), de pointages sur le terrain (voir aussi l'étude locale décrite au chapitre D.2.4) et se restreint aux espèces bioindicatrices (cf chapitre D.2.1.2). Elle est de la compétence d'experts connaissant parfaitement les besoins et le comportement des groupes faunistiques.

Chaque espèce ou groupe d'espèces possède son propre réseau écologique avec des caractéristiques particulières. Ces divers réseaux peuvent être partiellement superposés ou totalement séparés. La plupart du temps, un important recouvrement est constaté.

La **modélisation d'un réseau écologique** est effectuée en quatre étapes :

Etape 1 Analyse de la fragmentation paysagère

La cartographie des obstacles naturels et artificiels d'une région va fournir les zones et les axes de voie de circulation que la faune peut difficilement franchir ou pas du tout. Il s'agit :

- des zones urbanisées denses,
- des espaces agricoles intensifs,
- des zones viticoles,
- des zones d'exploitation de matériaux en activité (carrières, gravières),
- des zones clôturées,

et du maillage formé par :

- les axes autoroutiers
- les lignes ferroviaires principales
- les canaux navigables
- les routes nationales à fort trafic
- les cours d'eau importants (largeur > 20 m)
- les lacs,
- les chaînes de montagnes.

Des activités humaines perturbatrices peuvent constituer des obstacles à la libre circulation de la faune (forêts plus particulièrement visitées par le public – sport, balades, pique-nique, certaines pratiques cynégétiques). Néanmoins, ces perturbations sont généralement saisonnières et difficilement cartographiables sans une enquête précise.

Etape 2 Localisation des biotopes remarquables (zones-réservoir)

Ces milieux sont identifiables par l'importance de leur population, leur diversité ou leur surface exceptionnelle. Ils sont généralement connus sous forme d'inventaires ou de banques de données officielles (sites protégés, réserves naturelles, etc.).

Etape 3 Localisation des continuums

Un continuum est constitué d'un écosystème principal entouré de milieux complémentaires et formant un espace vital continu utilisable de manière préférentielle par un groupe d'espèces spécialisées.

Les continuums de base facilement identifiables sont les suivants :

- Continuums forestiers formés de forêts, de zones arborées ou buissonnantes, de prairies et de cultures proches des lisières.
- Continuums agricoles extensifs constitués de milieux agricoles diversifiés, de prairies, de pâturages et de bocages.
- Continuums prairiaux (thermophiles ou hygrophiles) constitués de prairies, de pâtures, de cultures isolées, de vergers et de bocages.
- Continuums aquatiques liant les cours d'eau, les marais, les prairies et les cultures en zones alluviales.
- Continuums écotonaux formés des ensembles d'éléments structuraux linéaires tels que les lisières forestières, les haies, les talus, les berges de cours d'eau et les pieds de coteaux.

Etape 4 Définition du réseau des corridors

A partir des pôles constitués des zones-réservoir et des axes de dispersion formés par les continuums vont se créer des axes de connexions préférentiels (corridors), variables en fonction des capacités locomotrices et des préférences écologiques des divers groupes faunistiques.

Le modèle de réseau écologique résulte de la synthèse des informations réunies dans les étapes 1 à 4. Il fournit un système de développement spatial des populations avec une répartition des flux d'échanges entre les domaines vitaux identifiés (cf Figure B.1-2).

Un réseau écologique défini ainsi reste une abstraction théorique d'un phénomène très complexe. Cependant, il fournit un modèle satisfaisant dans la mesure où il permet d'expliquer 80 à 90% des échanges observés.

Afin de pouvoir faciliter l'appréciation de l'impact du projet et de servir de base de discussion avec l'ingénieur pour le choix des mesures à prendre, il est nécessaire de **hiérarchiser les corridors et les zones-réservoir** du réseau identifié selon leur importance.

Cette hiérarchisation doit être consensuelle, mais dépend largement d'une stratégie nationale de défragmentation spatiale à mettre au point. La classification reprise ici se base sur trois degrés d'importance : importance locale, régionale et nationale.

Un corridor ou une zone-réservoir peut être déclaré **d'importance nationale** lorsque l'un ou l'ensemble des éléments est inclus dans un inventaire et classé d'importance nationale, ou encore si l'un des éléments héberge une ou plusieurs espèces ou milieux ayant un statut de protection (listes annexées à la LPN et liste rouge définissant la vulnérabilité).

Le statut **d'importance régionale ou locale** dépend d'une évaluation basée sur les facteurs de qualité (homologie et complémentarité des milieux, diversité des espèces et des milieux, état naturel, dynamique évolutive), de capacité (superficie globale, extension maximale, complexité structurelle, fluidité des échanges) et de fonctionnalité (fréquentation effective et potentielle des corridors, fréquence des échanges, franchissabilité des obstacles majeurs).

D.2.4 ETUDE LOCALE

La modélisation du réseau écologique a été développée pour avoir une vision globale, à l'échelle régionale et nationale, des relations sociales ou trophiques des espèces à grands rayons d'action. Un réseau écologique régional regroupe en fait plusieurs sous-réseaux liés à des écosystèmes caractéristiques de nos paysages. Il constitue de ce fait une image relativement complète des espaces vitaux utilisables par la majorité de la faune. Cette représentation schématique des espaces relationnels du paysage ne constitue cependant qu'un squelette de réseau définissant les éléments les plus importants indispensables au fonctionnement des populations animales.

L'étude locale permet d'identifier de manière exhaustive les biotopes, les espèces et leurs populations ayant des particularités de comportement qui ne sont pas prises en compte par le réseau régional ou national. Elle permet de définir en outre les espèces qui ne se développent que localement sans déplacement à grande échelle, mais qui ont souvent besoin de petits milieux complémentaires pour leur développement et de connexions locales sous forme de structures linéaires telles que haies, bandes herbeuses, ruz, etc. Ces milieux et connexion forment le **réseau écologique local**.

L'étude locale sert également à décrire précisément les caractéristiques du réseau régional sur ces aspects qualitatifs, quantitatifs et fonctionnels (**hiérarchisation** des corridors et zones-réservoir), informations rarement disponibles sur l'ensemble du réseau régional.

L'étude locale est indispensable pour proposer les mesures d'intégration et de compensation appropriées pour réduire les impacts du projet. Elle se déroule principalement sur le terrain dans l'emprise du projet à la recherche d'espèces et milieux remarquables. Elle est d'autant plus utile qu'elle contribue à améliorer sensiblement un projet avec des mesures souvent peu coûteuses (petits passages de type tuyau).

L'étude locale dépend fortement des caractéristiques du projet. Il est donc difficile de l'aborder plus en détail ici.

D.3 ANALYSE DE LA PERMEABILITE

D.3.1 IDENTIFICATION DES POINTS DE CONFLITS

Les besoins de franchissement d'une infrastructure de transport par la faune sont en grande partie déterminés par la position de l'équipement par rapport aux milieux naturels fréquentés par les animaux. Ils se résument en trois types identifiables grâce à l'identification des réseaux écologiques (cf chapitre D.2) :

- Lorsque **la voie de circulation traverse une zone-réservoir**, toute la section concernée est susceptible d'être fréquentée par la faune.
- Dans le **cas de la traversée d'un corridor**, la section concernée peut être très localisée en fonction de la distance des milieux favorables et des caractéristiques qualitatives des espaces servant de corridors.
- Si la **traversée de zones habituellement non fréquentées par la faune** correspond cependant à une zone de dispersion des animaux. La présence des animaux peut y être aléatoire, mais non négligeable dans certaines situations. En effet, la fréquentation occasionnelle de ces espaces non favorables augmente lorsqu'ils se situent à proximité d'une zone-réservoir ou d'un milieu habituellement fréquenté. Il s'agit en général d'animaux inexpérimentés ou dérangés.

Ces trois situations sont habituellement identifiables par un spécialiste de la faune. Cependant, si l'analyse des situations rencontrées aboutit à une répartition des axes de déplacement différente de ce que révèle la dispersion des accidents (voir ci-dessous), c'est une indication de dysfonctionnement du réseau écologique régional créé notamment par un manque de perméabilité des infrastructures.

INFORMATIONS FOURNIES PAR LES ACCIDENTS IMPLIQUANT LA FAUNE

Les animaux tués sur les voies de circulation, répertoriés par les centres d'entretien et les services de voirie, de la faune et de la chasse sont des informations précieuses. En effet, elles peuvent représenter :

- un signal de risque pour les usagers
- un conflit potentiel mal identifié
- un dysfonctionnement probable des installations de protection
- une insuffisance possible de la perméabilité de la voie de circulation pour la faune

Il faut reconnaître que l'interprétation des données d'accidents avec la faune est difficile à donner pour le non-spécialiste du comportement de la faune. Il est cependant possible de définir quelques règles simples.

La fréquence des irruptions des animaux dans les emprises des voies de circulation est fonction de la densité des populations de chaque espèce et de la résultante :

- de **l'attractivité des milieux semi-naturels** des talus ou des bermes centrales des voies de circulation qui peut inciter les animaux à entrer dans les emprises selon les situations suivantes :
 - la gestion extensive de certaines bermes favorise une flore et une faune spontanées appréciées de plusieurs animaux pour leur nourriture,
 - certaines sections autoroutières, par exemple, comprennent des zones humides dans leurs emprises alors que ces milieux sont absents ou rares dans les régions traversées. Ces points d'eau peuvent alors être particulièrement attractifs pour une certaine faune.
- des **besoins de déplacement** (cf chapitre B.3.2) :
 - des jeunes lors de leurs phases de dispersion qui sont caractérisés par des déplacements au hasard peu liés aux structures paysagères par méconnaissance du terrain (exemple des jeunes chevreuils en avril et en mai),
 - des adultes liés à la période de la reproduction ou pour la recherche de la nourriture, la voie de circulation se trouvant sur le corridor reliant deux milieux complémentaires utilisés par une population
 - dus aux migrations de la faune.

Au vu de ces diverses motivations, il apparaît que la densité des ouvrages utilisables par la faune est un des facteurs limitant le risque de collision. Par contre, la présence seule d'ouvrages de franchissement, même en nombre suffisant, ne peut pas résoudre de manière satisfaisante le problème de la sécurité, sans d'autres mesures complémentaires (clôtures, aménagements paysagers) destinées à modifier le comportement de la faune.

D.3.2 PERMEABILITE EFFECTIVE DE L'INFRASTRUCTURE

Un bilan de la perméabilité effective de l'infrastructure doit être établi. Il est effectué sur la base de plans et par une visite de terrain. Il résulte de la confrontation de l'importance de l'obstacle avec les besoins de la faune. Ce bilan tiendra compte de trois facteurs :

- la **perméabilité "naturelle"** de l'infrastructure selon son type, son trafic, son revêtement, etc. Le chapitre B.4.2.1 donne des indications relatives à son estimation pour différentes intensités de trafic.
- les **obstacles** présents ou planifiés (clôtures à bétail, murs, parois rocheuses, galeries paravalanches, parois antibruit, glissières, etc.). L'inventaire de ceux-ci doit être établi et leur imperméabilité relativisée en fonction des espèces présentes. Typiquement, une clôture à bétail est perméable pour la petite et moyenne faune (renard, mustélide, ...) et plus ou moins imperméable à la grande faune (chevreuil, cerf, ...).
- les **possibilités de franchissement** offertes par l'infrastructure tels que tunnels, ponts, passages inférieurs ou supérieurs qui sont imposés par la topographie, les cours d'eau, le passage d'une autre voie de circulation, etc. La coïncidence entre la localisation des ouvrages utilisables par la faune et les voies de déplacement de ces derniers est la première condition de leur efficacité. Un nouvel équilibre s'établit en fonction de la tolérance des espèces ou des individus qui doivent se déplacer de part et d'autre de la voie de circulation en passant dans des sites artificiels.

Afin de déterminer la perméabilité effective d'un tracé, un **inventaire exhaustif des ouvrages de franchissement** projetés ou existants selon le type de projet doit être établi. Dans le cas d'un nouveau projet, la consultation des plans fournit les informations nécessaires. Dans le cas d'une infrastructure existante, les centres d'exploitation possèdent généralement un plan synoptique par tronçon de tous les ouvrages construits dont ils ont la gestion. Autrement, il est possible d'établir un tel plan en parcourant le tracé à l'extérieur des emprises.

Les ouvrages coïncidant avec des corridors potentiels du réseau écologique régional sont fréquemment utilisables par la faune. Toutefois, une vérification sur le terrain est indispensable, car l'accessibilité de beaucoup d'ouvrages est souvent réduite par des aménagements ou des stockages parasites (clôtures de propriétés, dépôts de matériaux divers).

Les **ouvrages potentiellement utilisables par la faune** doivent ensuite être sélectionnés et évalués.

Un grand nombre d'ouvrages existants est potentiellement utilisable par la faune moyennant quelques aménagements et modifications.

Les différentes espèces animales n'ont pas les mêmes degrés de tolérance vis-à-vis de l'utilisation des ouvrages qu'ils rencontrent lors de leurs déplacements. Le « Tableau D.3-1 » permet de diagnostiquer des potentialités de fréquentation de tous les types d'ouvrages pour les différentes catégories fauniques. Les améliorations possibles de l'efficacité des passages sont relatives à la qualité de leurs aménagements et aux connexions possibles avec le réseau écologique existant.

Catégories de faune Types de passages (description détaillée au chapitre D.6.2)	Insectes se déplaçant au sol ou en vol	Petite faune terrestre à tendance héliophile et thermophile évitant le milieu souterrain (reptiles, amphibiens, certains petits mammifères)	Petite et moyenne faune terrestre utilisant volontiers les passages souterrains (renards, mustélidés, certains petits mammifères)	Moyenne et grande faune terrestre acceptant partiellement de franchir un passage souterrain de courte distance (sangliers, chevreuils, chamois, chats sylvestres, éventuellement lièvres)	Grande faune terrestre acceptant de préférence les passages supérieurs avec de la végétation naturelle (ongulés et en particulier les cerfs)
❶ Passage simple pour petite et moyenne faune	m	—	l	—	—
❷ Passage pour petite faune et batraciens	m	l	m	—	—
❸ Passage inférieur pour faune moyenne	m	—	l	m	—
❹ Passage inférieur à usage mixte	m	m	l	w	m
❺ Passage inférieur pour grande faune	m→w	m→w	l	l	w
❻ Passage sous un viaduc	m→w	w→l	l	l	l
❼ Passage supérieur à usage mixte	m→w	m→w	w	w	m
❽ Passage supérieur pour ongulés	w→l	w→l	l	l	l
❾ Passage supérieur large ou pont biologique	l	l	l	l	l
❿ Pont écologique ou paysager	l	l	l	l	l

Echelle d'efficacité des passages à faune :

m aléatoire

w possible

l optimale

m→w amélioration possible

En gris : ouvrages dont la vocation première est autre que leur utilisation par la faune

Tableau D.3-1 : Potentialité de fréquentation par la faune sauvage d'ouvrages de franchissement

D.3.3 DIAGNOSTIC DE LA PERMÉABILITÉ

D.3.3.1 Cas d'une nouvelle voie de circulation

En ayant une évaluation des flux de déplacement de la faune préexistants (visualisation graphique ou numérique d'observation de l'état antérieur : Figure D.3-1) au niveau de chaque croisement de corridors ou de traversée de zones-réservoir avec le tracé de la voie de circulation, il est possible d'établir une **estimation des flux résultants** après construction en se référant aux performances connues des ouvrages de franchissement réalisés (Tableau D.3-1).

L'observation de la faune montre que la **zone d'influence d'un passage** (zone dans laquelle un animal a des chances de trouver le passage) ne dépasse guère quelques dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre de l'intersection du corridor et de la voie de circulation, selon les groupes d'espèces considérés, ceci en l'absence d'aménagements conducteurs amenant la faune devant les passages. Elle doit être estimée au cas par cas par un spécialiste de la faune et pour chaque espèce bioindicatrice retenue pour le projet. Elle dépend de nombreux facteurs tels que la topographie du lieu, la couverture du sol, les possibilités d'aménagement, etc.

En appliquant le rapport des flux compris dans les zones d'influence des passages aux flux totaux observés, il est possible de proposer un bilan de perméabilité pour un tronçon de tracé de voie de circulation.

L'exemple à la Figure D.3-1 montre une possibilité graphique d'effectuer ce diagnostic. Il est effectué sur la base de l'efficacité des passages décrits dans le Tableau D.3-1 (partielle pour un passage de type ④ et totale pour le viaduc) et une estimation de la zone d'influence des passages compte tenu de l'espèce concernée et de la structure du milieu (par exemple effet-barrière de la route transversale à trafics élevé). Une solution possible d'augmentation de la perméabilité est proposée en rouge. Elle doit être validée par le **concept du réseau écologique futur** (cf chapitre D.4).

L'exemple est appliqué à quelques espèces de mammifères. Par extension, ce diagnostic peut et doit s'appliquer à toutes les espèces bioindicatrices choisies dans le projet.

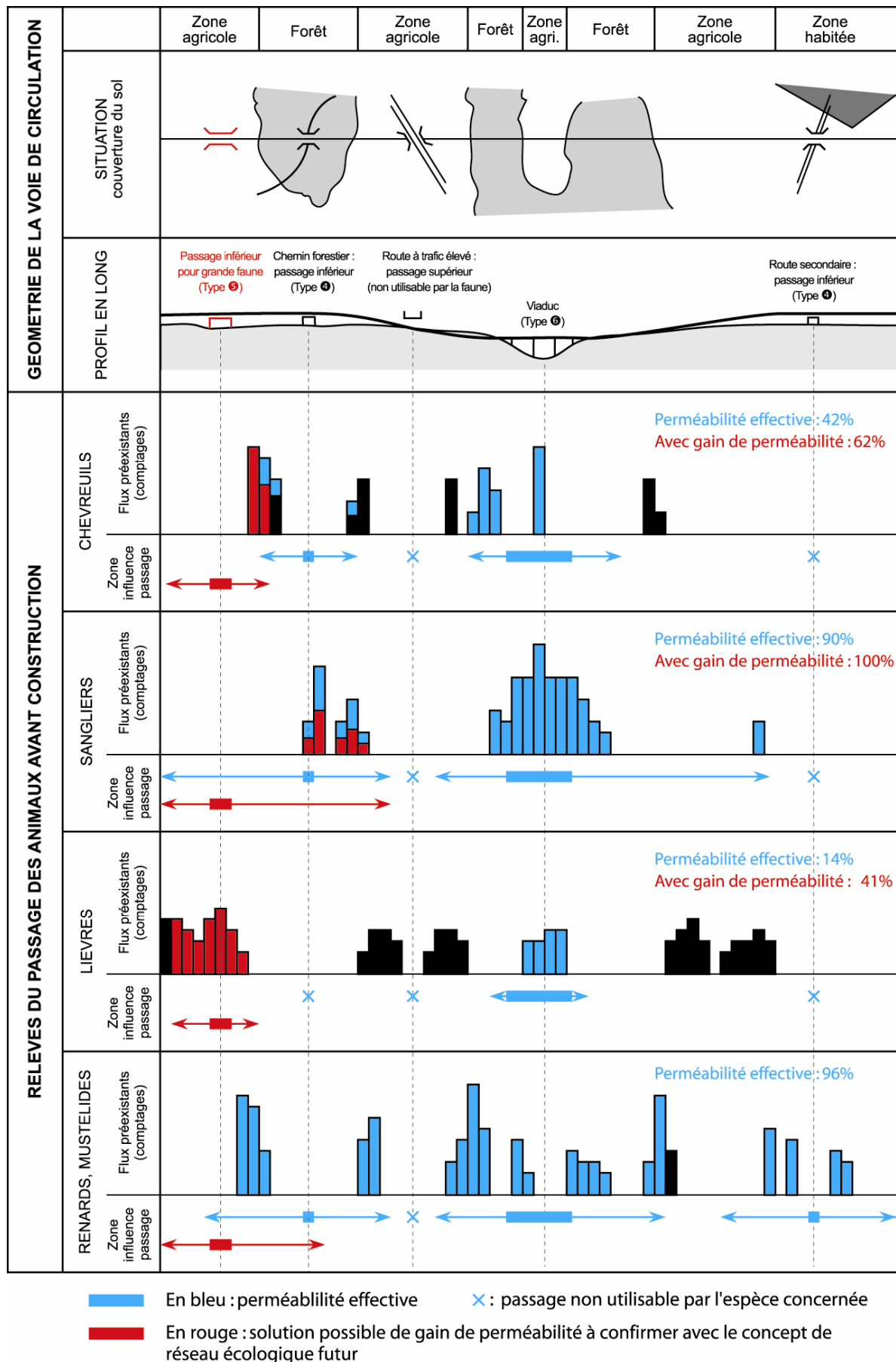


Figure D.3-1 : Exemple de diagnostic de la perméabilité appliqué à quelques espèces de mammifères.

Les valeurs de perméabilité qui peuvent être trouvées selon la méthode proposée sont indicatives. Il n'est pas possible de fixer une valeur limite de perméabilité à respecter commune à tous les projets. La perméabilité à rétablir dépend effectivement des buts recherchés (préservation d'une population, brassage génétique, etc.) qui ne nécessitent en général pas le rétablissement de 100% de la perméabilité, valeur d'ailleurs utopique la construction d'une voie de circulation conduisant inévitablement à une perte de perméabilité.

Il faut être conscient que la méthode se base sur les flux de déplacement existants avant la construction de la voie de circulation. Une fois réalisée, celle-ci transforme le paysage et le comportement des animaux qui peuvent réorganiser leurs déplacements. Le concept du réseau écologique futur (cf chapitre D.4) doit déterminer dans quelle mesure ces déplacements initiaux seront modifiés ou pourront être conservés.

Cette approche unidimensionnelle permet toutefois d'estimer une grandeur de l'impact du projet sur les déplacements de la faune en tenant compte de la perméabilité effective de la voie de circulation projetée. Celle-ci peut servir de base de discussion dans la collaboration ingénieur-écologue. Elle sert aussi d'aide à l'élaboration du concept de réseau écologique futur et du plan de mesure, car elle permet de déterminer quels sont les emplacements où un passage à faune serait potentiellement le plus efficace et quel gain de perméabilité il pourrait apporter.

Les conclusions de ce bilan de perméabilité effective peuvent être les suivantes :

- les flux migratoires coïncident bien avec les zones d'influence des passages. Dans ce cas le concept du réseaux écologique futur doit chercher à maintenir les zones de déplacements présentes avant la réalisation de la voie de circulation. La perméabilité nécessaire peut être ainsi considérée comme rétablie.
- les flux migratoires coïncident mal avec les zones d'influence des passages dans ce cas, deux solutions sont possibles et combinables lors de l'élaboration du concept de réseaux écologique futur :
 - augmentation des zones d'influence des passages par des aménagements complémentaires appropriés pour guider la faune jusqu'à obtenir un flux acceptable. Cette solution est souvent difficilement applicable à grande échelle vu les problèmes d'aménagement du territoire, d'acquisition de terrain, etc.
 - création de passages à faune spécifiques. Cette solution est plus coûteuse, mais en la combinant à la première des économies non négligeable sont possibles.

Ces conclusions supposent que les ouvrages seront acceptés par la faune et par conséquent qu'ils seront aménagés selon les règles de l'art (cf. chapitre D.6.2).

D.3.3.2 Cas d'un assainissement d'une voie de circulation existante

La méthode décrite au chapitre précédent peut être appliquée à un assainissement. Elle doit se baser sur la pression exercée par la faune sur le tronçon qui s'exprime par le nombre d'animaux morts par collision et par des observations (traces, caméra, observations directes, etc.) du refus de traverser au droit des corridors interrompus. Cette pression doit être mise en relation avec la perméabilité effective de la voie de circulation : traversée réussie par la faune le long du tracé et sur les ouvrages de franchissement fonctionnels (Figure D.3-1).

Elle permet d'estimer la perméabilité effective de la voie de circulation existante, d'élaborer si nécessaire une stratégie d'assainissement (adaptation de passage existant pour la faune, augmentation des zones d'influence des passages fonctionnelles, création de passages à faune spécifiques) et d'estimer un gain de perméabilité résultant de cette stratégie.

Comme pour le cas d'une nouvelle voie de circulation, les valeurs de perméabilité déterminées par la méthode sont indicatives. Elles servent principalement de base de discussion entre l'ingénieur et l'écologue et permettent une comparaison entre différentes variantes d'assainissement.

Bien que cette étude soit nécessaire, elle n'est pas suffisante et doit être complétée par un concept de réseau écologique futur (cf chapitre D.4) prenant en compte l'aspect bidimensionnel du problème.

D.4 CONCEPT DU RESEAU ECOLOGIQUE FUTUR

D.4.1 PROJETS DE NOUVELLES VOIES DE CIRCULATION

Dans tout projet d'infrastructure de transport nécessitant le rétablissement de la perméabilité faunique, il est illusoire de penser qu'il est possible, même partiellement, de rétablir une situation analogue à la situation antérieure à la voie de circulation.

La transformation du paysage entraînée par la construction d'une voie de circulation est inéluctable. Le projet doit donc gérer cette transformation sans chercher uniquement à rétablir les connexions préexistantes.

Un **concept de réseau écologique futur** doit être mis au point selon une approche régionale de la problématique. Il doit être élaboré en **anticipant les transformations du paysage** qui peuvent être :

- directement liées à la nouvelle voie de circulation : effet de coupure dans le paysage changeant le comportement des animaux (impacts sur la capacité d'accueil du milieu, sur le taux de mortalité des espèces, sur la fonctionnalité du réseau écologique) (cf chapitre B.4.2.1)
- indirectement liées à la nouvelle voie de circulation : effets sur l'aménagement du territoire (génération de nouveaux pôles de développement) (cf chapitre B.4.3)
- liées à d'autres projets en cours, au développement de l'urbanisation, l'extension des réseaux de transport, etc. La consultation des plans d'affectation et des plans directeurs cantonaux et communaux est nécessaire.

Cette anticipation permet aux mesures de protection, qui seront ensuite définies dans le plan de mesures, d'être intégrées dans un réseau écologique et de le rester à long terme. Elle évite, par exemple, qu'un passage à faune ne devienne inefficace suite à un développement agricole ou une urbanisation interrompant les corridors à faune y conduisant.

Le concept du réseau écologique futur doit en outre intégrer les **concepts de protection** supra-régionaux (corridors à faune de Suisse [SGW 1999] par exemple) et régionaux quand ils existent.

Il doit chercher prioritairement à maintenir la fonctionnalité du réseau écologique identifié au chapitre D.2 en exploitant au maximum la **perméabilité effective** de la voie de circulation (aménagement des ouvrages potentiellement utilisables par la faune). Il définit les corridors et les zones-réservoir qui doivent et peuvent être maintenus à long terme et ceux et celles qu'il est nécessaire de compenser.

L'élaboration du concept de réseau écologique futur préfigure le plan de mesures et nécessite donc une **collaboration** entre l'ingénieur et l'écologue. Plusieurs variantes de ce concept peuvent s'avérer nécessaires afin de trouver la solution optimale répondant à la fois aux exigences de l'ingénieur et aux priorités de l'écologue relatives à la protection de la faune.

L'élaboration du concept de réseau écologique futur doit se faire d'une manière interdisciplinaire, globale (analyse à l'échelle régionale et suprarégionale) et prospective.

Pour devenir effectif et permettre une gestion à long terme de l'environnement, ce concept doit encore être validé et surtout inscrit dans un **document de planification du territoire**.

Il est nécessaire de passer à une conception plus dynamique et plus globale de l'aménagement du territoire qui contiendra les priorités de protection en matière de réseau écologique.

D.4.2 ASSAINISSEMENT DES RESEAUX D'INFRASTRUCTURES EXISTANTS

Pour les infrastructures en service, le problème ne se pose guère en termes de mesures de protection liées à une étude d'impact sur l'environnement, mais en terme d'assainissement du réseau permettant de rétablir le franchissement des tracés peu perméables à la faune.

La superposition des tracés des principales infrastructures de transport du pays avec la **carte des corridors à faune** [SGW, 1999] définira les priorités des assainissements à réaliser. Une étude des accidents avec la faune et une localisation des **points noirs** est aussi un bon indicateur des zones à assainir.

Un **concept de réseau écologique futur**, s'appuyant sur les bases décrites au chapitre précédent, doit aussi être élaboré afin que les mesures prises s'intègrent dans une stratégie d'assainissement globale (nationale et/ou régionale).

D.5 ELABORATION D'UN PLAN DE MESURES

D.5.1 MESURES DE PROTECTION

Plusieurs types de mesures de protection, appelées aussi mesures d'atténuation des impacts, sont distingués : les **mesures d'intégration**, les **mesures de compensation**, les **mesures supplémentaires (ou d'accompagnement)** et les **mesures d'aménagement**. Elles sont décrites dans le Tableau D.5-1.

Type de mesures	Description	Responsabilité
Mesures intégrées au projet (situées dans son emprise)		
Mesures d'intégration	Réalisées à la source de l'impact et directement liées au projet. Réponse à un souci de restituer tout ou une partie des milieux détruits les plus importants, de masquer les atteintes esthétiques évidentes et de rétablir certaines fonctions écologiques et paysagères importantes. Exemples : ouvrages de franchissement, clôtures, aménagement des bords de la chaussée (talus), de lisières forestières, ...	Requérant du projet
Mesures de compensation	Reconstitution d'éléments paysagers ou biotopes détruits par le projet visant à conserver globalement la valeur écologique des secteurs touchés. Ce type de mesure est caractérisé par une "distance" entre l'impact et sa compensation : <ul style="list-style-type: none"> • distance dans l'espace : destruction ici, reconstitution là • distance dans le temps : destruction maintenant, reconstitution plus tard, mais aussi possibilité de recréer avant de détruire • distance entre la nature du mal et celle du remède : dégradation de tel type de milieu et amélioration de tel autre Exemples : création d'un étang de substitution, reconstitution, d'une prairie maigre, reboisement, mise à ciel ouvert d'un cours d'eau, aménagement d'un corridor à faune, ...	Requérant, devra souvent négocier avec des tiers (autorités, publics, privés, etc.)
Mesures hors de la sphère d'influence du requérant (en dehors de l'emprise du projet)		
Mesures supplémentaires (ou d'accompagnement)	Mesures situées en dehors de l'espace directement maîtrisé par le Maître d'Ouvrage ou de l'espace nécessaire au fonctionnement technique du projet et non liées organiquement au projet. Négociations souvent difficiles. Leurs objectifs : <ul style="list-style-type: none"> • une meilleure intégration du projet dans l'environnement au niveau régional • une compensation plus globale des impacts du projet • une meilleure utilisation ou optimisation du projet Exemple : rétablissement de la fonctionnalité d'un corridor à faune dégradé, assainissement de terrains pollués, ...	Requérant + tiers (autorités publiques, privés)
Mesures d'aménagement	Mesures liées à des actions prises dans le cadre de l'aménagement du territoire ¹ : plans directeurs, plans d'affectation, mesures particulières de la Confédération (conceptions, plans sectoriels, projets de construction, etc.). Exemples : concept paysager régional prenant en compte les réseaux écologiques et les mesures de compensation du projet, ...	Autorités fédérales, cantonales et communales

Tableau D.5-1 : Mesures de protection de l'environnement

¹ Application stricte de la Loi sur l'aménagement du territoire (LAT art 1, al. 2)

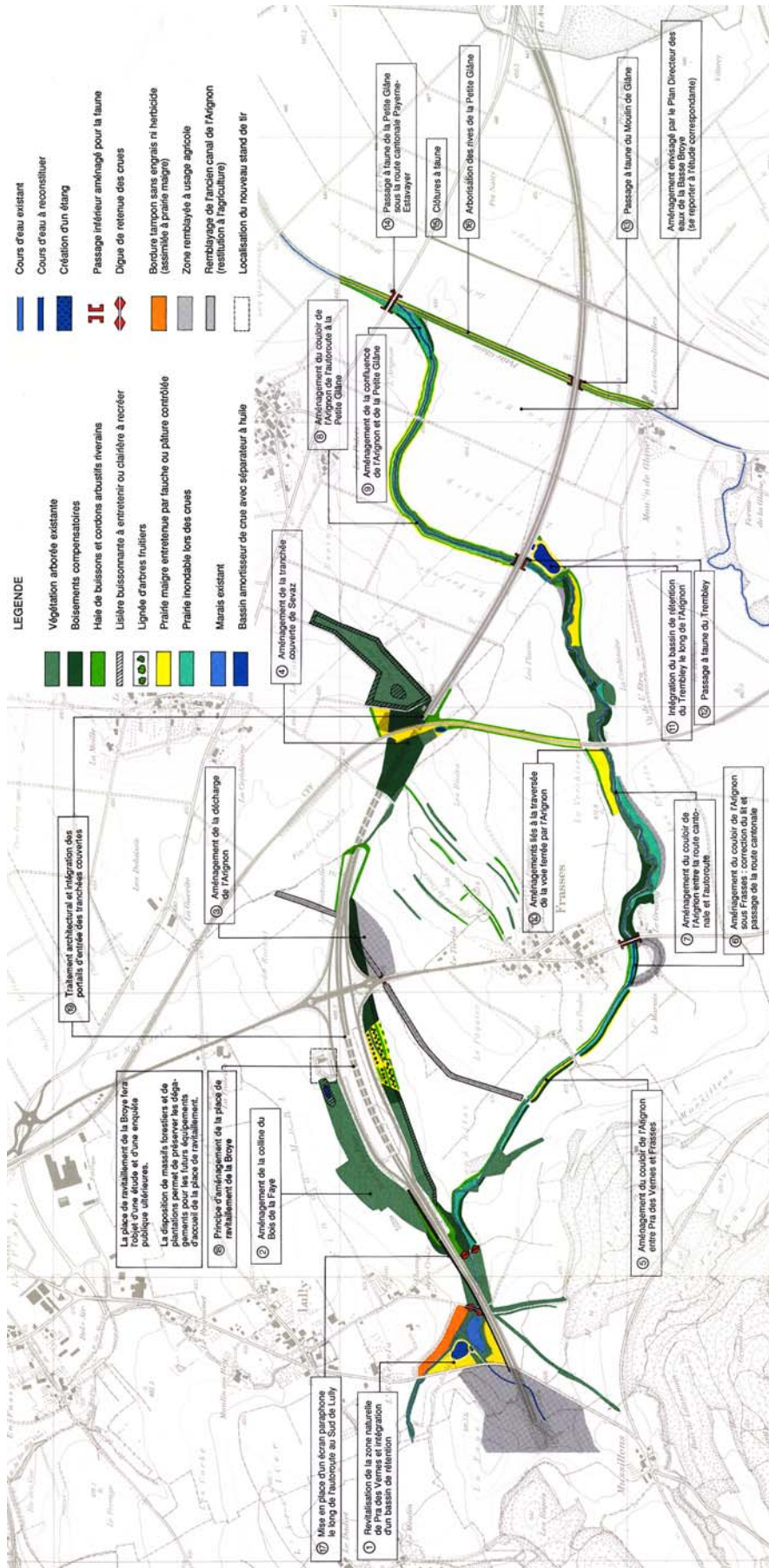
Les **modifications de projet**, à considérer comme une mesure de protection, sont souvent proposées au stade de l'avant-projet lorsque le groupe d'étude comprend des spécialistes de l'environnement. Les solutions techniques adoptées sont rarement considérées comme un surcoût, mais bien comme une nécessité ou une adaptation du projet si les justifications sont pertinentes. Il s'agit de loin de la mesure la plus efficace, car elle permet d'éviter la majorité des gros problèmes qui auraient pu conduire à des blocages de projet et à d'onéreuses mesures de protection.

Par la suite, seule les mesures en relation avec la perméabilité des infrastructures de transport (déplacement de la faune) sont traitées. Les mesures de compensations dans le sens de reconstitution de biotope ne font pas l'objet du présent manuel.

D.5.2 PLAN DE MESURES

Dans le rapport d'impact du projet, l'ensemble des mesures liées au projet est généralement consigné dans un document de synthèse réunissant un plan synoptique de situation des mesures proposées (cf exemple Figure D.5-1), ainsi que des fiches descriptives rappelant les buts, les principes à respecter, le mode de gestion et les instances responsables de l'application de la mesure. Le plan des mesures, la liste des mesures et le contenu des fiches descriptives sont issus de la collaboration entre l'ingénieur et l'écologue.

Après mise à l'enquête publique, le plan des mesures du projet est adopté avec les amendements finaux. Il a dès lors force de loi et il devient difficile d'y déroger. Selon la nouvelle ordonnance sur les routes nationales (ORN), le Maître d'Ouvrage reste responsable du financement des mesures et de leur entretien à long terme. Dans le cas des projets autoroutiers, les divers services cantonaux concernés se répartissent les tâches de suivis et les travaux d'entretiens.



© Urbaplan 1991

Figure D.5-1 : Exemple de plan de mesures d'un projet autoroutier. Cas N1, tronçon Cugy-Lully.

D.5.3 OUVRAGES DE FRANCHISSEMENT POUR LA FAUNE

D.5.3.1 Décision de construire un passage à faune

La justification d'un ouvrage de franchissement pour la faune est issue du concept du réseau écologique futur. Elle se base sur l'existence de réseaux écologiques d'importance locale, régionale ou nationale (cf chapitre D.2) et sur l'analyse de la perméabilité (cf chapitre D.3).

Les buts recherchés sont les suivants :

- éviter l'isolement de zones-réservoir,
- éviter la destruction des réseaux écologiques en général,
- favoriser la restructuration des réseaux au niveau régional et national.

Plusieurs critères vont être directement utiles pour permettre le dimensionnement de l'ouvrage :

- L'identification du **groupe d'espèces concerné** sert de base à la définition des aspects qualitatifs des aménagements. Elle va guider les besoins de reconstitution de conditions favorables pour les déplacements de chaque groupe.
- La définition de **l'ampleur du flux de déplacement** à maintenir sert de base aux aspects quantitatifs des aménagements (nombre, surfaces et disposition spatiale). On se réfère à une échelle locale, régionale ou nationale.
- L'attribution d'un **débit de progression** est définie sur la base de la fonctionnalité globale du corridor d'échange à maintenir. Le débit est défini par la nécessité de conserver un rythme alternant déplacements-repos-alimentation sur l'ensemble du parcours. Plus le déplacement en milieux défavorables est rapide, plus il a des chances de réussir.

Dans le cas d'une coupure paysagère créée par une infrastructure de transport, il est possible d'envisager :

- soit le rétablissement intégral des flux d'échanges de toute nature entraînant la construction d'une multitude d'ouvrages de rétablissement de divers types,
- soit le rétablissement des réseaux régionaux complétés par une réorganisation des réseaux locaux, ce qui amène la construction de quelques ouvrages performants capables de répondre au besoin du concept du réseau écologique futur.

D.5.3.2 Principes de rétablissement des échanges faunistiques

Les solutions découlent **du concept de réseau écologique futur** (cf chapitre D.4). Il faut dans chaque cas examiner la présence et l'importance de biotopes, de zones-réservoir et de corridors qui ont été identifiés au chapitre D.2. Plusieurs cas de figures peuvent se présenter :

Cas 1 Une zone-réservoir est traversée, mais aucun corridor n'est interrompu

- A/ La zone-réservoir (biotopes + milieux complémentaires) est **d'importance locale**.
Les impacts doivent être de préférence atténués par des réaménagements compensatoires sans construire de passage spécifique.
La circulation latérale avec des dégagements vers « l'arrière-pays » est à favoriser.
- B/ La zone-réservoir est **d'importance régionale ou nationale**.
Si les parties sont équivalentes ou significativement complémentaires, alors les échanges sont nécessaires. L'ampleur du rétablissement dépend de la valeur du site touché. Dans le cas où la coupure partielle concerne un biotope d'importance nationale et doit être admise faute de moyens techniques permettant de l'éviter, la coupure doit être résorbée par un ouvrage important.
Par contre si la zone touchée représente une part insignifiante de la zone vitale globale, les échanges restent souhaitables mais non indispensables. La perte écologique peut dans ce cas être compensée par une amélioration des milieux des zones adjacentes non perturbées. Toutefois le risque de collision restera important et des clôtures efficaces sont indispensables.

Cas 2 Une zone-réservoir servant également de corridor est traversée

Le niveau hiérarchique le plus élevé, de la zone ou du corridor, doit être considéré.

- A/ La zone ou le corridor est **d'importance locale**.
Les possibilités de franchissement sont nécessaires, mais on optera de préférence pour plusieurs passages modestes répartis sur le tronçon concerné.
- B/ La zone ou le corridor sont **d'importance régionale ou nationale**.
Le rétablissement des flux migratoires est indispensable. Un ou plusieurs ouvrages sont indispensables.

Cas 3 Un corridor est interrompu

L'importance hiérarchique du corridor correspond logiquement au niveau le plus élevé des biotopes connectés dans le réseau écologique régional.

- A/ Le corridor est **d'importance locale**.
Le passage n'est pas indispensable, mais un passage modeste reste souhaitable.
- B/ Le corridor est **d'importance régionale ou nationale**.
Le rétablissement intégral des flux migratoires est indispensable. Un ou plusieurs ouvrages sont indispensables.

D.5.3.3 Implantation

L'**implantation** d'un passage dans le contexte paysager joue un rôle déterminant dans son acceptation par la faune. Elle s'effectue sur la base d'une cartographie fine des déplacements de la faune (chapitre D.2), des schémas de flux ou de pression de la faune issus de l'analyse de la perméabilité (Figure D.3-1) et des études de terrain.

La position définitive de l'ouvrage et ses dimensions sont fixées d'entente entre l'ingénieur et le spécialiste de la faune sur la base du concept du réseau écologique futur.

L'implantation d'un passage à faune doit répondre à certaines **règles de base** afin d'assurer son efficacité, notamment en ce qui concerne les ongulés :

- Il doit se situer sur un cheminement existant dont la pérennité doit être vérifiée. Il est toutefois possible de s'en écarter un peu selon l'aptitude des espèces concernées à s'adapter (capacité exploratoire) et pour autant que des aménagements permettant de guider la faune soient mis en place.
- Une vue plongeante sur la route depuis les zones d'accès du passage est une situation fréquente mais défavorable. Elle est donc à éviter au mieux.
- Un profil mixte (déblai-remblai) associé à des chaussées décalées augmente l'effet répulsif du passage, cette situation n'est jamais satisfaisante pour un passage important.
- Il est préférable que les animaux aient une vue directe sur la végétation située de l'autre côté du passage qu'il soit supérieur ou inférieur. Une rampe d'accès même raide n'est toutefois pas considérée comme étant un obstacle pour la faune, mais elle reste toutefois une erreur d'intégration de l'ouvrage entraînant probablement une perte partielle d'efficacité.

Les passages spécifiques pour la faune sont considérés dans le tracé comme des « points durs » au même titre que les ouvrages nécessités par la présence des cours d'eau ou le réseau de voies de circulation existant et à maintenir. La réalisation de certains passages à faune peut nécessiter des adaptations du tracé, du profil en long et du profil en travers. Elles sont fixées le plus tôt possible (avant-projet) afin d'être intégrées dès le début dans la définition du projet.

D.5.3.4 Choix d'un type de passage à faune

Le **type des ouvrages** à utiliser est déterminant pour leur bon fonctionnement. En dehors des passages supérieurs larges et des viaducs qui sont les seuls ouvrages à permettre un franchissement acceptable pour l'ensemble de la faune, la plupart des autres types ne sont favorables qu'à certaines catégories d'animaux. Il est donc généralement nécessaire de prévoir différents types de passages le long du tracé pour tenir compte de la diversité des zones traversées et de la diversité de la faune présente le long de celui-ci.

Il existe dix types d'ouvrages de franchissement utilisables par la faune :

- Passages simples pour petite et moyenne faune (Type ❶)
- Passages pour petite faune et batraciens (Type ❷)
- Passages inférieurs pour faune moyenne (Type ❸)
- Passages inférieurs à usage mixte (Type ❹)
- Passages inférieurs pour grande faune (Type ❺)
- Passages sous les viaducs (Type ❻)
- Passages supérieurs à usage mixte (Type ❼)
- Passages supérieurs pour ongulés (Type ❽)
- Passages supérieurs larges ou ponts biologiques (Type ❾)
- Ponts écologiques ou paysagers (Type ❿)

Une description détaillée de ces passages est donnée au chapitre D.6.2

Les ouvrages de franchissement de cours d'eau qui concerne les types ❸ à ❻ et les ouvrages hydrauliques accompagnés d'un passage type ❶ ou ❷ sont traités séparément au chapitre D.6.2.12.

Il faut distinguer les passages spécifiques, c'est-à-dire construits uniquement pour la faune, des passages non spécifiques dont la vocation première n'est pas de servir à la faune.

PASSAGES NON SPECIFIQUES

Il n'est pas nécessaire de les choisir, car ils sont imposés par d'autres éléments comme les croisements de voies de circulation, les franchissements de vallées ou de cours d'eau et pour des raisons paysagères ou de protection contre le bruit. Ce sont les types ❹, ❻, ❼ et ❿, avec une réserve toutefois pour les types ❻ et ❿ qui peuvent dans certains cas être prévus comme étant des passages spécifiques (voir « Passages spécifiques » ci-après).

Les passages non spécifiques contribuent à la perméabilité de base de la voie de circulation. Il est donc nécessaire de les adapter au mieux pour leur utilisation par la faune lorsque celle-ci est présente. Le gain de perméabilité est souvent non négligeable en comparaison du surcoût.

Si les types ❻ et ❿ sont très efficaces pour toutes les catégories de faune, l'efficacité des types ❹ et ❼ est très relative et dépend fortement de son utilisation par l'homme (cf chapitre D.6.2).

Le Tableau D.5-2 donne les possibilités d'utiliser ces types de passages quand ils existent en fonction des différents cas faunistiques qui peuvent se présenter.

PASSAGES SPECIFIQUES

En dehors des types ⑥ et ⑩ qui dépendent de situations exceptionnelles, le choix dépend principalement de la catégorie de faune concernée par la mesure.

Les types ⑥ et ⑩ peuvent être envisagés comme spécifiques dans les cas où la voie de circulation viendrait à traverser un milieu de haute valeur, faute de pouvoir passer ailleurs, et que la continuité sur ou sous la voie de circulation devrait être maintenue intégralement.

Le choix entre un passage supérieur (⑧, ⑨) ou inférieur (③, ⑤) est dicté principalement par le profil en long de la voie de circulation et par le respect des règles d'implantation (cf chapitre D.5.3.3). Toutefois, il est important de connaître le postulat suivant :

Un passage supérieur est plus efficace pour les espèces exigeantes. De part ses nombreuses possibilités d'aménagement, il peut être utilisé par une plus grande diversité d'espèces.

Le Tableau D.5-2 permet de choisir un type de passage en fonction de la situation rencontrée.

LEGENDE

Nécessité de la présence d'ouvrage

gris foncé : passage pas indispensable

gris clair : passage pas nécessaire si la zone touchée représente une part insignifiante de la zone-réservoir globale ou du corridor.

blanc : passage indispensable

Efficacité du type d'ouvrage

① passage recommandé

② passage efficace, mais pas optimum selon le rapport coût/efficacité pour cette catégorie faunique seule

③ passage possible, mais efficacité aléatoire (pas recommandé)

Dimension des ponts biologiques en première estimation (à distinguer encore selon cas décrits au chapitre D.5.2.10)

④↗ pont biologique recommandé avec une grande largeur (40-50m)

④⇒ pont biologique recommandé avec une largeur moyenne (30-40m)

④↘ pont biologique recommandé avec une largeur réduite (20-30m)

⑤ Passage spécifique

⑥ *Passage non spécifique*

(*) Les passages ②, ③ et ④ ne sont pas adaptés aux insectes

Tableau D.5-2 : Matrice de choix d'un type de passage

D.5.4 MESURES DE PROTECTION POUR L'AVIFAUNE

Les **mesures** généralement recommandées pour la faune gardent toutes leurs valeurs pour minimiser les conflits avec l'avifaune. Il s'agit en particulier des suivantes :

- **choix du tracé**, évitant les milieux favorables aux espèces les plus rares ou les plus sensibles (en Suisse par exemple: chouette chevêche, gallinacés, limicoles, etc.),
- **traversée des cours d'eau** favorable non seulement aux poissons mais à toute la faune aquatique et semi-aquatique, ce qui implique en particulier un dimensionnement suffisant du passage et des conditions de courant adaptées à la nage des oiseaux aquatiques,
- **assurer la continuité du réseau** par des passages supérieurs végétalisés. Une étude sur le comportement des oiseaux à proximité de passages biologiques montre qu'en période de reproduction une majorité des oiseaux préfère survoler la végétation présente sur les ouvrages de franchissement plutôt que de traverser les chaussées [KELLER & al., 1996].

Les mesures spécifiques suivantes sont à prendre en compte pour limiter les problèmes de l'avifaune :

- **positionner correctement les clôtures à faune** dont les piquets servent de perchoir aux rapaces. Si les piquets sont proches de la chaussée, légèrement surélevés et qu'il n'y a pas de plantation de buissons sur les talus, les rapaces perchés s'envoleront systématiquement en plongeant en direction de la chaussée,
- **favoriser le passage en tranchée des voies de circulation** aux intersections avec des éléments importants du réseau écologique (haies, lisières de forêts). A défaut, prévoir un obstacle physique (palissade, mur antibruit, haie dense) obligeant les oiseaux à survoler la chaussée à plus de trois mètres,
- **aménager les bas-côtés** des voies de circulation avec des plantations favorables à l'avifaune sur les secteurs les plus éloignés de la circulation. Éviter en particulier de rendre attractive la bande centrale qui incite les oiseaux à des passages répétés (pas de buissons à baies par exemple),
- **limiter l'installation d'éléments transparents** (parois antibruit) de manière générale, et en particulier les proscrire complètement aux intersections avec le réseau écologique (haies, lisières et cours d'eau). Le cas échéant, les doter de bandes de marquage (selon modèle ASPO) pour augmenter leur visibilité pour les oiseaux,
- **planter des arbustes et des buissons sur les grands talus en déblais** pour limiter la prolifération de campagnols qui constituent les ressources alimentaires principales des rapaces nocturnes et diurnes en période hivernale.

D.5.5 MESURES DE PROTECTION POUR LES INVERTEBRES

Au contraire des vertébrés, la **capacité d'adaptation** des invertébrés à certains aspects transformés de leur environnement est faible, voire inexistante (comportement rigide). Chez les invertébrés, il est délicat de prédire le comportement des individus et a fortiori des populations et des peuplements, car les connaissances à ce propos sont très réduites. Les effets de la fragmentation du paysage sont controversés, étant donné le faible rayon d'action de certains invertébrés.

La protection des invertébrés passe donc prioritairement par la protection de leur habitat et par des mesures de compensation telles que la création et la revitalisation de milieux.

Il est également possible de favoriser leur circulation le long de la voie de circulation par les mesures suivantes :

- **aménagement adéquat** des bas-côtés, des accotements, des talus et autres dépendances vertes,
- **création de corridor de connexion** entre les habitats accotés aux infrastructures de transport et ceux qui sont situés plus en retrait,
- **constitution et interconnexion de biotopes** de substitution et de compensation,
- **revitalisation** générale des paysages traversés par les infrastructures de transport.

Il faut veiller cependant à ce que les aménagements directement accotés aux infrastructures de circulation, trop petits, mal conçus et mal entretenus, ne deviennent des pièges mortels pour les invertébrés.

Le rétablissement des déplacements des invertébrés de part et d'autre des infrastructures de transport n'est en général pas nécessaire. Par contre, si le maintien de sous-populations rares et protégées ne peut pas être garanti par la conservation de milieux favorables en suffisance et si des connexions avec des milieux semblables ne peuvent pas être créées, la construction d'un ouvrage de franchissement adapté aux invertébrés doit être envisagée. Dans ce cas, il est indispensable de recréer le milieu favorable à l'espèce concernée sur le passage, pouvant aller du milieu ouvert de type herbeux à la reconstitution d'une forêt. La construction d'un passage de type ⑨ (pont biologique), voire de type ⑩ (pont paysager) peut donc être nécessaire.

Cependant, lorsqu'un passage à faune est construit, il est possible d'en tirer profit pour les invertébrés en diversifiant ses aménagements. A noter que les passages inférieurs et viaducs bas sont inefficaces pour la plupart des invertébrés se déplaçant au sol.

D.6 MISE AU POINT DE MESURES DE PROTECTION

D.6.1 INSTALLATIONS DE SECURITE

D.6.1.1 Généralités

Il existe deux types d'installations de sécurité en relation avec les voies de circulation :

- Les **obstacles** ayant pour but d'interdire aux animaux l'accès aux voies de circulation et de les guider vers les passages à faune.
- Les **signalisations de danger** rendant les conducteurs attentifs à la présence éventuelle de faune ou inversement permettant à la faune de percevoir le danger (surface réfléchissante par exemple).

Le choix entre l'une ou l'autre des ces installations est un compromis entre sécurité, coût et perméabilité de l'infrastructure de transport. La pose d'obstacles augmente la sécurité, mais entraîne une réduction de la perméabilité qui doit être compensée par des ouvrages de franchissement, d'où augmentation du coût. Deux règles sont toutefois à retenir :

Les passages à faune spécifiques ou non spécifiques qui sont inclus dans un bilan de perméabilité doivent s'accompagner de la pose d'obstacles afin de guider la faune vers ceux-ci (exception faite du passage simple pour petite et moyenne faune de type ❶)

Pour une infrastructure de transport offrant de par sa nature (faible trafic, substrat, etc.) une perméabilité suffisante, les obstacles doivent être limités au maximum afin de ne pas augmenter la fragmentation. Les signalisations de danger permettent dans ce cas d'améliorer la sécurité au droit des zones à risques.

Il existe deux types d'obstacles principaux pouvant être mis en place pour la faune :

- les **clôtures** en treillis métallique (cf chapitre D.6.1.2), voire électriques (cf chapitre D.6.1.3).
- les **caniveaux ou murets** à batraciens et petite faune (cf chapitre D.6.2.3).

Les murs, les parois rocheuses et les aménagements routiers divers tels que les galeries paravalanches ou les parois antibruit jouent aussi le rôle d'obstacle.

Tous ces obstacles peuvent être combinés entre eux et doivent former ensemble un écran étanche sur toute sa longueur. Toutefois, l'étanchéité de cet écran ne sera jamais absolue, car il y a toujours des discontinuités dues, par exemple, aux accès à la voie de circulation protégée.

Les obstacles doivent être établis en tenant compte de :

- la faune concernée, son comportement et ses besoins
- la configuration du terrain
- la couverture du sol
- d'autres éléments touchés par ces obstacles, tels que la voie de circulation elle-même, son exploitation, son entretien, etc.

Les **caractéristiques des obstacles** doivent tenir compte de la faune concernée et de son comportement face à un obstacle et en particulier de ses capacités à :

- fouiller le sol sous un obstacle
- se couler dans des trous et interstices des obstacles
- sauter ou escalader des obstacles
- se déplacer le long d'un obstacle

D.6.1.2 Clôtures à faune

Les clôtures sont formées par des treillis fixés à des poteaux (cf Figure D.6-1). Elles constituent actuellement la mesure la plus efficace pour éviter les collisions entre véhicules et animaux.

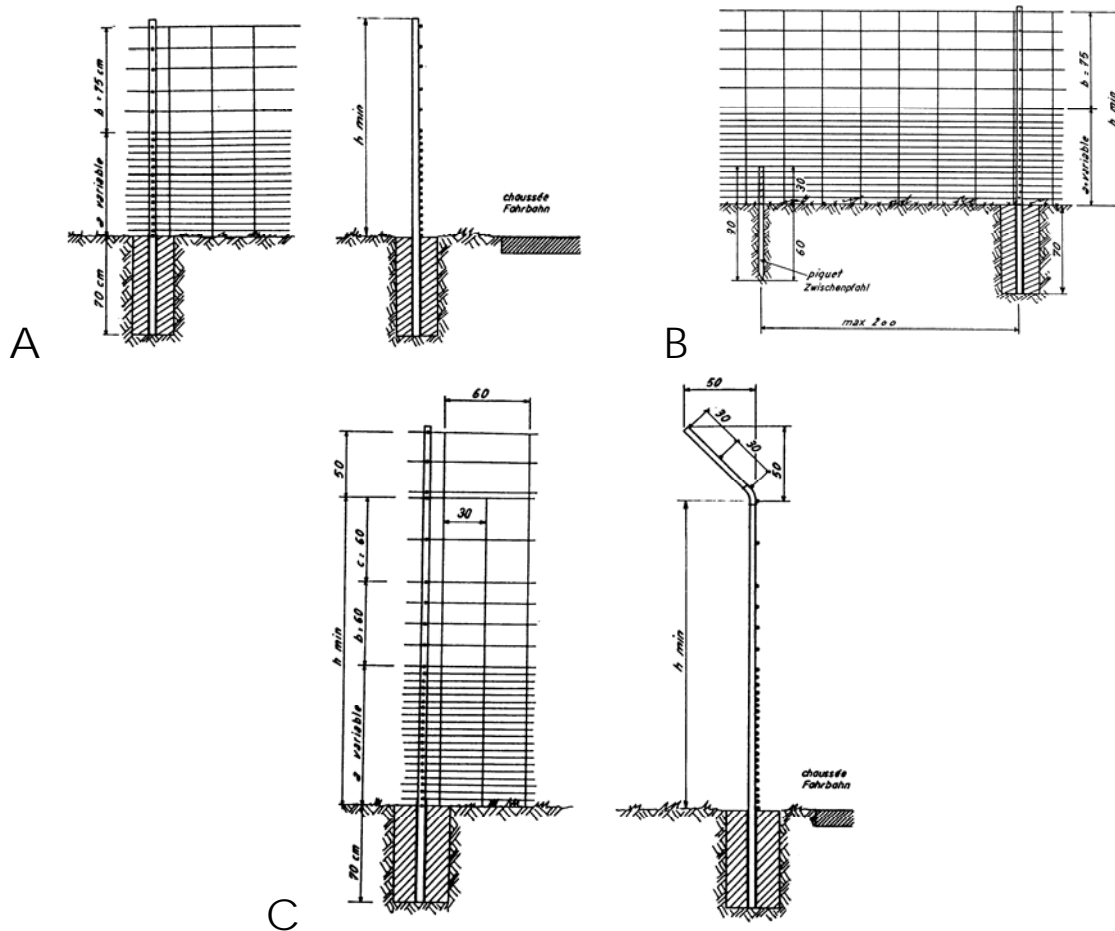


Figure D.6-1 : Types de clôtures à faune : A – Clôture à chevreuil ; B – Clôture à sanglier ; C - Clôture à cerf

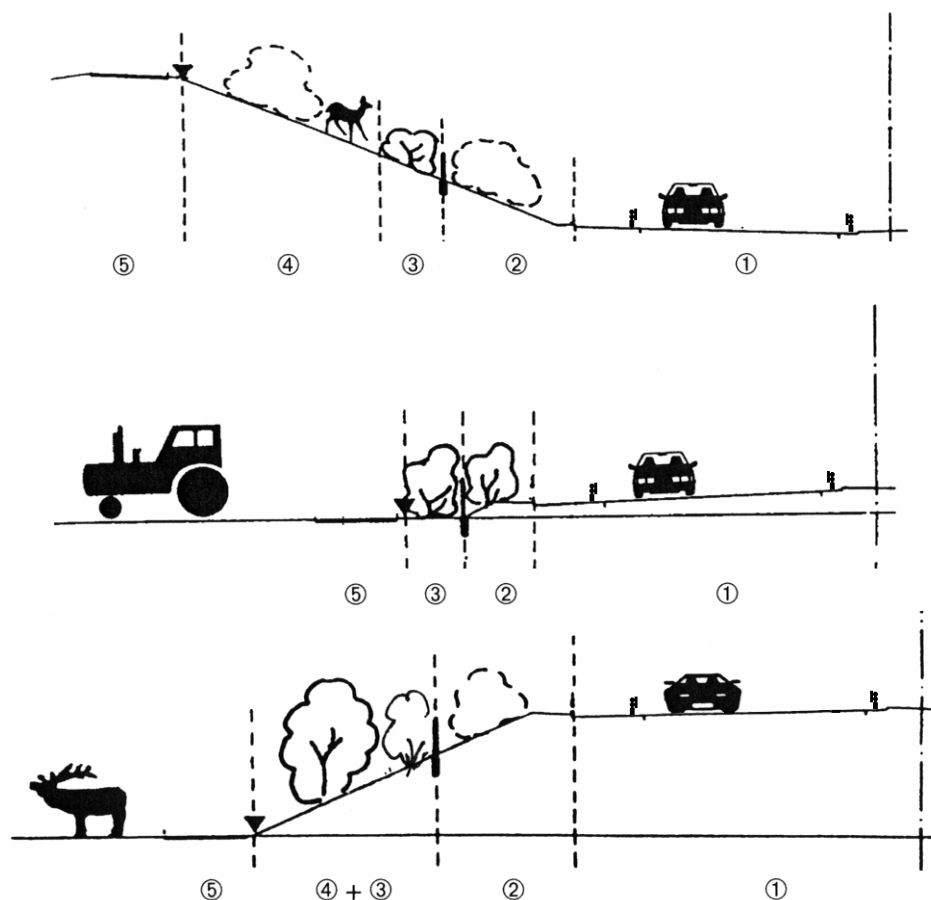
L'efficacité des clôtures va dépendre de plusieurs éléments à respecter lors du choix du type de clôture, de ses dimensions, de son installation et de son emplacement.

Les **dimensions et caractéristiques des clôtures** doivent être fixées en fonction du comportement des grands mammifères dangereux pour le trafic et se trouvent en détail dans la norme SN 640 693a. Elles ne sont donc pas reprises ici.

La **longueur** de la clôture et son raccordement aux ouvrages de franchissement doit être tel que les animaux ne puissent pas contourner l'obstacle et qu'ils soient amenés à utiliser les traversées existantes (Figure D.6-3, Figure D.6-4).

L'**emplacement des clôtures** par rapport à la voie de circulation joue un rôle important dans le contexte faune/trafics. Elles doivent être situées aussi près que possible de la surface utilisée par les véhicules, compte tenu des impératifs de la circulation (gabarit d'espace libre, bermes de visibilité, visibilité des panneaux de circulation, etc.) et de l'entretien de la voie de circulation et de ses abords immédiats (surfaces herbeuses comprises entre la voie de circulation et les obstacles, déblaiement de la neige, etc.).

Cet emplacement libère ainsi l'espace plantable à la faune (Figure D.6-2) qui peut l'utiliser comme couvert et corridor pour ses déplacements. Il complique toutefois l'entretien des surfaces au-delà des clôtures qui ne peut être effectué depuis la voie de circulation concernée (problème de desserte des surfaces à entretenir). Il doit être modifié si les techniques d'entretien de la végétation et les accès aux espaces verts l'imposent.



Légende : 1 autoroute, 2 végétation ornementale, 3 haie-écran de buissons, 4 végétation naturelle spontanée ou plantée, 5 piste d'accès pour l'entretien des talus.

Figure D.6-2 : Position de la clôture en fonction de la morphologie du terrain

Des précautions particulières d'implantation et de raccordement au droit des passages doivent être prises pour éviter que les clôtures créent des culs de sac ou des entonnoirs obligeant les animaux à sauter sur la chaussée (Figure D.6-3, Figure D.6-4).

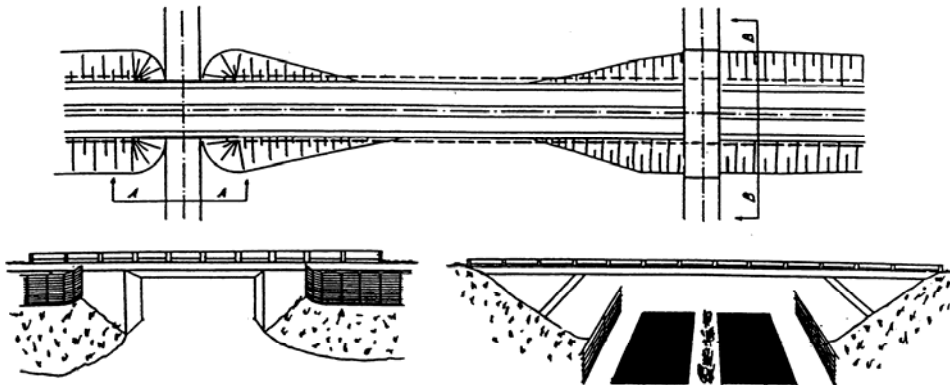


Figure D.6-3 : Disposition des clôtures à faune autour des ouvrages dénivelés. Plan de situation et vues perspectives

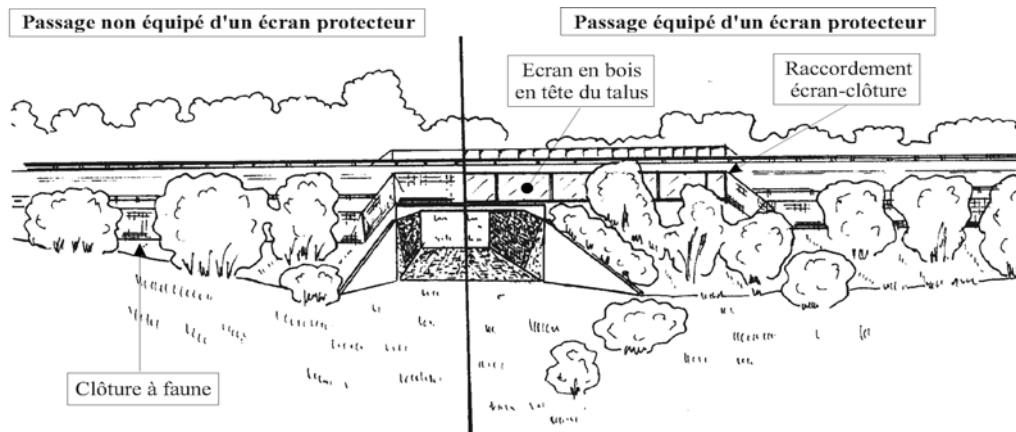


Figure D.6-4 : Disposition de la clôture autour d'un passage inférieur. La végétation accompagnatrice, située à l'extérieur de la clôture, est accessible à la faune

Les types et les hauteurs de clôtures conseillés par la norme créent généralement un obstacle efficace pour retenir les animaux relativement sédentaires. Ces clôtures s'avèrent par contre insuffisantes pour des animaux effectuant des déplacements importants ou encore pour des animaux poursuivis. Ces animaux sont capables de franchir dans ce cas des obstacles de plus de 2,50 m si nécessaire. Aucune clôture n'est alors efficace. Il est donc nécessaire de renforcer l'efficacité des clôtures en les masquant par des buissons. Les observations effectuées depuis de nombreuses années montrent clairement que, habitués à traverser la végétation dense des fourrés et des haies, les animaux ne cherchent jamais à franchir en sautant un obstacle pris dans la végétation.

Une clôture doit être doublée par une rangée de buissons du côté d'où viennent les animaux pour atteindre son efficacité maximale (Figure D.6-5).

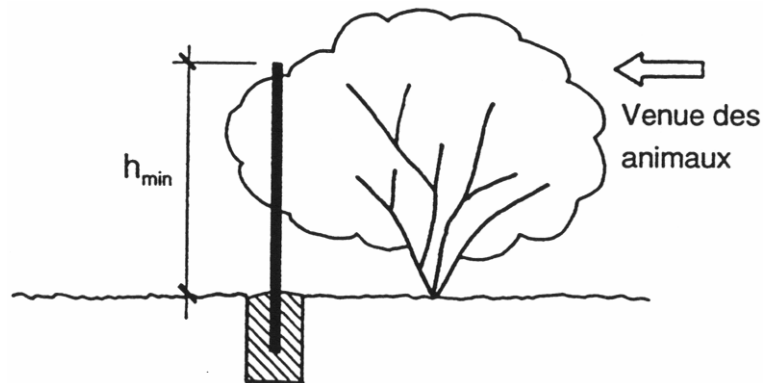


Figure D.6-5 : Renforcement de l'efficacité d'une clôture par une rangée de buissons

D.6.1.3 Installations de protection diverses

Il existe plusieurs autres mesures, plus ou moins efficaces, destinées à diminuer les accidents avec la faune soit en influençant son comportement, soit en agissant sur les conducteurs. Elles sont en général utilisées le long des routes dont l'importance et le trafic ne justifient pas la mise en place de mesures de protection onéreuses telles que clôtures et passages à faune, mais dont le risque de collision avec des animaux est relativement élevé et localisé (points noirs).

Ces différentes mesures sont indiquées dans le tableau ci-dessous (Tableau D.6-1) avec leurs principales caractéristiques.

Parmi les mesures signalées, seul le panneau avec signalisation lumineuse couplée à une installation de détection de la présence de gibier offre une réelle efficacité [KISTLER, 1998]. Les autres mesures, moins coûteuses, peuvent malgré tout servir de palliatif dans certains cas particuliers.

Mesures	Principe	Coût	Efficacité	Remarques
Panneaux de signalisation simple (mesure selon norme OCR)	Agit sur le conducteur en l'incitant à diminuer sa vitesse	☺	☹	Le taux d'accident n'est pas influencé par ce type de signalisation, les conducteurs diminuant rarement leur vitesse.
Panneaux avec signalisation lumineuse couplée à une installation de détection de la présence de gibier (par exemple, installation Calstrom WWA-12-S)	Inciter les conducteurs à diminuer leur vitesse	☹	☹ / ☺	Le taux d'accident est diminué de façon significative. Les conducteurs sensibilisés par cette signalisation réduisent leur vitesse. Utilisable au droit de corridors de faible largeur.
Clôtures électriques (3 fils électriques de même type que ceux utilisés pour le bétail)	Agit sur les grands animaux (cerfs, chevreuils, sangliers, renards)	☹	☹ / ☺	La surveillance du fonctionnement et l'entretien sont compliqués. Elles peuvent être sautées ou évitées par en dessous. A n'utiliser que pour des actions ponctuelles et limitées dans le temps. Difficilement utilisables sur de grandes distances.
Surfaces réfléchissantes	Réflexion de la lumière des phares dans les abords de la voie de circulation afin d'effrayer les animaux	☺	☹	Des essais en vraie grandeur et de longue durée ont montré que ces surfaces n'entraînent aucune réduction du nombre d'accidents.
Substrats spéciaux ou grilles de sol.	Utilisation d'un substrat avec effet répulsif sur les animaux (gravier, tubes métalliques)	☹	☹	Ce type de mesure peut s'avérer utile pour empêcher certains animaux de pénétrer par les jonctions ou les voies de service peu fréquentées sur une voie principale (hérissons, tous les ongulés, etc.).
Produits olfactifs	Odeurs répulsives pour les animaux	☹	☹	Différents types de produits sont proposés sur le marché. Leur efficacité est faible et très temporaire.
Appareils à ultrasons	Sons avec effets répulsifs pour les animaux et inaudible par l'homme	☹	☹	Utilisation ponctuelle nécessitant un contrôle de fonctionnement permanent. Donc seule une utilisation provisoire est envisageable.
Mesures physiques de réduction de vitesse	Revêtement de chaussée inégal ou ralentisseur	☹	☺	Utilisation localisée aux tronçons présentant des passages fréquents de faune.

Tableau D.6-1 : Installations de protections diverses

D.6.2 SYSTEME DE FRANCHISSEMENT POUR LA FAUNE

D.6.2.1 Aménagements : principes de base

Un système de franchissement comprend les ouvrages permettant la traversée de la voie de circulation, les aménagements complémentaires nécessaires pour guider et attirer la faune vers le passage et les obstacles empêchant les animaux d'accéder à la chaussée et les obligeant à emprunter les passages qui leur sont réservés.

La qualité de ces aménagements revêt une très grande importance pour l'efficacité globale des passages.

Les aménagements doivent assurer les fonctions suivantes :

- **guidage des animaux** vers le passage (écrans, plantes appétentes, zone dégagée facilitant le déplacement, amélioration des corridors),
- **réduction des nuisances** dues aux activités humaines (écran, couvert végétal, digues de terre, murs, etc.) ; le bruit, les odeurs et la lumière ayant un effet répulsif indubitable sur les animaux,
- mise à disposition de **couverts ou de zones de refuge** augmentant ainsi le sentiment de sécurité des animaux,
- création d'une **continuité dans le paysage** par la mise en place de milieux analogues et complémentaires,
- faciliter le **suivi du fonctionnement des ouvrages** (pièges à traces, aménagement de zone de surveillance).







Les aménagements comprenant des plantations ne sont efficaces qu'à moyen terme (2 à 3 ans), étant donné la phase de croissance des végétaux. Il est donc nécessaire de les réaliser le plus rapidement possible durant la phase de construction.

Plusieurs **zones d'aménagements** sont à distinguer par leurs caractéristiques et leur rôle dans l'efficacité du système de franchissement (Figure D.6-6) :

- les **surfaces de cheminement** sur le passage qui est une zone de transit (**zone A**)
- les **abords immédiats** du passage correspondant à une zone d'attente (**zone B**)
- les **corridors de liaison** vers les zones-réservoir (**zone C**)

Une **surlargeur** éventuelle définie par négociation est à considérer comme une mesure complémentaire. Elle vise à augmenter la quantité (nombre et surface) de milieux favorables à l'ensemble de la faune sur le passage.

Légendes :

- Passage à faune (zone A)
- - - Limite des abords du passage (zone B)
- Limite des corridors de liaison (zone C)
-  Forêt existante
-  Andain de pierres et souches
-  Plantation forestière
-  Prairie
-  Haie
-  Sol pierreux

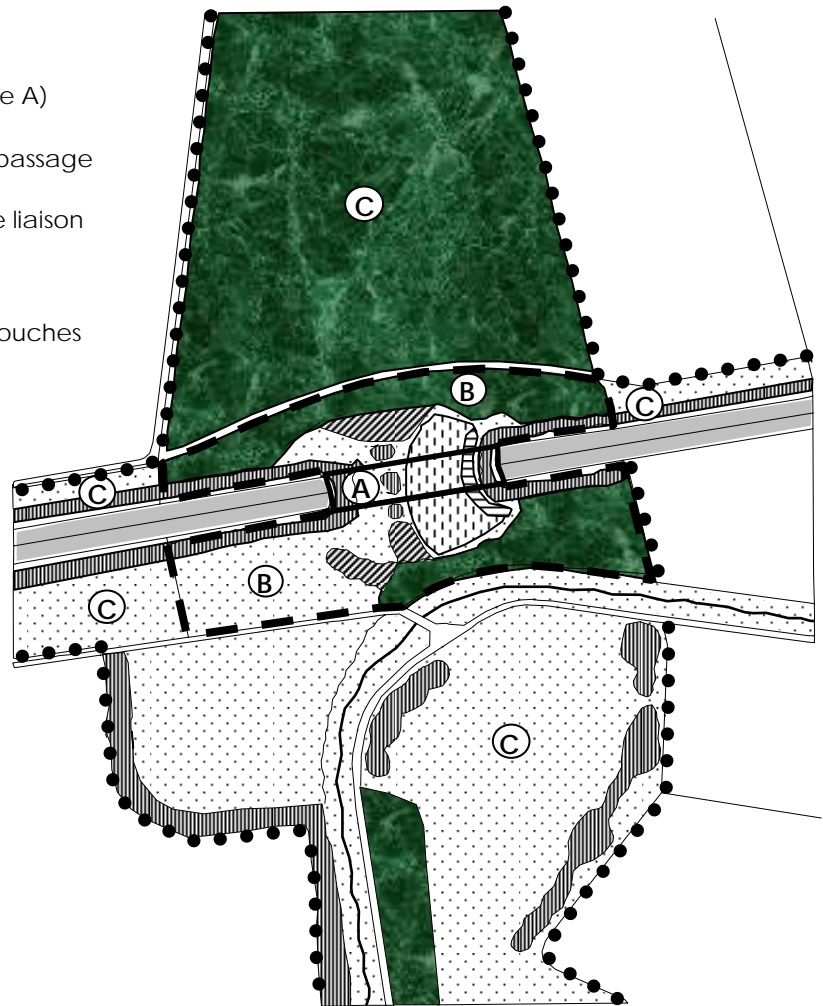


Figure D.6-6 : Représentation schématique d'un passage à faune et de ses zones d'aménagement

Aménagements possibles	Part de l'efficacité globale escomptée	Facteur de coût
Surface de cheminement du passage (zone A)	10 - 20 %	1 (CHF 10'000.-)
Abords du passage pour créer une zone refuge (zone B)	10 - 20 %	2 (CHF 20'000.-)
Corridors de liaison vers les zones-réservoir (zone C)	40 - 60 %	100 (CHF 1 mio.)
Création d'un passage plus large	30 - 50 %	100 - 500 (CHF 1 - 5 mio.)

Tableau D.6-2 : Rapport coût-efficacité de différentes mesures d'après les coûts de réalisation de 5 passages à faune réalisés en Suisse et en France [ECONAT].

Si les zones A et B sont la plupart du temps prises en considération lors de l'élaboration de la mesure, la zone C l'est plus rarement. Il est vrai qu'elle peut se prolonger loin de l'emprise de la voie de circulation et que sa revitalisation peut avoir un coût élevé. Le Tableau D.6-2 montre son importance dans l'efficacité globale d'un aménagement.

Bien que les chiffres du tableau soient des estimations, ils indiquent toutefois que le rapport coût/efficacité est croissant de la zone A à C, avec une augmentation encore pour la création d'un passage plus large. Lors de la planification d'une mesure de franchissement, il convient donc d'étudier prioritairement toutes les possibilités d'améliorer les aménagements des zones A, B et C, car elles permettent d'obtenir une meilleure efficacité à un moindre coût.

Pour le concepteur, deux stratégies sont possibles pour **optimiser l'efficacité d'un ouvrage** de franchissement pour la faune :

Stratégie 1 : L'ouvrage construit a une largeur minimale, mais le gabarit est acceptable pour l'ensemble des groupes de faune concernés. L'efficacité optimale (100%) est obtenue par des aménagements appropriés des zones A, B et C sans investissement dans une surlargeur. Le facteur de coût est de l'ordre de 100. Toutefois, l'aménagement des corridors de liaison (zone C) oblige le Maître d'ouvrage à acquérir des terrains hors de l'emprise habituelle d'une infrastructure de transport.

Stratégie 2 : L'ouvrage construit est maximal et offre sans problème des possibilités d'utilisation pour l'ensemble des espèces concernées. L'efficacité obtenue par des investissements maximaux dans les zones A, B et un passage plus large ne peut guère dépasser 70% dans le cas où le corridor de liaison (zone C) ne pourrait pas être maintenu ou amélioré. Le facteur de coût monte de 200 à 500 et plus, selon la surlargeur acceptée. Le Maître d'ouvrage aura investi dans un ouvrage à entretenir, mais reste dans les emprises traditionnelles de chantier sans avoir toutefois la garantie du fonctionnement à long terme de son ouvrage.

Le raisonnement développé ci-dessus sur la base des grands passages reste valable dans une certaine mesure pour des passages de plus petites dimensions.

D.6.2.2 Passages simples pour petite et moyenne faune (Type ①)

PRINCIPE

Certains animaux fouisseurs ou utilisant des gîtes souterrains recherchent et visitent spontanément toutes les cavités. Un tuyau traversant un remblai l'est également et leur sert de passage privilégié.

ESPECES CONCERNEES

Ce type de passage est efficace pour les animaux nocturnes ou vivant volontiers sous terre tels que renards, blaireaux, fouines et martres, putois, hermines, hérissons, lapins, campagnols, musaraignes, etc.

DIMENSIONS

- tuyaux de ciment ou de polyéthylène placés dans un remblai ; diamètre compris entre 40 et 200 cm, diamètre optimal à 100 cm pour une meilleure diversité des espèces.
- longueur utile 40 m et plus.

AMENAGEMENTS

La pose d'une clôture n'est pas indispensable, mais reste utile pour guider les animaux vers le passage.

ENTRETIEN

Aucun. Les animaux de passage se chargent d'évacuer au fur et à mesure les débris végétaux et les pierres pouvant obstruer le conduit.

RECOMMANDATIONS

- Il n'est pas nécessaire de jointoyer les éléments.
- Le tuyau doit être posé au niveau du sol ou légèrement au-dessus et avec une légère pente afin d'assurer l'évacuation de l'eau.
- Il peut servir à la récolte des eaux de surface pour autant qu'elles ne puissent stagner nulle part.
- Vu son rapport coût/efficacité très bas, ce type de passage devrait être mis en place environ tous les 500 m là où la faune concernée est présente et où la voie de circulation est en remblai.
- Le dimensionnement s'effectue selon les normes sur les canalisations en vigueur [SN 533 190].

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

Très nombreux sur les nouveaux tracés autoroutiers. En moyenne un passage/km dans les zones de plaine. Par exemple sur la N1, tronçon Payerne-Avenches.



Figure D.6-7 : Exemple de passage simple pour petite et moyenne faune

D.6.2.3 Passages pour petite faune et batraciens (Type ②)

PRINCIPE

La majorité des animaux de petite taille hésite ou refuse d'emprunter spontanément un passage sombre de petites dimensions. La combinaison d'un système de guidage ou de capture parallèle à la chaussée avec l'ouvrage de franchissement est nécessaire.

Le comportement très particulier de ces animaux, par rapport à l'environnement et surtout par rapport à la route, a nécessité la mise au point d'ouvrages complexes.

Une installation complète de protection pour les batraciens est toujours composée de deux parties distinctes :

- Un obstacle collecteur placé en parallèle de chaque côté de la chaussée, destiné à interdire l'accès à la voie de circulation aux amphibiens et à les canaliser vers l'installation de franchissement.
- Une installation de franchissement constituée de plusieurs conduits placés sous la chaussée.

Deux catégories de passages à batraciens sont proposées en Suisse :

- Une première installation, appelée « passage à double conduit » ou encore « **passage à sens unique** » est normalisée en Suisse (cf Figure D.6-8). Son efficacité est optimale dans toutes les situations [BERTHOUD, G. & S. MÜLLER, 1984].
- L'autre catégorie d'installations appelées « passages à conduit unique » ou encore « **passages à double sens** » regroupe des systèmes plus simples, donc moins coûteux à la construction, utilisant des conduits placés dans le corps de la chaussée et caractérisés par le fait que les animaux peuvent circuler librement dans les deux sens. Divers types de conduits, de matière et de taille différente, ont été proposés avec plus ou moins de succès, ceux rectangulaires avec un fond de terre semblent donner les meilleurs résultats. Leur efficacité est inférieure au passage à sens unique, mais peut être suffisante dans certains cas [GROSSENBACHER 1981, RYSER 1985].

ESPECES CONCERNEES

Toutes les espèces de batraciens (grenouilles, crapauds, salamandres, tritons, etc) utilisent parfaitement ces passages, avec toutefois un faible rendement pour les tritons qui ont tendance à se perdre à l'intérieur. Le système à « passage à sens unique » (voir ci-après) permet également le passage de l'ensemble de la petite faune des vertébrés (campagnols, musaraignes, hérissons, etc.) avec une remarquable efficacité et le passage de quelques invertébrés terrestres.

DIMENSIONS

Les dimensions varient selon les types d'installation. Elles sont de l'ordre de grandeur d'un demi-mètre pour les conduits passant sous la route.

Toutes les données techniques concernant les passages à sens unique sont indiquées dans les normes SN 640 697a, SN 640 698 et SN 640 699.

AMENAGEMENTS

Certaines bouches d'évacuation des eaux, conduits, etc. peuvent être des pièges mortels pour les batraciens. Le positionnement adéquat de l'obstacle collecteur (capture ou guidage) doit les mettre hors de portée.

ENTRETIEN

Les installations demandent peu d'entretien en dehors de l'élimination de la végétation et des débris qui peuvent l'encombrer. Une visite annuelle au printemps avant la migration de reproduction des batraciens est nécessaire.

RECOMMANDATIONS

- Toute stagnation d'eau doit être évitée. Sous cette condition seule, il est possible de récolter et d'évacuer les eaux de surface avec l'installation.
- Etant donné la réalisation assez complexe de tous les détails de l'installation, la présence d'un spécialiste de la faune lors de l'établissement du projet et éventuellement lors de l'exécution des travaux est recommandée.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

Trois installations le long de la route cantonale Yverdon-Yvonand (VD), au bord du lac de Neuchâtel.

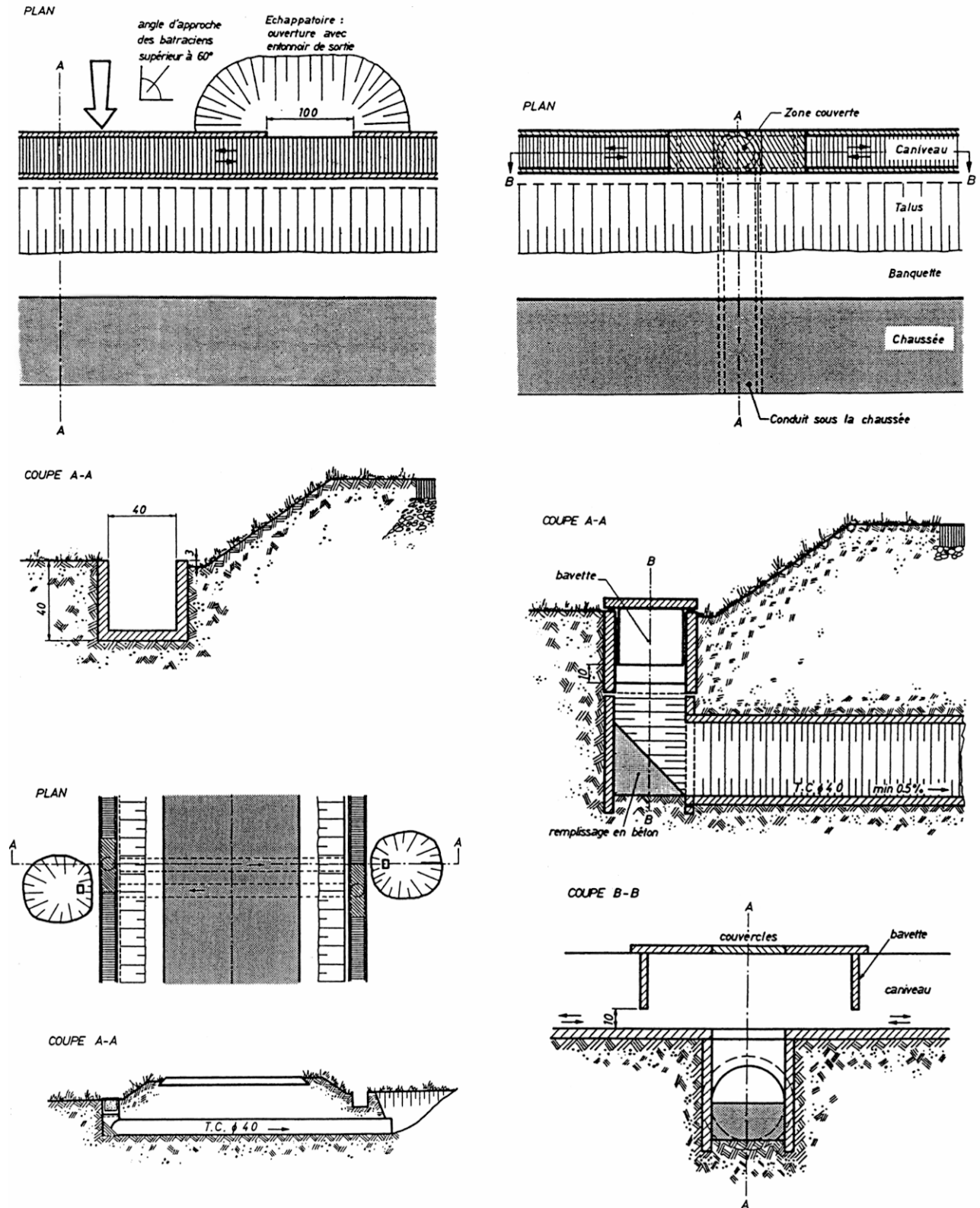


Figure D.6-8 : Schéma d'une installation de traversée pour les amphibiens. Système à sens unique.

D.6.2.4 Passages inférieurs pour faune moyenne (type ③)

PRINCIPE

Ce sont de petits ouvrages de type buses, voûtages ou de section rectangulaire dédiés uniquement à la faune. Ils permettent une perception suffisante par les animaux de la lumière et de la végétation située de part et d'autre du passage.

Ce type d'ouvrage ne sert pas au maintien des échanges biologiques de la grande faune et un simple tuyau de ciment joue quasiment le même rôle qu'un ouvrage de ce type. Il est donc utile lors du rétablissement de petits cours d'eau (cf chapitre D.6.2.12), car il peut servir à la fois à la petite et moyenne faune ainsi qu'à la faune amphibie.

ESPECES CONCERNEES

Ce groupe de passages est efficace pour les renards, blaireaux, hérissons et différentes espèces de mustélidés et pour les espèces amphibiennes en présence d'un cours d'eau. Ils sont utilisés occasionnellement par les chevreuils, les sangliers et les chamois sur les sites les plus favorables.

DIMENSIONS

Les dimensions intérieures de ces ouvrages peuvent être très variables.

- des buses de diamètre compris entre 2 et 6 m,
- de petits ouvrages en béton du genre passages inférieurs compris entre 2 x 2 m et 5 x 4 m, etc.

AMENAGEMENTS

Les aménagements relatifs à la présence d'un cours d'eau sont décrits dans le chapitre D.6.2.12.

Si l'utilisation occasionnelle du passage par une grande faune peu exigeante (sangliers, chevreuils) est souhaitée, les nuisances dues au trafic doivent être réduites au minimum (écran, plantation de buissons, haies) et des végétaux appétents doivent être plantés dans les abords du passage.

ENTRETIEN

Aucun, à part l'entretien courant de la structure de l'ouvrage. La vérification que le passage n'est pas utilisé à des fins détournées doit être effectuée régulièrement.

RECOMANDATIONS

L'apport de lumière au sein du passage (puits de lumière, réflexion sur l'eau) augmente son efficacité.

L'épandage d'excréments de l'espèce visée (chevreuil par exemple) favorise l'utilisation du passage par celle-ci [VIGNON, 1999].

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

- Autoroute N1, Payerne-Avenches, Les Longs Prés, commune de Payerne (VD).
- Autoroute N9b, Chavornay-Vallorbe, commune de Montcherand (VD).



© C.E.T.E. de l'Est

Figure D.6-9 : Exemple de passage inférieur pour faune moyenne

D.6.2.5 Passages inférieurs à usage mixte (Type ④)

PRINCIPE

Ces ouvrages servent pour :

- des passages piétonniers
- des passages de dessertes agricoles ou forestières
- des franchissements de cours d'eau (voûtage, etc)

Moyennant quelques adaptations, ils peuvent être utilisés par la faune et entrer en considération dans le bilan global de la perméabilité d'une voie de circulation. Même si leur efficacité est limitée, le coût relativement faible de leur adaptation conduit à un rapport coût/efficacité intéressant.

Le gabarit imposé par les exploitations agricole ou forestière est en général important et permet souvent un bon éclairage et une vue directe sur la végétation de l'autre côté du passage. Une surlargeur est utile pour augmenter l'ouverture et mettre en confiance les animaux craintifs, tels que les ongulés.

L'efficacité du passage dépend très fortement de son utilisation en sus de son implantation et son intégration dans le pays (cf Figure D.6-10). L'efficacité croît proportionnellement à la largeur du passage utilisable par la faune et de façon inversement proportionnel à la fréquence des activités humaines et à l'aspect artificiel du passage (revêtement).

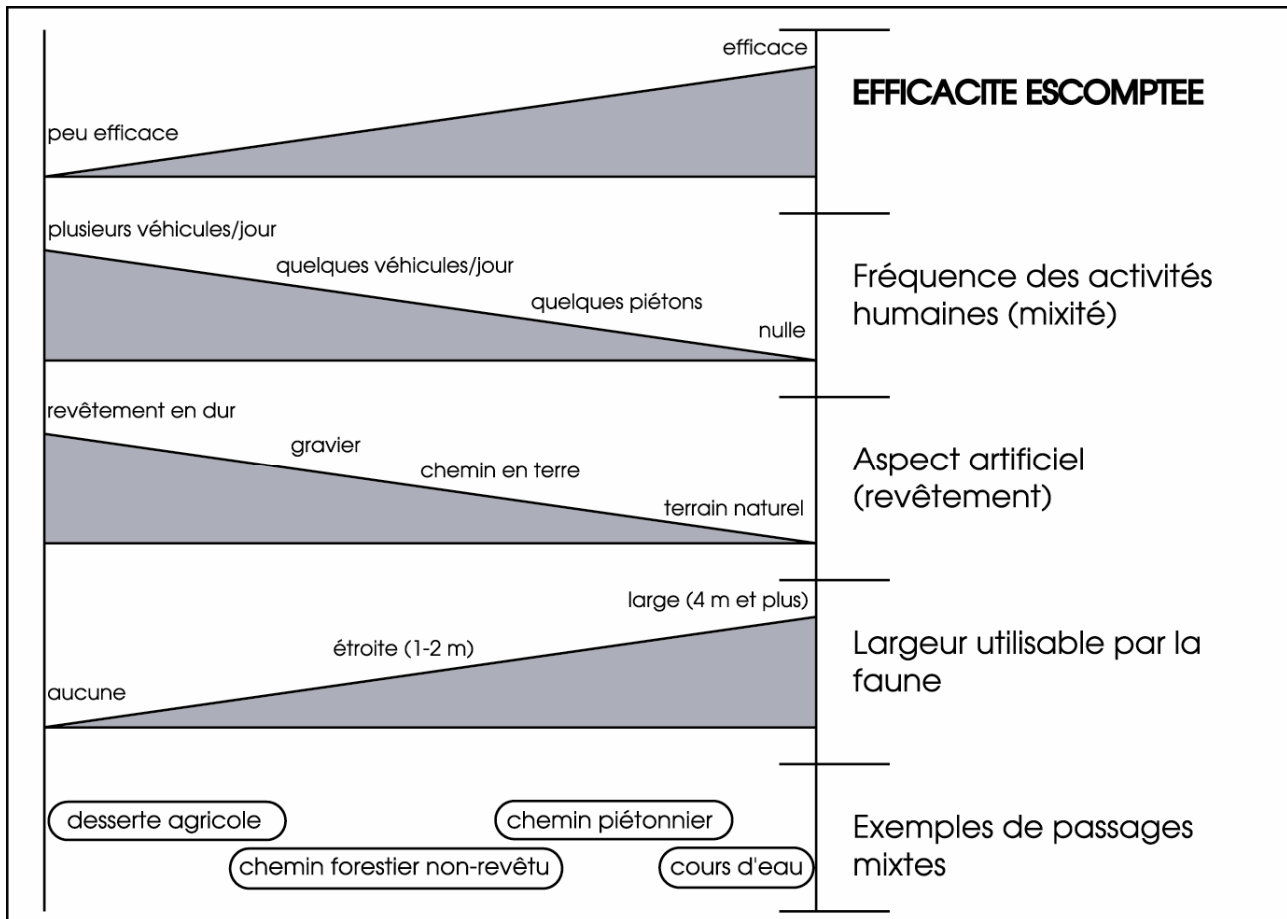


Figure D.6-10 Variation de l'efficacité d'un passage mixte

Les ouvrages de franchissement de cours d'eau sont traités plus loin au chapitre D.6.2.12. La présence d'un cours d'eau est un élément favorisant l'efficacité d'un passage.

ESPECES CONCERNEES

Ces passages sont utilisés par les renards, blaireaux, hérissons et différentes espèces de mustélidés et pour les espèces amphibiennes en présence d'un cours d'eau, mais la fréquentation reste généralement modeste. Ils peuvent être utilisés occasionnellement par les chevreuils et les sangliers. Ils sont inefficaces pour les insectes.

DIMENSIONS

Les dimensions dépendent d'abord de l'utilisation prévue pour l'ouvrage. Le gabarit habituel pour le rétablissement d'une desserte agricole ou forestière est d'au minimum 6 m de large pour une hauteur de 4-5 m permettant le passage d'engins d'exploitation.

Une surlargeur de 2 m et au mieux de 4 m (ou plus) doit être prévue pour la faune. Elle est nécessaire si la desserte a un revêtement en dur (enrobé bitumineux, béton).

AMENAGEMENTS

La sur largeur attribuée à la faune doit être en terre. Lorsque sa largeur le permet (4 m ou plus), la mise en place d'une structure-abri sous forme d'un andain de bois (souches par exemple) et de pierres rend le passage plus attractif, notamment pour certains insectes, reptiles et micromammifères.

La pose de clôtures, notamment en présence de grande faune, est recommandée (cf Figure D.6-4).

ENTRETIEN

Très réduit. Il faut veiller à ce que le passage ne soit pas utilisé pour l'entreposage de matériel ou de machines agricoles.

RECOMMANDATIONS

- Lorsque le trafic sur la desserte est relativement important (par exemple : raccourci pour les habitants d'un village voisin, fréquentation élevée par les promeneurs), son utilisation par la grande faune (ongulés) devient illusoire. Un passage simple à petite et moyenne faune remplacera avantageusement (coût plus faible) une sur largeur du passage mixte dans ce cas.
- Il faut éviter lors de leur conception les situations suivantes piégeant la faune :
 - débouché du passage sur une route à grand trafic
 - passage inférieur dénivelé avec collecteurs d'eau piégeant la petite faune
 - passage inférieur à piétons avec deux rampes d'escaliers piégeant notamment batraciens et hérissons.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

- Autoroute N1, Payerne-Avenches, Les Longs Prés, commune de Payerne.
- Autoroute N9b, Chavornay - Vallorbe, commune de Montcherand.



Figure D.6-11 : Exemple de passage inférieur à usage mixte

D.6.2.6 Passages inférieurs pour grande faune (Type ⑤)

PRINCIPE

Les dimensions plus importantes de l'espace libre de l'ouvrage permettent un bon éclairage à l'intérieur du passage et une vue directe sur la végétation de chaque côté du passage. Sa construction est de type pont court.

La présence d'un cours d'eau occupant moins du tiers de sa largeur est très favorable (cf chapitre D.6.2.12).

Ces ouvrages relativement coûteux sont utilisés pour l'équipement de quelques points critiques le long d'un tracé autoroutier, au droit de corridors à grande faune d'importance régionale, ou dans tous les sites à forte densité de populations d'ongulés.

ESPECES CONCERNEES

Ce type de passage est utilisé par toute la faune si les aménagements sont appropriés, sauf pour les espèces aimant la lumière (certains insectes). Les ongulés, tels que le chevreuil, le chamois, le sanglier et le cerf, utilisent volontiers ce type de passage après un certain temps d'adaptation et à la condition que la végétation sur les talus adjacents ait une structure aussi naturelle que possible.

DIMENSIONS

L'effet tunnel (grande longueur pour faible section) nuit à l'efficacité du passage. Le rapport section (m²)/longueur (m) doit être supérieur à 1.5.

La hauteur de l'ouvrage dépendra principalement du type d'ongulé concerné. Les hauteurs minimales conseillées sont :

- cerf : 4 m
- chevreuil et chamois : 3.5 m
- sanglier : 2.5 m

Les dimensions minimales suivantes sont recommandées :

longueur : 16 m → section : 3 (ou 4) x 8 m

longueur : 25 m → section : 3 x 13 ou 4 x 9 m

longueur : 32 m → section : 4 x 12 ou 5 x 9 m

longueur : 40 m → section : 4 x 15 ou 5 x 12 m

AMENAGEMENT

Dans le passage (zone A, cf chapitre D.6.2.1), il est difficile de faire pousser des plantations vu le manque d'eau et de lumière. Toutefois la mise en place d'andain de bois et d'amas de pierres forme une structure-abri pour la petite faune. Le sol doit être naturel (terre). La présence d'un cours d'eau est un élément favorable (cf chapitre D.6.2.12).

Une zone protégée contre les perturbations du trafic (bruit, lumière et mouvements) doit être créée dans les abords immédiats du passage (zone B). L'efficacité du passage dépend en grande partie du soin apporté aux aménagements de cette zone qui se composent :

- des clôtures (cf Figure D.6-4) prolongées par des écrans (par exemple en bois) au droit du passage.
- des plantations de type buissons le long des clôtures et écrans pour augmenter leur efficacité.
- des plantations basses variées de part et d'autre du passage de façon à servir de structure paysagère guide pour le maximum d'espèces susceptibles d'emprunter le passage (plantes appétentes).

Si le passage est à proximité de zone fréquentée (promeneur, VTT, etc.) et est susceptible d'être utilisé de façon détournée, des panneaux de sensibilisation peuvent être mis en place.

ENTRETIEN

Outre l'entretien des plantations à réduire au minimum (éviter l'envahissement), la vérification que le passage n'est pas utilisé à des fins détournées (entreposage de matériel, passage de promeneurs, etc.) est à effectuer régulièrement.

RECOMMANDATIONS

- Pour assurer l'efficacité recherchée, toute utilisation du passage et de ses abords par l'homme est à éviter.
- Un puits de lumière favorise l'efficacité du passage, surtout si celui-ci est relativement long. Par contre, il ne doit pas être une source de forte augmentation du bruit à l'intérieur de l'ouvrage.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

- Autoroute N1, Yverdon - Payerne, Les Râpes, commune de Musillens (FR).
- Autoroute N16, Boncourt - Courgenay, Malavau, commune de Courgenay (JU).



Figure D.6-12 : Exemple de passage inférieur pour grande faune

D.6.2.7 Passages sous les viaducs (Type ⑥)

PRINCIPE

Le fond des vallées parcourues par un cours d'eau ou non et les zones humides traversées sont souvent situés beaucoup plus bas que le tracé de la route. Leur franchissement en viaduc, en lieu et place d'un remblai, est souvent une alternative souhaitable pour des raisons techniques et paysagères. De plus, dans un réseau écologique régional, talweg et cours d'eau sont toujours des zones privilégiées pour les mouvements de la faune. La majorité des animaux utilisent volontiers les dessous de viaduc, même de faible hauteur.

ESPECES CONCERNEES

La majorité des viaducs permet en général le maintien intégral de la liberté de mouvements de l'ensemble de la faune concernée. Seules quelques espèces recherchant la lumière, tels que les reptiles et certains insectes, peuvent être partiellement arrêtées par une zone d'ombre ou une zone dépourvue de végétation trop large.

DIMENSIONS

Les dimensions des viaducs sont très variables et fixées par des considérations topographiques et géologiques. Plus un viaduc est haut et étroit, mieux il est accepté par la faune.

AMENAGEMENTS

Le sol sous l'ouvrage doit être naturel, y compris sous les parties peu élevées où les plantes ne peuvent pas croître.

Si un viaduc franchit un corridor à faune, il n'est normalement pas nécessaire de prévoir des aménagements. Ceux-ci peuvent être toutefois nécessaires pour guider la faune jusqu'au viaduc (combinaison de clôtures et structures végétales guides).

ENTRETIEN

Aucun, si ce n'est le contrôle que le passage sous le viaduc n'est pas empêché par des clôtures à bétail ou autres obstacles gênants et que du matériel n'est pas entreposé sous le passage.

RECOMMANDATIONS

- La traversée d'une zone humide par un viaduc bas est à éviter (risque d'assèchement) Certaines zones marginales peuvent toutefois être franchies ainsi moyennant des améliorations des zones non touchées par le projet.
- La présence de talus trop raides créés au moment de la construction (plate-forme créée pour les engins, les échafaudages, etc) de l'ouvrage doit être évitée en rétablissant la pente naturelle.
- Une sensibilisation des personnes susceptibles d'utiliser le couvert du viaduc à titre de dépôt de matériel (agriculteurs, forestiers, etc.) peut s'avérer nécessaire.

EXEMPLES D'OUVRAGES AMENAGES

- Autoroute N1, Yverdon-Payerne, Viaduc de Lully (FR).
- Autoroute N1, Lausanne-Yverdon, Viaduc de Bavois (VD).



Figure D.6-13 : Exemple de passage inférieur sous un viaduc

D.6.2.8 Passages supérieurs à usage mixte (Type ⑦)

PRINCIPE

La forme et les dimensions de la surface de l'ouvrage offrent aux animaux une vision directe sur la végétation se trouvant de l'autre côté du passage. Une visibilité généralement trop restreinte (rapport longueur/largeur élevé), offrant des angles morts, crée toutefois un sentiment d'insécurité chez les animaux, ce qui fait que ce type d'ouvrage reste peu fréquenté par la faune.

La mixité de ce genre de passage peut être envisagée par l'aménagement de banquettes avec un substrat naturel et par la pose d'écrans latéraux. Sa fréquentation par la faune dépend aussi bien de la qualité de l'aménagement des banquettes, des dimensions de l'ouvrage que des trafics pédestre et automobile (cf Figure D.6-10). Elle reste toutefois faible et ces passages ne sont utilisés que pour rétablir des mouvements locaux d'animaux habitués à la présence de l'homme. Ils sont par contre fréquemment construits pour rétablir des franchissements pédestres, des passages à bétail, des dessertes agricoles et forestières. Il reste donc intéressant de les aménager également pour la faune.

ESPECES CONCERNEES

Les lièvres, les renards, les mustélidés, les hérissons et certains insectes communs utilisent volontiers ces ouvrages lorsque les abords du passage sont favorables. Les traversées des ongulés sont par contre occasionnelles et concernent surtout des animaux locaux connaissant bien le terrain.

DIMENSIONS

Les dimensions sont imposées en grande partie par les voies de circulation, là où les banquettes auront au minimum un mètre de large.

AMENAGEMENTS

Pas d'aménagement spécifique en dehors des banquettes herbeuses et des écrans latéraux de 1 à 1.5 m de haut.

ENTRETIEN

L'intervalle entre les différentes fauches des banquettes est dicté surtout par la sécurité des utilisateurs de la voie de circulation.

RECOMMANDATIONS

Ce type de passage n'est utilisable par la faune qu'avec des routes non revêtues ou à très faible trafic (desserte). Dans tous les autres cas, il est inutile de prévoir une banquette herbeuse.

EXEMPLES D'OUVRAGES AMENAGES

- Autoroute N1, Avenches-Morat, Pont de Chandossel.
- Autoroute N5, Grandson-Vaumarcus, Pont de la Raisse, Vaumarcus (VD).



Figure D.6-14 : Exemple de passage supérieur à usage mixte

D.6.2.9 Passages supérieurs pour ongulés (Type ⑧)

PRINCIPE

La forme, les dimensions et les aménagements de la surface du passage sont prévus pour que l'animal en déplacement ait la meilleure vision possible sur la végétation située de l'autre côté et trouve un milieu attractif sur l'ouvrage et ses abords.

Les passages de type « forme **diabolo** » mis au point par les Français, offrant un élargissement important au niveau des culées, permettent la réalisation d'ouvrages de dimensions relativement modestes tout en étant efficaces pour la faune s'ils sont correctement situés. Des formes plus simples sont toutefois préférées pour des raisons techniques de viabilité des ouvrages.

Les contrôles effectués dans la Forêt de la Hardt montrent que ces ouvrages restent moins bien fréquentés que des passages plus larges [PFISTER et al., 1997].

ESPECES CONCERNEES

Ces passages ont été développés afin de permettre les mouvements des ongulés (chevreuils, chamois, cerfs, sangliers). Ils peuvent théoriquement servir à l'ensemble de la faune. Toutefois, les dimensions réduites de l'ouvrage ne permettent pas un aménagement favorable à toutes les catégories d'animaux.

DIMENSIONS

Le rapport longueur/largeur doit être inférieur à 2,4 de manière à conserver un angle de vue depuis le centre de l'ouvrage supérieur à 45°.

La largeur disponible au centre pour la faune doit être au minimum de 15 m. Les expériences suisses montrent qu'à 25 m, le passage obtient le meilleur rapport efficacité/largeur. Le choix d'une largeur dans cette fourchette est par défaut :

- présence du cerf ou corridor d'importance nationale → 25 m
- corridor d'importance régionale → 20 m
- corridor d'importance locale → 15 m

Ces règles sont indicatives. Des considérations locales (topographie, structure du corridor, etc.) peuvent conduire à d'autres choix à l'intérieur de la fourchette de 15 à 25 m.

La structure de l'ouvrage doit permettre la mise en place de terre végétale d'une épaisseur maximale de 30 à 40 cm.

AMENAGEMENTS

- Ecrans latéraux de 1,5 à 2,0 m de haut de chaque côté du passage se prolongeant par une clôture de part et d'autre de la voie de circulation.
- La plantation de buissons le long des écrans renforce leur efficacité et rassure les animaux.
- La partie centrale du passage doit être enherbée. Une faible épaisseur de terre végétale permet de limiter sa colonisation par des plantes arbustives.
- Des plantations de buissons (plantes appétentes) et des aménagements de structures-guides sont nécessaires sur les abords du passage (zone B).

ENTRETIEN

En dehors de l'entretien de l'ouvrage lui-même, la végétation mise en place sur l'ouvrage et sur ses accès nécessite des travaux d'entretien une ou deux fois par an. Le centre de l'ouvrage et ses accès doivent rester libres.

RECOMMANDATIONS

- Une utilisation accessoire de ces passages par des promeneurs ou des véhicules est à éviter.
- Pour garantir la durabilité de l'ouvrage et limiter les gros travaux d'entretien, le système d'évacuation des eaux, le choix de l'étanchéité (collée de préférence) et de sa protection contre les racines doivent être réalisés avec soin.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

- Autoroute N5, Concise, Pont de la Lance (VD).
- Route Wangen-Eschenbach (SG), pont de Klosterwald.



Figure D.6-15 : Exemple de passage supérieur pour ongulés

D.6.2.10 Passages supérieurs larges ou ponts biologiques (Type ⑨)

PRINCIPE

De par leur largeur et la possibilité de diversifier les aménagements, ces passages sont d'une très grande efficacité. Ils permettent d'éviter les situations de concurrence ou de prédation entre les espèces. Selon la morphologie du terrain, l'ouvrage sera construit sous forme d'un pont ou de tranchée couverte.

ESPECES CONCERNEES

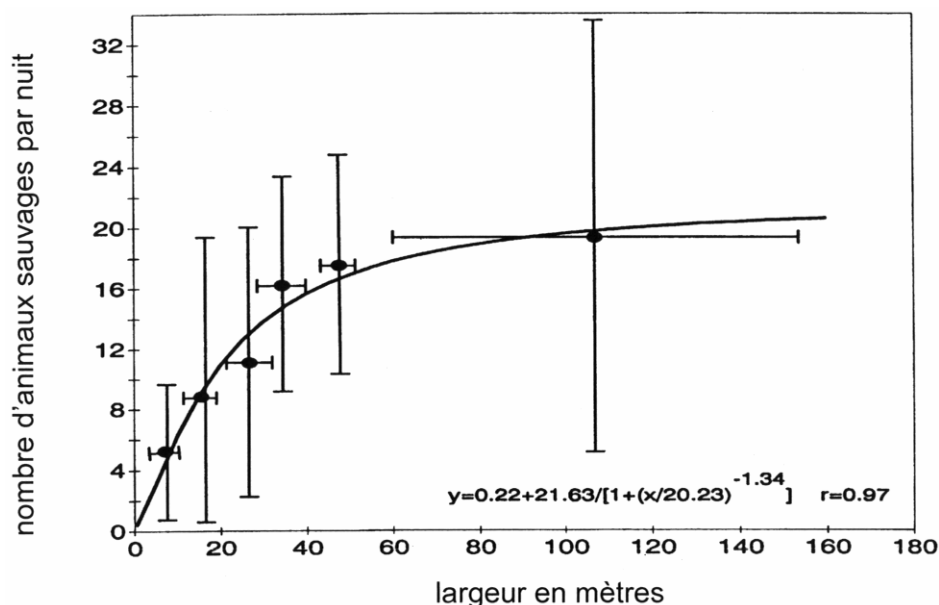
Le pont biologique et le pont paysager sont considérés comme étant les seuls types de passages spécifiques favorables sans restriction à l'ensemble de la faune, y compris les invertébrés. L'aménagement de la surface et des abords de l'ouvrage est déterminant pour l'utilisation de l'ouvrage par les divers groupes faunistiques.

DIMENSIONS

La **largeur disponible pour la faune** sur un pont biologique est **un** des facteurs important définissant son efficacité.

Les études menées par la Station ornithologique de Sempach sur la fréquentation de 21 passages à faune de différentes largeurs sont très instructives à ce sujet [PFISTER et al. 1999]. La courbe de régression obtenue (cf Figure D.6-16) est de type asymptotique. Elle montre :

- jusqu'à 20 mètres une forte croissance linéaire. Elle correspond à une diminution et une variance (fluctuation) importante du rapport coût/efficacité. Le risque de construire un passage inefficace est élevé. La construction d'un pont biologique d'une largeur inférieure à 20 m n'est pas recommandée.
- entre 20 et 50 m un fléchissement correspondant à une stabilisation du rapport coût/efficacité. Il s'agit de l'intervalle dans lequel un pont biologique doit être construit.
- à partir de 50 m un aplatissement progressif jusqu'à environ 100 m. Une sur largeur n'apporte qu'un gain d'efficacité très faible et le rapport coût/efficacité croît de façon importante. La construction d'un pont biologique à vocation faunistique seule d'une largeur supérieure à 50 m n'est pas recommandée. D'autres critères environnementaux peuvent conduire à la construction d'un passage plus large, il s'agit dans ce cas de ponts écologiques ou paysagers (cf chapitre D.6.2.11).
- de grandes distributions des valeurs qui indiquent que la largeur n'est pas le seul critère d'efficacité. Il est donc possible d'augmenter la performance sans avoir recours forcément à de grandes dimensions (optimisation du rapport coût/efficacité).



Espèces concernées : chevreuil, renard, lièvre, blaireau, marte et fouine, sanglier et cerf.

Représentativité (N = nombre de passages observés) : classe 1 : jusqu'à 10 m, N=5 ; classe 2 : 11-20m, N=5 ; classe 3 : 21-30m, N= 3, classe 4 : 31-40m, N=1 ; classe 5 : 41-50m, N=2 ; classe 6 : 51-60m, N=0 ; classe 7 : 61-186m, N=5

Sont figurés : la courbe de régression, le recouvrement de la classe et les variations de fréquence d'utilisation.

Figure D.6-16 : Nombre moyen d'observations d'animaux par classe de largeur d'ouvrage au printemps d'après PFISTER et al. (1997)

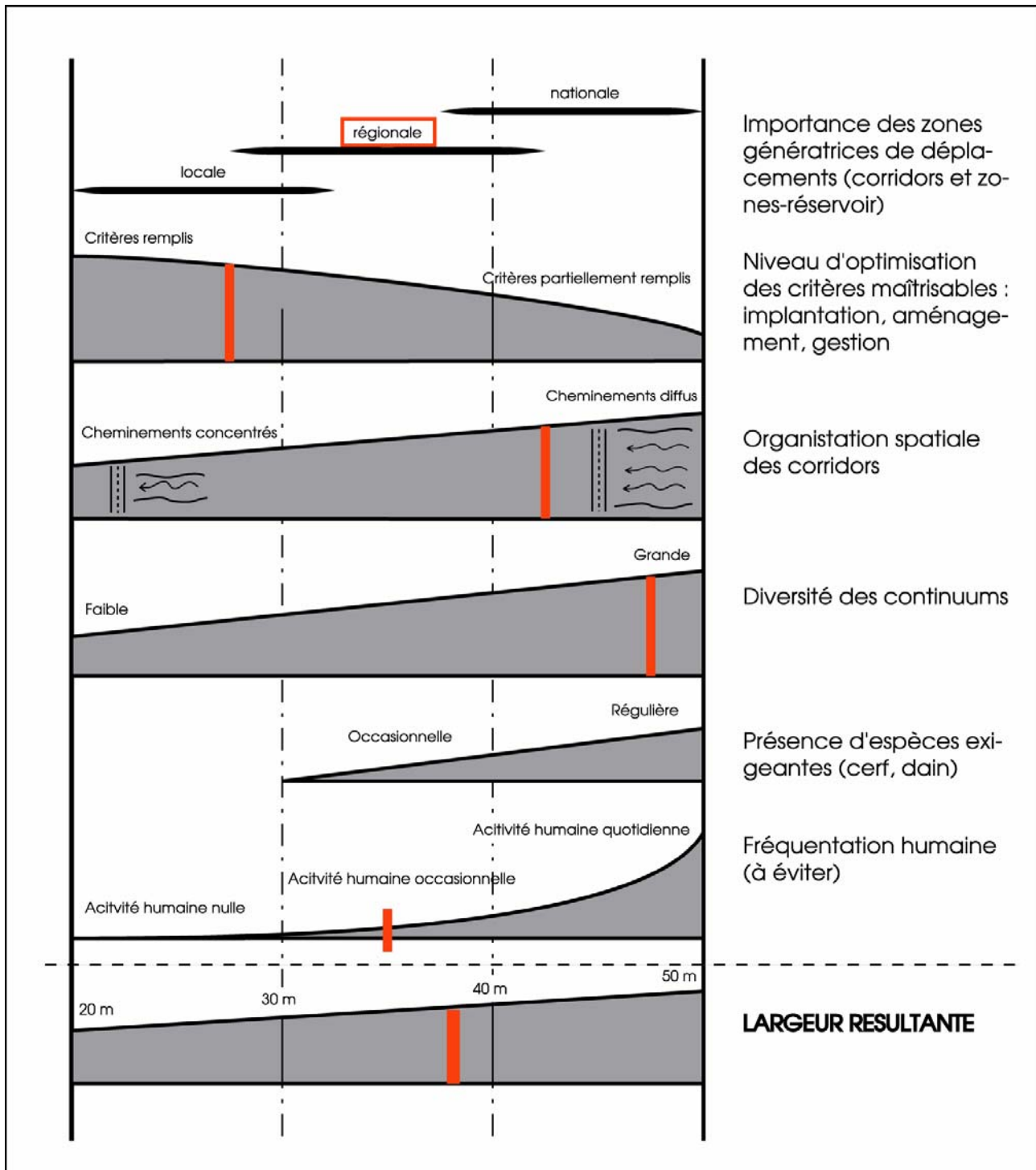
En plus de la largeur, d'**autres critères d'efficacité** sont **maîtrisables** et doivent être optimisés dans tous les cas. Il s'agit :

- de **l'implantation** : critères topographiques, positionnement dans le réseau écologique (cf chapitre D.5.3.3),
- des **aménagements** (cf chapitre D.6.2.1 et partie consacrée aux aménagements ci-après),
- de la **gestion** du passage (cf Partie E).

Les autres critères sont des **contraintes** qui vont définir les dimensions finales de l'ouvrage. Il s'agit :

- de **l'importance des zones de déplacement** (zones vitales, corridors), dépendant de la diversité des espèces concernées, du flux d'échanges générés et des espèces rares ou protégées présentes. Plus les zones sont importantes et plus l'assurance d'une bonne efficacité par le choix de grande largeur doit être garantie. Pour une zone d'importance régionale, la largeur sera d'au moins 28 m et pour une zone d'importance nationale d'au moins 38 m.
- de **l'organisation spatiale des corridors** de déplacement (cheminements diffus ou concentrés). Une structure paysagère dominante (lisière de forêt, bord de cours d'eau, crête rocheuse, croupe morainique, etc.) canalise les déplacements et permet généralement de limiter la largeur de l'ouvrage.
- de la **diversité des continuums** qui influence directement la diversité des aménagements sur le passage et donc l'espace nécessaire pour leur mise en place.
- de la **présence ou non d'espèces exigeantes**, comme le cerf, qui ont besoin d'un espace dégagé d'au moins 25 m, soit une largeur de 30 m minimum pour l'ouvrage étant donné les aménagements de base à mettre en place (buissons, écrans).
- de **l'existence éventuelle d'un chemin piétonnier, forestier ou agricole** sur le passage.

La Figure D.6-17 permet d'estimer une plage de largeur « par défaut » de l'ouvrage en se situant sur les différents diagrammes et en effectuant une moyenne visuelle (voir exemple en rouge sur la figure). Cette plage de largeur est approximative et doit encore être affinée d'entente entre l'ingénieur et le biologiste, en fonction des caractéristiques propres au projet.



En rouge : exemple d'une estimation d'une plage de largeur "par défaut" d'un passage (zone d'importance régionale, critères maîtrisables relativement bien remplis, cheminements plutôt diffus, grande diversité, pas d'espèce exigeante, activité humaine occasionnelle → estimation largeur entre 35 et 40 m)

Figure D.6-17 Largeur d'un pont biologique

La structure de l'ouvrage doit permettre la mise en place d'une couche de terre d'une épaisseur maximale de 30 à 50 cm.

AMENAGEMENTS

Les aménagements influencent de façon importante l'efficacité de l'ouvrage. Il est donc primordial de bien les exécuter.

Les **aménagements de la zone A** (cf chapitre D.6.2.1) ne visent pas une reconstitution des milieux originels. En effet, le passage à faune doit être un ouvrage utilitaire dans un système de déplacement en permettant un franchissement rapide et en ne créant pas d'obstacle difficilement franchissable. Seuls les abords du passage doivent permettre les phases de repos et d'alimentation nécessaires au succès du déplacement. Il s'agit d'inciter les animaux à traverser le passage en réduisant les nuisances du trafic et en offrant une diversité de substrats et de couverts végétaux favorables au déplacement d'un maximum d'espèces. Ces aménagements doivent en outre empêcher le contrôle du passage par des prédateurs (effet de piège).

La diversité de structures du couvert végétal préconisée peut être assimilable à la diversité des interfaces existant entre tous les milieux naturels et plus particulièrement entre la forêt et la prairie (lisière) qui est le plus facile à reconstituer. Cette **structure de lisière** schématisée à la Figure D.6-18 profite à une grande diversité d'espèces. Elle peut être complétée par des andains de pierres et de souches favorables aux micromammifères, reptiles et certains insectes qui les utilisent comme couvert pour leur déplacement. Pour le choix de la végétation à mettre en place, le mieux et le plus efficace est de se référer aux plantes des milieux avoisinants.

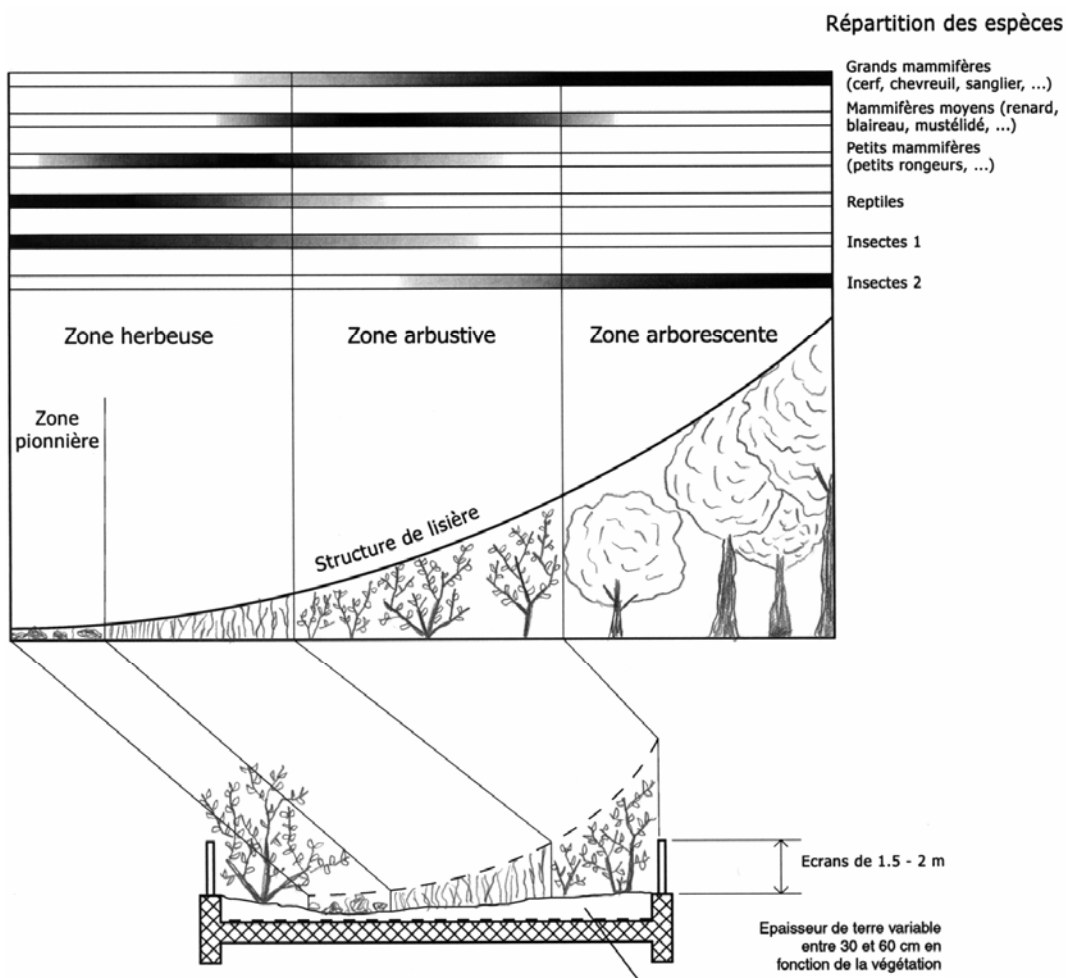


Figure D.6-18 : Aménagements en structure analogue à une lisière

La strate arborescente n'est pas reproduite sur le passage, pour des raisons constructives (charges élevées dues à l'épaisseur de terre nécessaire et au bois, problèmes de racines, etc.) qui rendraient l'ouvrage beaucoup trop coûteux sans pour autant le rendre beaucoup plus efficace. La plupart des espèces forestières acceptent de se déplacer en dehors de leur milieu, pour autant que les distances soient relativement courtes et qu'elles soient, dans la mesure du possible, partiellement à couvert.

Les matériaux de remblayage et la terre végétale utilisés pour la **couverture de l'ouvrage** doivent être de même nature que ceux des terrains avoisinants. Une épaisseur comprise entre 30 et 60 cm est suffisante. La variation de la proportion « terre végétale – tout venant » permet de maintenir naturellement la structure de lisière et d'en réduire ainsi l'entretien.

La pose **d'écrans latéraux** opaques de 1.5 à 2 m doublés de buissons d'une hauteur de 2 à 4 m permet de réduire les nuisances du trafic (bruit, mouvements, lumière) tout en assurant la sécurité de celui-ci (jet de pierres, chute d'un animal paniqué, etc.) et d'offrir un couvert rassurant aux animaux.

La **zone B** doit jouer le rôle de zone d'attente. Elle doit :

- **attirer la faune** grâce à une végétation appétente et des aménagements attractifs tels que point d'eau, fontaine, souille, sable, etc.
- **offrir un couvert végétal** suffisant et varié restituant la végétation et les structures paysagères préexistantes, telles que haies, lisières forestières, bandes boisées, prairies naturelles, zones humides, zones pionnières rocailleuses ou sablonneuses etc. Tous ces éléments doivent être disposés de manière à faciliter le déplacement de la faune en formant des structures convergentes vers l'ouvrage.
- **créer une zone de calme** en réduisant au mieux les nuisances du trafic par un prolongement des écrans et en limitant toutes autres activités humaines (information par panneaux de sensibilisation). Les écrans se prolongent ensuite le long de la voie de circulation par les clôtures indispensables à la sécurité des usagers de la voie de circulation et pour guider les animaux vers le passage (cf Figure D.6-19).

L'aménagement de la zone B doit aussi tenir compte du fait que la voie de circulation peut de par ses dépendances (talus) induire des déplacements longitudinaux. Les talus représentent souvent des biotopes riches en espèces.

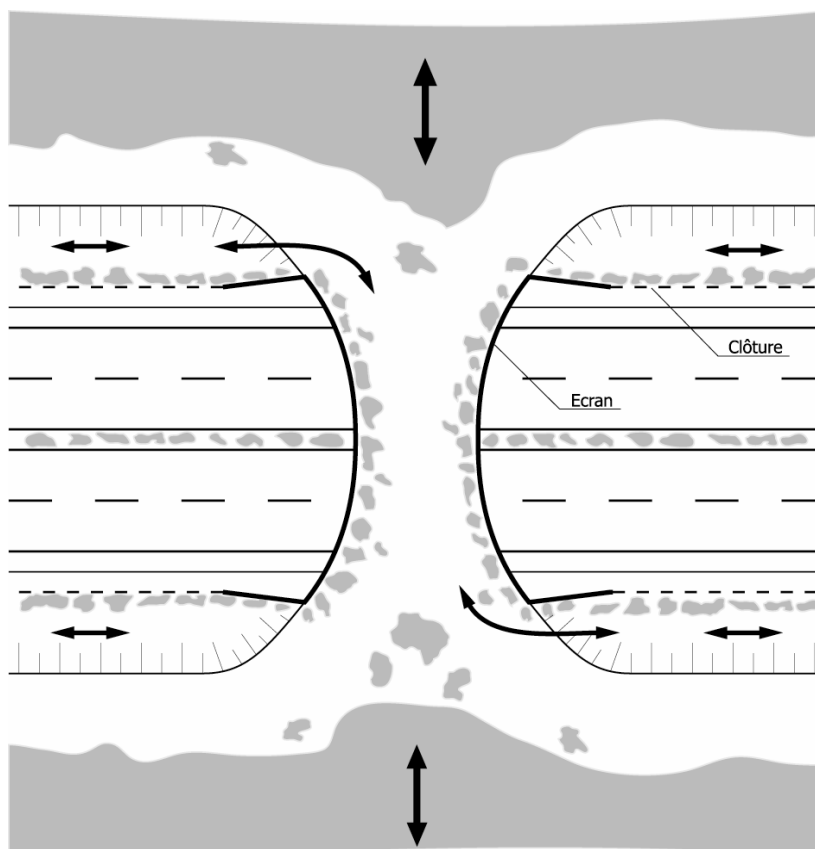


Figure D.6-19 : Prolongement des écrans par les clôtures et déplacements possibles de la faune

Les aménagements de la zone C sont difficiles à décrire tant les cas peuvent être différents. L'écologue chargé du projet doit les définir au mieux en fonction des milieux et de la faune concernée.

ENTRETIEN

Un ouvrage de cette importance doit faire l'objet d'un suivi attentif et d'un entretien périodique visant à maintenir et à améliorer son efficacité. Les travaux d'entretien, en dehors de ceux directement liés à la structure de l'ouvrage, comprennent le maintien de la diversité des aménagements en évitant la prolifération de certaines plantes par rapport à d'autres.

Il faut contrôler que le passage n'est pas utilisé à des fins détournées.

RECOMMANDATIONS

- La présence d'un chemin forestier, agricole ou piétonnier est possible sur le passage pour toute utilisation inférieure à une fréquentation quotidienne. Ceci n'est toutefois pas recommandé en raison du risque d'une fréquentation plus élevée que prévue qui nuirait à l'efficacité du passage.
- La voûte est la structure porteuse répondant au mieux aux charges statiques et permanentes ainsi qu'à l'évacuation des eaux de ce type d'ouvrage.
- L'ouvrage doit être pensé de façon à limiter au mieux les gros entretiens. Un décapage de tout l'ouvrage nuit à son efficacité durant plusieurs années (2 à 3 ans). Une étanchéité collée permet de cibler les interventions en cas de fuite d'eau.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES ¹

- Autoroute N13, Saint-Gall-Coire, pont du Hirschensprung, commune de Rüthi (SG).
- Autoroute N5, Bienne-Granges, Pont du Stock, commune de Granges (BE).
- Autoroute N1, Berne-Soleure, Grauholz, commune de (BE).



© S.N.C.F. – C.A.V. – P. Olivain

Figure D.6-20 : Exemple de passage supérieur large ou pont biologique

D.6.2.11 Ponts écologiques ou paysagers (Type ⑩)

PRINCIPE

Lorsqu'un ensemble de milieux naturels protégés à haute biodiversité et à espèces rares est localisé dans l'emprise de la voie de circulation et qu'un déplacement du tracé n'est pas possible, il est souhaitable de recourir à la construction d'un tunnel ou d'une tranchée couverte permettant de reconstituer en surface les milieux touchés. La conservation ou la restitution de la morphologie du terrain, du substrat et de la végétation initiale est le seul moyen de protéger certains ensembles paysagers sensibles et rares. La longueur de l'ouvrage permet de protéger tout ou partie du secteur concerné.

¹ Quelques ponts biologiques ont été construits hors norme :

- Autoroute N7, Mühlheim-Kreuzlingen, tranchée couverte de Asp Holz (140 m), commune de Mühlheim (TG)
- Autoroute N7, Mühlheim-Kreuzlingen, tranchée couverte de Fuchswies (200 m), commune de Oberneuwilen (TG)
- Autoroute N1, Yverdon-Payerne, tranchée couverte de Chéverfu (140 m), commune de Châble (FR)

Contrairement au pont biologique, le pont écologique vise à restituer la continuité des milieux et du réseau interconnecté propre à l'écosystème traversé.

Les ponts paysagers sont aussi construits pour assurer une protection contre le bruit, contre les avalanches et chutes de pierres, du paysage ou encore pour l'agriculture.

Vu son coût élevé, ce type d'ouvrage n'est envisagé que dans des cas exceptionnels. Le travail d'identification préliminaire des impacts du projet est effectué de façon approfondie et de manière à permettre d'abord un choix du tracé évitant les sites naturels protégés, ainsi que les paysages très sensibles et rares.

ESPECES CONCERNEES

Le but recherché par ce type d'ouvrages est de maintenir en règle générale la totalité de la faune et de la flore présentes dans les milieux avoisinants.

DIMENSIONS

Les dimensions dépendent de considérations propres au projet (largeurs de 80 m à plusieurs centaines de mètres).

AMENAGEMENTS

La couverture de l'ouvrage par des matériaux de remblayage et de la terre végétale doit restituer aussi fidèlement que possible le substrat du terrain naturel avoisinant. Elle permet notamment de restituer au mieux la végétation et les structures paysagères existant précédemment.

ENTRETIEN

En dehors de la maintenance traditionnelle de la structure de l'ouvrage, l'entretien est identique à celui pratiqué sur le terrain avant la construction.

RECOMMANDATIONS

La réussite du réaménagement dépend de l'ampleur des travaux de construction dans l'espace et dans le temps. Celui-ci doit se faire le plus rapidement possible. Seuls les milieux anthropiques ou pionniers sont aisément reconstituables (haies, prairies, cours d'eau, végétation palustre, cultures diverses, plantations forestières, etc.).

EXEMPLES D'OUVRAGES PROJETES

Des ponts paysagers sont projetés en Suisse, notamment :

- Autoroute N9, Sion-Brigue, tranchée couverte du Bois de Finges (longueur env. 4'500 m), commune de Finges (VS).
- Autoroute N5, Bienne - Soleure, tranchée couverte de Grenchner-Viti (longueur env. 1'700 m), commune de Granges (SO).

D.6.2.12 Systèmes de franchissement pour la faune au croisement des cours d'eau

PRINCIPE

Les cours d'eau et leurs rives constituent des axes privilégiés pour le déplacement des espèces animales. Dans les régions fortement aménagées et à proximité des grandes villes, les cours d'eau et leurs cordons boisés constituent fréquemment les derniers corridors écologiques, véritables pénétrantes de verdure dans le tissu urbain.

Les ouvrages de franchissement de cours d'eau couvrent une grande variété de types de passages :

- le viaduc (type ⑥) est le plus favorable pour la faune
- les passages inférieurs de types ③, ④ et ⑤ qui gagnent en efficacité grâce à la présence d'un cours d'eau
- la buse ou le voûtage ; il est recommandé de les accompagner systématiquement d'un passage simple type ①, voire de type ② selon la catégorie de faune présente.

Un cours d'eau servant quasiment toujours de corridor à faune ou de zone vitale, le choix de l'un ou l'autre de ces passages peut être déduit du Tableau D.5-2.

Les détails des aménagements spécifiques dus aux cours d'eau et notamment ceux liés à la faune aquatique sont décrits ci-après.

ESPECES CONCERNEES

Les groupes faunistiques pouvant être concernés par un déplacement parallèle au cours d'eau sont :

- les **poissons et la macrofaune benthique**, animaux aquatiques dont le réseau de déplacement est compris dans la lame d'eau. Leur mode de déplacement est dépendant des conditions hydrauliques, des périodes de migration propre à chaque espèce et de leur performance de nage. La création de possibilité de franchissement des ouvrages par les poissons est une obligation légale en Suisse [Loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche (LFSP)].
- les **espèces "amphibies"** qui se déplacent à la surface ou à l'interface en volant ou en nageant. Il s'agit principalement pour les mammifères du castor et de la loutre, et pour les oiseaux du cingle plongeur, du martin-pêcheur, du colvert, du harle bièvre et des espèces rares comme le chevalier guignette et le petit gravelot.
- les **espèces terrestres** dont le réseau de déplacement passe par les rives (ongulés, mustélinés, etc.).

La problématique de la migration des invertébrés benthiques, tels que, par exemple, les écrevisses ou les plécoptères dans les cours d'eau, est complexe et méconnue. Le moyen le plus efficace pour assurer leur déplacement est de conserver le lit du cours d'eau dans son état naturel.

VIADUCS

Les viaducs ne sont pas restrictifs et permettent à toutes les catégories fauniques de les traverser si leur hauteur est suffisante.

Dans le cas de rivières larges ou de fleuves, les viaducs doivent être assez longs pour permettre le maintien des berges à l'état naturel et de largeur suffisante pour le passage de la faune.

Toutes les autres caractéristiques sont données au chapitre D.6.2.7.

PASSAGES INFÉRIEURS

Les passages inférieurs offrent l'avantage de pouvoir restituer un lit naturel et des berges favorables à la faune aquatique, amphibie et aux espèces terrestres (cf Figures D.6-21)

Ils sont recommandés pour chaque franchissement de cours d'eau où la faune est présente. Exception est faite du cas où la faune doit être arrêtée ou filtrée (barrière sélective) en raison d'un cours d'eau menant dans une zone totalement urbanisée qui représenterait un piège mortel pour elle.



© ECOTEC Environnement SA



Christian Bouchardy

Figures D.6-21 : Passages inférieurs de franchissement d'un cours d'eau

Légende Figures D.6-21 :

- **Passage de la route sur la Roulave, Dardagny, GE.** Ce type de voûtage très répandu cumule les obstacles pour le passage de la faune. Suivant les débits, le seuil en aval, l'absence de lit mineur et de berges dans le passage bloquent le passage des poissons, des espèces amphibiennes et de la petite faune terrestre, alors que la hauteur réduite du voûtage (moins de 2 m au centre) incite les ongulés à le contourner en passant par dessus le talus, où ils risquent une collision avec un véhicule.
- **Passage de l'A89 à l'ouest de Clermont-Ferrand, France.** L'aménagement des deux rives facilite le passage de la petite et moyenne faune terrestre et amphibie. Les marches sur la rive droite (min. 30 cm de large, 30-40 cm de haut) permettent le passage au sec par différents niveaux de crues. Ce type d'aménagement s'est révélé très efficace pour faire passer la loutre.

Le type de passage à adopter est principalement défini par la catégorie des espèces terrestres présentes, la faune aquatique et amphibie pouvant se contenter d'un passage inférieur pour faune moyenne.

Pour **assurer l'efficacité** des passages inférieurs, certaines règles doivent être respectées :

- pour la faune aquatique, les caractéristiques morphologiques et hydrauliques du cours d'eau doivent être maintenues dans la mesure du possible dans leur état naturel et avec au moins une profondeur d'eau de 20 cm en condition d'étiage. L'enrochement des berges n'est pas recommandé. En présence du castor tout bétonnage des berges ou du lit est à proscrire. Une attention particulière sera portée aux seuils infranchissables et aux aménagements susceptibles de piéger cette espèce (buses, passes à poissons à bassins etc.). Une largeur mouillée d'au minimum 60 cm est nécessaire pour les biefs assurant le déplacement de la faune aquatique.
- pour la faune terrestre, l'occupation du passage par le cours d'eau doit être inférieure au tiers de la largeur et si possible au centre de façon à conserver une berge de chaque côté. Celles-ci peuvent être inondées en cas de crue.
- les aménagements et recommandations décrits dans les chapitres correspondant aux types de passage restent valables.

Des **passes à poissons** doivent être prévues lorsqu'il n'est pas possible de créer un cours d'eau naturel ayant une vitesse d'écoulement compatible avec la performance de nage des poissons en raison de contraintes hydrauliques et topographiques.

Deux grandes catégories de passes à poissons se distinguent dans le cas du franchissement d'une voie de circulation:

- les passes à bassins successifs,
- les passes à ralentisseurs.

Les **passes à bassins successifs** (Figure D.6-22) sont généralement construites en béton et permettent d'assurer le franchissement des seuils liés aux voies de circulation. Elles assurent la migration de très nombreuses espèces de poissons en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'ouvrage (chutes interbassins, échancrures, orifice noyé, énergie dissipée par bassin, etc.).



© ECOTEC Environnement SA

Figure D.6-22 : Exemple de passes à bassins successifs

Légende Figure D.6-22 :

- **Passé à poissons sur le Rhône au barrage SIG de Verbois, passant sous la route Russin - Aire-la-Ville, GE.** Avec une dénivellation de 21.40 m, 107 bassins et un coût d'environ 4'000'000.- Fr, il s'agit d'un des plus importants ouvrages de ce type en Suisse. La conception de ses bassins permet non seulement le passage des poissons puissants comme les truites et les barbeaux, mais également des petites espèces de poissons moins vigoureuses (loches, goujons, etc.). Dans le cas d'une voie de circulation, les dénivellements à franchir sont le plus souvent beaucoup moins élevés, mais la conception des bassins est similaire. A noter que ce type de passage ne permet que la remontée de poissons et doit être complété le cas échéant par des possibilités de circulation pour la faune amphibie.

Le coût de ce type d'ouvrage est compris entre quelques dizaines de milliers de francs pour des obstacles de 2-3 m de haut jusqu'à plusieurs millions pour des chutes de plus de 10 m aménagées sur des rivières importantes.

Ce type d'ouvrage est réalisé « sur mesure » et est chaque fois différent. C'est souvent le seul type de passe qui permet d'assurer la migration des poissons quand la topographie est défavorable et les contraintes hydrauliques élevées.

Par contre, il ne permet pas la libre circulation d'espèce amphibie comme le castor et peut même se révéler dangereux pour certains mammifères. L'aménagement des berges ou la création d'un passage spécifique permet de régler le problème.

Les **passes à ralentisseurs** (Figures D.6-23), construites en béton, permettent d'assurer le franchissement des seuils liés aux voies de circulation pour des espèces de poissons d'eaux vives comme les truites et les ombres. Ce type de passe n'est pas adapté pour des chutes importantes (4 m et plus).

Les mêmes remarques peuvent être faites quant à leur non-franchissabilité par les espèces terrestres.



© ECOTEC Environnement SA



© ECOTEC Environnement SA

Figures D.6-23 : Exemple de passe à ralentisseurs hors eau et en eau

Légende Figures D.6-23 :

- *Passe à ralentisseurs sur la rivière Versoix sous le pont des chemins de fer CFF, Versoix, GE (pendant et après les travaux). Cette passe joue un rôle essentiel pour la truite lacustre lors de ses migrations reproductrices. Elle est franchissable dans une gamme de débits très large.*

Pour les détails techniques, il existe des ouvrages spécialisés, notamment de LARINIER & al. (1992). La réalisation d'une passe à poissons nécessite une approche interdisciplinaire impliquant un hydraulicien et un spécialiste du poisson.

Dans le **cas d'un assainissement**, il est possible d'améliorer à moindre frais un passage inférieur avec un cours d'eau dont les berges n'ont pas été conservées. Les « Figures D.6-24 » donnent des exemples d'aménagements possibles. Si ce n'est pas déjà le cas, le lit du cours d'eau doit être dans la mesure du possible ramené à un état naturel.



© Contact Castor



© Contact Castor



© Frédéric Hoffman

Figures D.6-24 : Exemples d'amélioration d'ouvrages hydrauliques existants (rampes à castor en granit et en bois ; un seuil remplacé par plusieurs)

Légende Figures D.6-24 :

- **Rampe à castors en granit sur les gorges de l'Orbe, VD.** Cet ouvrage permet le franchissement par les castors d'une double digue de régulation de plusieurs mètres de hauteur.
- **Rampe à castors en rondins sur le Hauptkanal à Berne, BE.** L'ouvrage est complété par un bac à sable qui sert de piège à trace pour en suivre l'efficacité.
- **Aménagement sur le Boiron de Morges sous la route nationale Morges-St.Prex, Tolochenaz, VD.** Un seuil infranchissable a été remplacé par plusieurs seuils de moindre élévation. Cet aménagement joue un rôle essentiel pour la truite lacustre lors de ses migrations reproductrices, mais il est difficile à franchir pour les espèces aux capacités de nage inférieures.

BUSES

Les buses sont les ouvrages de franchissement de cours d'eau les moins favorables pour la faune, mais les plus économiques. Toutefois, bien dimensionnées, elles peuvent permettre le passage du poisson, voire de la faune amphibie (castor, cincle, martin-pêcheur). Elles sont à utiliser sur des cours d'eau de faible importance.

Pour la **faune terrestre**, la buse peut être accompagnée d'un passage simple pour petite et moyenne faune de type ❶ (cf Figure D.6-25) qui améliore sensiblement la perméabilité pour un coût faible, ou d'un passage pour petite faune et batraciens de type ❷ si nécessaire.



© ECOTEC Environnement SA

Figure D.6-25 : Voûtage de ruisseau complété par un passage simple pour petite et moyenne faune

Légende Figure D.6-25 :

- **Passage du Merdasson sur l'Areuse, Boudry, NE.** Cet exemple présente toutefois encore deux défauts qui réduisent sa fonctionnalité. L'importance du seuil en aval rend le passage vers l'amont difficile ou impossible à franchir pour les poissons et les espèces amphibies. Le passage simple prévu pour les espèces terrestres (à gauche sur la photo) est difficilement accessible pour les espèces amphibies (castor par exemple) du fait des berges verticales en enrochement.

Pour permettre le **passage du poisson**, les buses doivent éviter une chute à l'extrémité aval de l'ouvrage, des profondeurs trop faibles (inférieures à 20 cm) et des vitesses trop élevées (supérieures à 3-4 m/s). Celles-ci doivent rester compatibles avec les performances de nage des espèces concernées. Le régime hydrologique du cours d'eau pendant les périodes de migration doit être connu. En l'absence de ces données (ce qui est le cas le plus fréquent pour les petits cours d'eau), la buse doit être franchissable jusqu'à des débits voisins de 2 à 2,5 fois le module interannuel (courbe débit en fonction du temps représentant une crue).

Le passage ou non des **oiseaux liés aux rivières** est fonction du gabarit existant au-dessus de l'eau. Des observations effectuées montrent que des buses largement dimensionnées (1.5 à 2 m d'espace libre au-dessus de l'eau et 10 m de long) peuvent être franchies régulièrement par ces espèces. Les dimensions minimales ne sont toutefois pas connues. Elles dépendent probablement de la longueur. Si la buse est relativement petite, les oiseaux vont survoler la chaussée. La mise en place, de part et d'autre de la voie de circulation, de haies ou de buissons de taille supérieure aux véhicules permet de limiter les collisions.

EXEMPLES D'OUVRAGES REALISES

- Commune de Versoix, passe à ralentisseurs pour les salmonidés sur un affluent du Léman : la Versoix.
- Barrage de Verbois, Rhône genevois, passe à poissons à bassins munis de fentes verticales.
- Commune de Sauvergnny, canton de Genève, passe à bassin munis d'une rampe latérale pour les castors construite sur la Versoix.

PARTIE E

GESTION DES MESURES

E.1 DONNEES GENERALES

E.1.1 ASPECTS GENIE CIVIL ET BIOLOGIQUE DE LA GESTION

La gestion d'une ou d'un ensemble de mesures de protection faune-trafics permet de garantir la sécurité de l'ouvrage, son efficacité à long terme et par-là même sa pérennité. Elle comprend son administration, son exploitation et sa conservation selon deux aspects, l'aspect génie civil et l'aspect biologique. Parfois, selon le type de mesure compensatoire, naturelle ou de revitalisation, seul l'aspect biologique entre en compte.

L'**aspect génie civil** se compose de (cf Figure E.1-1) :

- la **surveillance** qui comprend les observations, les contrôles par mesure, les inspections et les contrôles de fonctionnement. Elle permet de suivre et de qualifier l'évolution d'un ouvrage (vieillesse de l'ouvrage : fissures, venues d'eau, déformations, rouille, etc.) et de formuler des recommandations pour la suite.
- l'**entretien** avec des opérations de maintenance, de remise en état, voire de rénovation.
- la **modification** éventuelle de l'ouvrage si la sécurité ou une modification de la situation initiale l'exige.

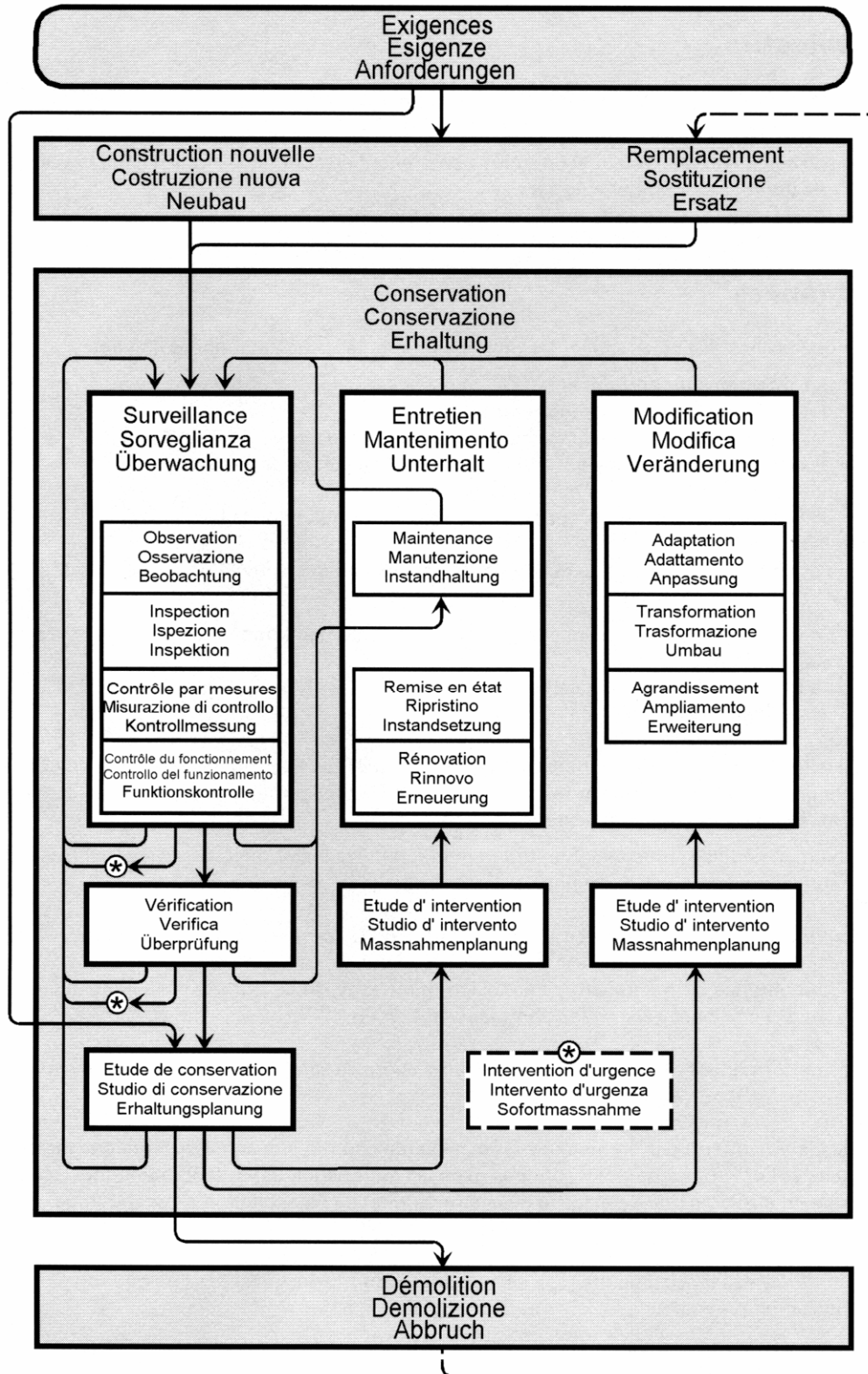


Figure E.1-1 : Schéma du déroulement des opérations de conservation selon SN 588 469

Le côté technique de la gestion des ouvrages de génie civil (conservation des ouvrages) est connu et décrit en détail dans la norme SIA 469 (SN 588 469). Le côté financement et administration fonctionne actuellement bien, le Maître d'ouvrage disposant en règle générale d'un service compétent pour remplir ces tâches et d'un budget adéquat. L'aspect génie civil de la gestion n'est donc pas repris dans ce manuel



L'aspect biologique comprend :

- le **contrôle de conformité** (chapitre E.3.1) s'effectuant à la réception provisoire de l'ouvrage. Il permet de détecter les éventuels défauts de construction et le cas échéant, de les corriger.
- la **surveillance** (chapitre E.3.2) qui consiste à vérifier que le passage n'est pas utilisé à des fins détournées (par exemple : entreposage de matériel agricole).
- l'**entretien** (chapitre E.2) des aménagements (végétation, pièges à traces, etc.).
- les **contrôles d'efficacité** (chapitre E.3.3) qui doivent définir si les objectifs fixés lors du projet sont atteints.
- les éventuelles **mesures correctrices** (chapitre E.4) visant à améliorer l'efficacité d'un aménagement ou d'un ouvrage pour atteindre les objectifs fixés lors de sa planification.

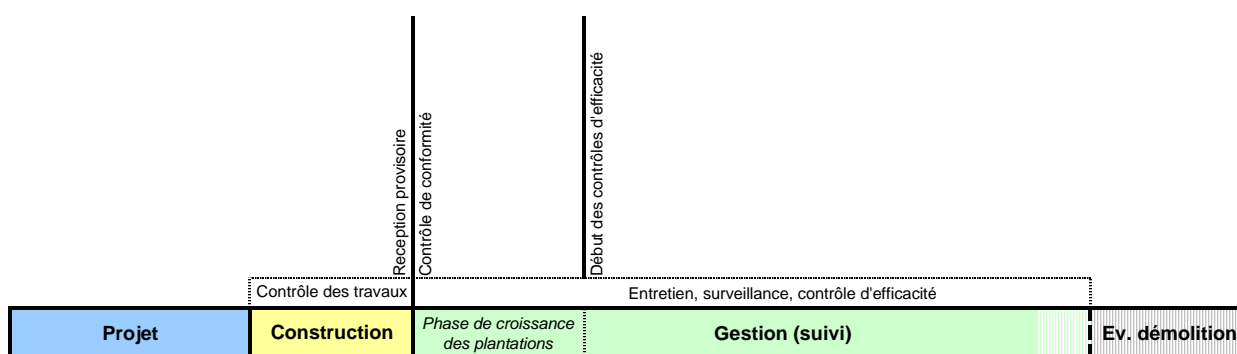


Figure E.1-2 : Etapes de la vie d'une mesure de protection

Ces différentes phases de la gestion biologique des mesures de protection sont actuellement peu ou mal appliquées en raison des nombreux intervenants et de leur périmètre d'application qui peut s'étendre bien au-delà des limites strictes de l'emprise de la voie de circulation (cf Figure E.1-3).

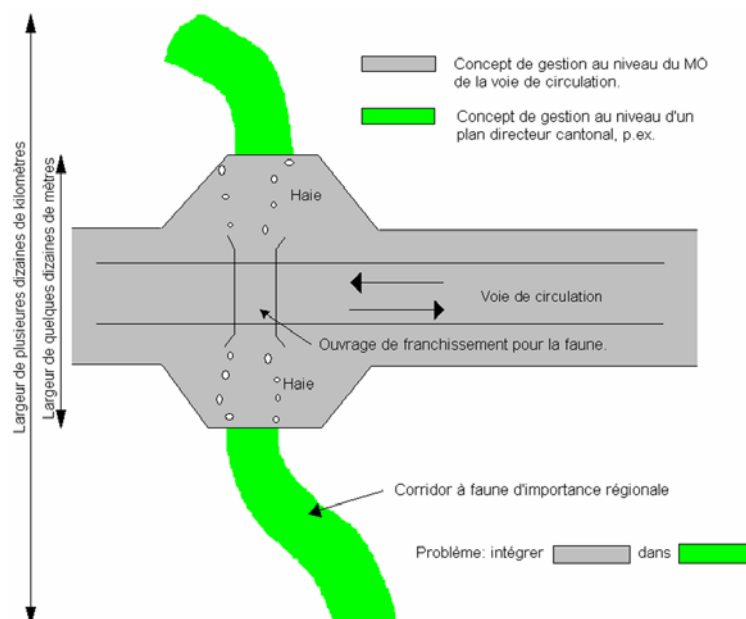


Figure E.1-3 : Périmètre de la gestion biologique d'une mesure

Les mesures de protection faune-trafics prises lors d'un projet forment un ensemble (plan de mesures) qui peut être formé d'un ou plusieurs « **systèmes de mesures** » (cf Figure E.1-4). Les mesures sont souvent en interaction, l'efficacité d'une mesure pouvant dépendre de celle d'une autre. La revitalisation d'un corridor et la pose d'une clôture influencent l'efficacité d'un passage à faune, par exemple.

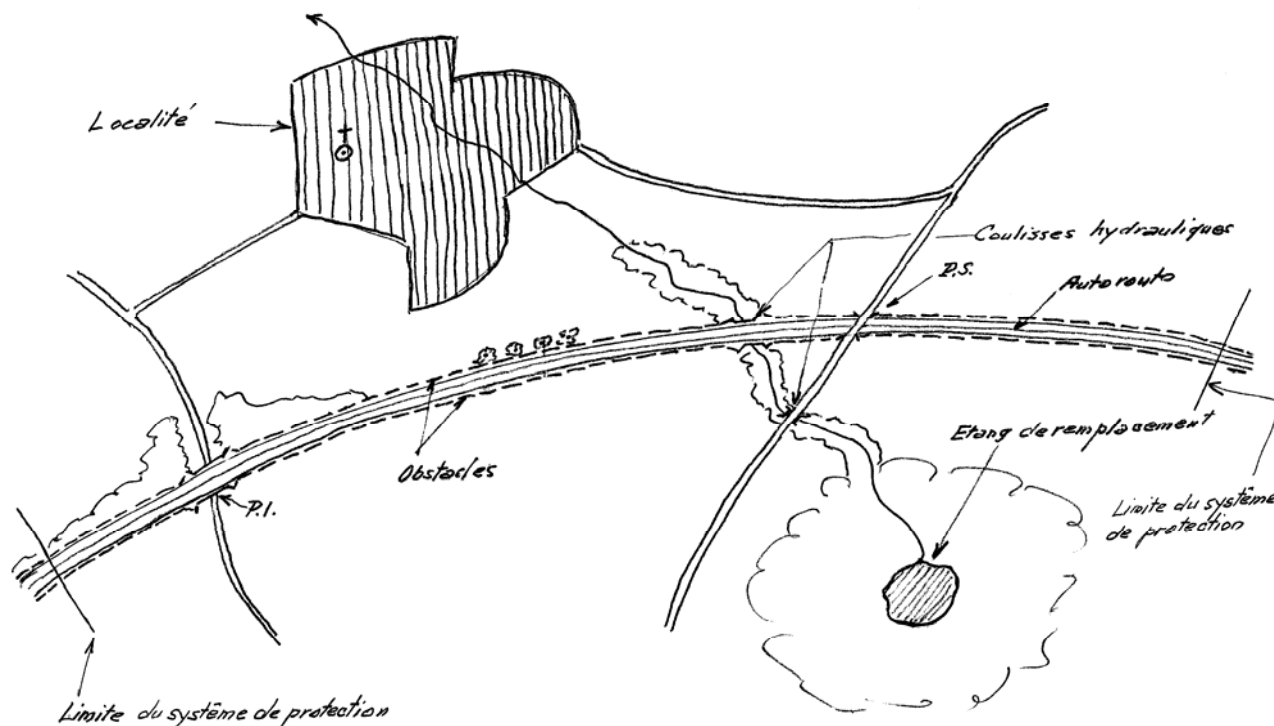


Figure E.1-4 : Système de mesures de protection

Chaque système de mesures doit faire l'objet d'un concept de gestion propre comprenant son organisation et son financement.

Il est donc important que l'ensemble des mesures d'un système soit géré par une seule et même personne (Maître d'ouvrage).

E.1.2 DOSSIER D'ACHEVEMENT

Les données de bases nécessaires à la gestion doivent être contenues dans le **dossier d'achèvement**, appelé aussi « dossier d'ouvrage » qui est remis à l'organe ou la personne chargée de l'administrer, en général le Maître d'Ouvrage. Le détail de son contenu n'est pas repris ici, vu qu'il fait l'objet du chiffre 4 de la norme SIA 469 [SN 588 469] et des normes VSS, SN 640 013 et SN 640 014.

Dans le cas des mesures de protection, il faut s'assurer que le dossier d'achèvement donne le contexte du projet, c'est-à-dire l'état avant les travaux et celui visé après ceux-ci, afin que la gestion puisse atteindre les buts visés. Il doit indiquer le rôle que joue la mesure de protection dans le plan de mesures et les objectifs à atteindre, ainsi que ce qui doit être fait pour que l'ouvrage ou le système de mesures fonctionnent de manière optimale.

Les points suivants doivent figurer dans le dossier d'achèvement :

- une **description technique** de la mesure :
 - texte descriptif court (dimensions, aménagements spécifiques, mesures particulières, etc.)
 - durée de vie prévue
 - plan de l'ouvrage
 - plan d'utilisation et d'affectation des surfaces
 - plan des aménagements (plantations, écrans etc.)
- une **description du contexte biologique** de la mesure :
 - comment s'insère-t-elle dans le réseau écologique ?
 - rôle dans le plan de mesures
 - faune et flore concernées
 - résumé de l'état faunistique avant le projet en relation avec la mesure de protection en question (nombre d'individus dans une population, nombre de déplacements dans un corridor, biotopes, etc.)
- les **buts de la mesure**
 - liste des impacts du projet qui seront compensés par la mesure en question
 - objectifs visés (par exemple : rétablissement des déplacements de migration à l'aide d'un passage à faune, survie des populations dans les milieux ou sous-milieux interconnectés grâce à la mesure) en termes mesurables et vérifiables (20 à 30 traversées des espèces X et Y par mois pour des déplacements de migration et ceci après une année de mise en service du passage)
- la **surveillance** (peut-être combinée avec l'entretien)
 - points à vérifier
 - période et fréquence
 - personne, service, association chargée de la surveillance
- **l'entretien**
 - travaux à effectuer
 - période et fréquence
 - personne, service, association chargée de l'entretien
- les **contrôles d'efficacité**
 - contrôles à effectuer (éventuellement méthode à utiliser)
 - période et fréquence
 - recommandations des concepteurs (ingénieur et écologue)
 - mandataire
- les **conventions de gestion** passées avec des tiers (service d'entretien, autres services cantonaux et communaux, police ou gendarmerie, entreprises et associations diverses, particuliers, etc.)
- les **servitudes** diverses concernant la ou les mesures prises
- les **sources de financement** et **procédures d'allocation de subsides**

E.1.3 ACTEURS

Les **acteurs** suivant peuvent être impliqués dans les programmes de gestion :

- Les **services d'entretien des autoroutes**, par l'intermédiaire des centres d'exploitation sectorielle, vont se charger de l'entretien des espaces aménagés soumis à des contraintes techniques visant l'efficacité des installations techniques liées au fonctionnement de l'autoroute.
- Les **services cantonaux** concernés par des aménagements hors emprises autoroutières sont souvent intéressés ou contraints à reprendre la surveillance et la gestion de certains espaces dont ils ont traditionnellement la charge.
- Les **propriétaires privés ou les exploitants** peuvent également être impliqués dans la mesure où ils acceptent l'aménagement et la gestion à long terme d'espaces verts conformément aux buts recherchés par le projet et son étude d'impact.

Les principes suivants sont appliqués dans les programmes de gestion :

- La **gestion** des mesures environnementales est confiée aux instances les plus compétentes et les mieux équipées pour accomplir les tâches nécessaires dans le cadre d'entretiens courants.
- Les **espaces aménagés** (cantonal ou communal) sont généralement conservés dans le domaine public pour garder la maîtrise des surfaces et de leur gestion.
- Les **mesures de conservation et de gestion** des surfaces vertes situées sur le domaine privé ou communal sont généralement comprises dans un plan d'affectation ou un plan directeur au niveau communal ou au niveau cantonal permettant de garantir leur pérennité. Elles peuvent dans certains cas être réglées aussi par inscription de servitudes.
- Le **financement** des travaux d'entretien et d'aménagement correctifs éventuellement nécessaires est à la charge du Maître d'ouvrage pendant toute la durée de vie de l'infrastructure.

E.1.4 FINANCEMENT

Les points clés de tout concept de gestion des mesures de protection résident dans l'attribution de la propriété foncière des surfaces concernées par ces mesures ainsi que l'attribution de leur entretien.

Le Maître de l'ouvrage est responsable de la mise en œuvre de l'ensemble des mesures environnementales liées au projet et résultant de l'étude d'impact. Cette responsabilité légale s'étend aux garanties de pérennité des mesures ainsi qu'à l'efficacité des aménagements ou des installations prévues, soit à la gestion à long terme des mesures environnementales.

Le problème de la gestion des mesures à long terme se divise en deux parties :

- le financement
- la responsabilité de l'organisation et du contrôle de la gestion.

La première partie du problème se résout très logiquement, à savoir que le Maître de l'ouvrage assure le **financement** de la gestion des mesures. Par contre, n'ayant souvent pas la capacité d'en assumer l'organisation et le contrôle, il peut transférer la responsabilité de la gestion vers un centre régional ayant les compétences nécessaires. Comme il s'agit essentiellement de mesures pour la nature, il est logique qu'un service cantonal ou une organisation chargée officiellement de la conservation de la nature prenne en charge cette responsabilité (centre de compétence).

Sur la base d'un programme d'actions et d'un budget annuel, le centre de compétence ad hoc doit être assuré de recevoir du Maître de l'ouvrage les finances nécessaires à sa tâche.

La forme à donner à ce centre de compétence concerne l'administration cantonale et la volonté politique de développer ou non un service chargé de gérer des espaces naturels. Les discussions doivent porter vers une distribution des tâches en fonction du personnel et de l'équipement en machines d'entretien disponibles dans les services concernés.

Il est important toutefois de désigner un **service responsable** de la coordination de la gestion. Ce service doit notamment pouvoir organiser le contrôle d'efficacité des mesures et le suivi des travaux d'entretien. Sa fonction de coordination comprend l'établissement des décomptes et des budgets annuels nécessaires.

Le **budget** annuel doit couvrir les frais suivants :

- les travaux d'entretien,
- le remplacement des installations défectueuses,
- le renouvellement des plantations détruites ou inappropriées,
- le contrôle d'efficacité des mesures (fréquentation des passages à faune, inventaire biologique des biotopes, recensement d'espèces bio-indicatrices, etc.),
- la surveillance et si nécessaire les interventions de police pour éviter les abus (activités perturbatrices, décharges sauvages, dépôts divers, appropriations d'espaces, etc.).

E.2 PLAN D'ENTRETIEN

E.2.1 PEAMBULE

Les **objectifs du plan d'entretien** sont :

- d'orienter l'entretien des mesures de protection et de leurs aménagements de façon à maintenir leur efficacité,
- de répartir les tâches d'entretien entre les services publics, les propriétaires privés, associations, etc.,
- de prévoir les coûts de l'entretien et les modalités de financement.

Trois scénarios peuvent être envisagés pour l'entretien des mesures ainsi que pour **l'attribution de la propriété foncière** (cf Tableau E.2-1). Le 3ème scénario est le plus avantageux en ce qui concerne la pérennité des mesures.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Etat de propriété	L'Etat est propriétaire de : (1) + (2) + (3) Exploitants privés : aucun	L'Etat est propriétaire de : (2) + (3) Exploitants privés : (1)	L'Etat est propriétaire de : (2) + (3) Exploitants privés : (1)
(1) Surfaces agricoles et forestières productives	Mises en location avec un cahier des charges détaillant les conditions d'exploitation	Mises en vente	Mises en vente
(2) Surfaces agricoles ou forestières extensives	Entretenu par entreprises spécialisées mandatées	Entretenu par un exploitant, contre rétribution si nécessaire avec un cahier des charges détaillant les conditions d'exploitation	Entretenu par un exploitant, contre rétribution si nécessaire avec un cahier des charges détaillant les conditions d'exploitation
(3) Surfaces extensives non attribuées et naturelles	Entretenu par entreprises spécialisées mandatées	Entretenu par entreprises spécialisées mandatées	Gérées par équipes spécialisées rattachées à un service compétent
Avantages	L'Etat garde le contrôle des surfaces acquises et peut compenser si nécessaire les surfaces des mesures utilisées à d'autres fins que ce qu'il était prévu par l'étude d'impact. L'Etat peut compter sur un revenu annuel des surfaces productives. Ces revenus peuvent varier en fonction des conditions cadres de l'agriculture. L'évolution des sites et la qualité des travaux d'entretien dépendent largement des conditions fixées par l'Etat.	Une fois la vente des parcelles assurée, les charges de gestion pour l'Etat sont moindres. Le revenu de la vente permet la création d'un fonds pour le suivi et la gestion des mesures. Les exploitants riverains deviennent partenaires par intérêt à la gestion de surfaces extensives. L'évolution des sites et la qualité des travaux d'entretien dépendent largement des moyens mis en œuvre par l'Etat.	Le rôle de l'Etat est clairement défini. Les exploitants riverains deviennent partenaires par intérêt à la gestion des surfaces extensives. L'évolution des sites est entièrement sous contrôle de l'Etat. Les travaux d'entretien sont effectués par du personnel qualifié et motivé dans le cadre d'une équipe cohérente (service responsable). Le budget est limité à un nombre plus restreint d'objet. La commission de gestion peut être réduite et incorporée à la commission cantonale de protection de la nature.
Désavantages	Le budget annuel est plus important car le nombre d'objets à gérer est maximum, et l'état recourt aux services d'entreprises spécialisées. L'Etat doit négocier des contrats avec un nombre important d'exploitants agricoles. L'entretien des surfaces naturelles est dépendant du savoir-faire d'une ou plusieurs entreprises spécialisées. La mise sur pied d'une commission de gestion interservices efficace est indispensable pour garantir la pérennité des mesures.	L'Etat ne peut compter sur des revenus annuels de location. L'entretien d'une partie des surfaces naturelles est dépendant du savoir-faire d'une ou plusieurs entreprises spécialisées. Une commission de gestion interservices efficace est indispensable pour garantir la pérennité des mesures.	Peu ou pas de transfert de travail vers les entreprises privées. Augmentation des charges de main d'œuvre pour l'Etat. Investissements et maintenance pour le matériel d'entretien.

Tableau E.2-1 : Scénarios d'entretien des mesures environnementales à long terme

E.2.2 EXEMPLE DE PLAN D'ENTRETIEN

Le plan d'entretien est présenté sous forme d'une **banque de données** qui en constitue l'élément de référence.

La banque de données est subdivisée en :

- données de base (n° 1 à 7)
- projet d'entretien (n° 8 à 11)
- entretien et utilisation courante (n° 12 à 16)
- coûts d'entretien (n° 17 à 25)

Cette banque de donnée peut être composée des éléments suivants extraits pour la plupart du dossier d'achèvement :

DONNEES DE BASE

[1] Numéro d'ordre de l'objet à gérer

[2] Relation avec la mesure correspondante de l'EIE ; nom de la mesure

[3] Relation avec le système de repérage utilisé pour l'entretien de l'infrastructure principale (p. ex. repères STRADA)

[4] Données administratives et cadastrales

Commune ; numéro de parcelle ; surface totale ; surface de l'objet ; état de propriété ; régime (forestier ou non)

[5] Description de la végétation avant travaux

[6] Modifications de l'état initial, temporaire (chantiers) et définitif (mesure 1)

[7] Fonction écologique

PROJET D'ENTRETIEN

[8] Orientation de l'entretien

L'orientation de l'entretien fixe les lignes directrices pour l'utilisation des terrains et définit les priorités entre exploitation et protection du site en fonction du rôle de la mesure.

Paramètres :

- Exploitation : l'exploitation agricole ou forestière est conservée.
- Entretien écologique : l'exploitation agricole ou forestière peut être poursuivie tout en tenant compte des fonctions écologiques considérées comme prioritaires.
- Protection du site : conservation du site pour sa valeur naturelle (faune, flore) : entretien périodique établi sur la base d'un plan d'entretien. Pas d'exploitation.

[9] Type d'exploitation

Type d'exploitation et d'entretien de la végétation défini selon les critères agricoles ou forestiers, en prenant comme référence, l'état de l'objet en fin de chantier.

Les modes d'exploitation et d'entretien correspondant aux possibilités de subventionnement existantes (surfaces de compensation écologique).

Les paramètres sont définis sur la base des « Directives concernant la compensation écologique dans l'exploitation agricole » (LBL/SRVA, 1997).

Paramètres :

- Surfaces exploitées ou entretenues selon les directives de l'OFEFP susceptibles de recevoir une indemnité pour l'entretien écologique.
- Surfaces exploitées sans objectif prioritaire de l'entretien écologique.
- Surfaces non exploitables, milieux naturels.
- Surfaces soumises à la législation forestière.

[10] Source de financement

Diverses contributions définies à partir des possibilités et ressources contenues dans la législation agricole, forestière, nature-paysage peuvent être obtenues en complément des crédits issus du projet.

Il existe actuellement deux systèmes de subventionnement de l'entretien extensif des milieux agricoles :

- L'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) subventionne l'entretien des surfaces de compensation écologique par les paiements directs (Ordonnance sur les paiements directs et Ordonnance sur les prestations écologiques requises). Pour l'inscription des surfaces, l'entretien est déterminant tandis que la qualité de la surface ne rentre pas en ligne de compte. Seules les exploitations agricoles peuvent bénéficier de ces paiements. Les types de surface de compensation écologique sont décrits dans les "Directives concernant la compensation écologique dans l'exploitation agricole" (LBL /SRVA, 1998).
- Les cantons, par le biais de la loi sur la protection de la nature (LPN), encouragent l'entretien extensif des surfaces présentant une flore rare. Après expertise par le canton, les surfaces présentant un type de végétation rare ou des espèces spéciales peuvent profiter de ces subventions.

Pour les objets présentant un intérêt particulier pour la faune, il est proposé d'organiser le financement des prestations d'entretien par la constitution d'un fonds mixte alimenté par les crédits d'entretien des routes nationales, subsides agricoles et forestiers, complété par des ressources privées provenant d'associations de protection de la nature, de groupes d'intérêt. Ces ressources supplémentaires pourraient provenir d'actions en faveur de la protection de la nature par exemple. Ces crédits d'entretien seraient alors gérés par une société (fondation), à constituer.

Paramètres :

- OFROU Crédits autoroutiers, ressources de la Confédération pour les tâches (supplémentaires) dépendant du RIE
- LAgr Subventions déterminées à partir de l'article 31b de la loi sur l'agriculture
- LPN Ressources découlant de l'article 18a et b de la loi sur la protection de la nature et du paysage
- LFo Financement défini par la législation sur les forêts
- F Organisation d'une structure de financement autonome, fonds gérés par une fondation

Poursuite de l'entretien courant effectué par les Services publics (canton, commune, CFF), lorsque des prestations supplémentaires ne sont pas demandées.

[11] Mesures complémentaires

Changements de régime et mesures de protection :

Cette rubrique indique si une mesure de protection pour un milieu naturel de valeur particulière (adaptation de la réglementation existante, établissement d'un statut de protection légal par exemple) paraît nécessaire, ainsi que les objets destinés à une intégration au régime forestier.

Paramètres :

- Prot. Mesure de protection au sens de la LAT : arrêté, convention de servitude, ... à définir. Protection de l'espace libre sous les viaducs (échanges de faune)
- F Adjonctions au régime forestier
- Sans changement de régime

ENTRETIEN ET UTILISATION COURANTE**[12] Remise en état**

Tâches correspondant à la phase initiale de l'entretien :

- Remise en état des sols après travaux (non pris en compte dans l'évaluation des coûts d'entretien)
- Changement du mode d'exploitation : prestations assimilées à un entretien initial et pris en compte dans l'évaluation des coûts (complètent les aménagements décrits dans le RIE)

Paramètres :

- Conservation en l'état
- P Modification du type / mode d'exploitation
- C Remise en culture après travaux
- R Réaménagement en prairie après travaux.

[13] Propriétaire final

Lors d'une visite de terrain, il faut déterminer si une surface peut faire partie de l'entretien « normal » d'une entreprise agricole. Dans ce cas, il est proposé de revendre le terrain aux agriculteurs concernés ou de prévoir des contrats de location (bail) pour ces surfaces (décision de l'administration cantonale).

Dans les cas suivants, nous proposons d'effectuer l'entretien écologique par le biais de l'Etat (par exemple sur contrat d'entretien) ou par l'intermédiaire d'une fondation (à créer) :

- Végétation exceptionnelle et rare : le maintien d'une végétation spéciale ne peut pas être assuré par la vente de la surface concernée; il est proposé de remettre l'entretien dans les mains d'une fondation (au sein de laquelle pourraient être représentées les associations de protection de la nature);
- Obstacles d'exploitation : les surfaces présentant des nombreux obstacles pour la fauche ou le labour ne présentent que peu d'intérêt agricole; il est proposé d'effectuer l'entretien directement par l'Etat (talus de routes, berges) ou sur contrat d'entretien (agriculteurs, entreprise privée).

Cas particulier : les surfaces situées sous les viaducs et les ponts de l'autoroute restent propriété de l'Etat. Considérées comme non productives, elles ne requièrent aussi qu'un entretien minime (fauche éventuelle). L'entretien est effectué par le Centre d'entretien des routes nationales.

Responsables de l'entretien à terme.

NB : Les prestations d'entretien peuvent être confiées à des tiers.

Paramètres :

- Sans changement de propriétaire
- P Revente d'une parcelle du domaine public à un privé
- A Achat par l'Etat
- B Propriété de l'Etat, avec établissement d'un bail pour un exploitant.

[14] Type d'intervention pour l'entretien

Prestations particulières à effectuer en complément de l'entretien usuel défini par la pratique agricole ou forestière. Mentionner en complément si un plan d'entretien doit être établi (pour les objets de valeur particulière).

Paramètres :

- G Plan d'entretien à établir
- E Embuissonnement à contrôler
- R Entretien, réfection
- H Fauchage des berges selon critères écologiques pour maintenir la capacité hydraulique d'un cours d'eau ou d'un bassin de rétention.

[15] Fréquence d'entretien

Calendrier d'intervention et dates particulières d'exploitation pour les surfaces herbagères lorsque les délais sont différents de la pratique agricole usuelle.

Périodicité d'entretien pour les haies.

Paramètres :

- Intervention usuelle correspondant à la pratique agricole ou forestière (type d'exploitation)
- X Fauche tardive
- Z Fauche sectorielle périodique
- T Entretien périodique d'une haie
- V Entretien de la végétation sous les viaducs

[16] Restrictions d'utilisation

Restrictions d'utilisation du sol en accord avec les fonctions écologiques des sites. Les restrictions définies dans le cadre de la pratique agricole et forestière ne sont pas mentionnées.

Paramètres :

- Restrictions d'utilisation conformes au type d'exploitation
- C Clôtures à bétail : pas de clôtures permanentes
- M Dépôt de matériaux : restriction concernant la mise en dépôt de matériaux, le stockage de machines : applicable aux passages à faune, lisières
- O Obstacles permanents : interdiction concernant la création d'obstacles aux échanges de faune, constructions dans la zone agricole (serres, hangars, etc...)

ESTIMATION DES COÛTS D'ENTRETIEN

Le calcul du coût consiste à multiplier une surface définie en fonction du type d'exploitation proposé au point 9 par un prix unitaire estimé. Afin de simplifier l'évaluation, il est proposé de diviser les surfaces des objets selon trois types d'intervention :

[17] le fauchage de surface enherbée

[18] l'entretien de haies ou de berges plus ou moins plantées

[19] l'entretien de milieux naturels particuliers, tels que les anciennes carrières, les baissières, les murs de pierres sèches et les bassins de laminage

Le revenu n'est pas calculé lorsque la parcelle est destinée à la location ou la vente.

[20] Surface de prairie

Surface à faucher (m²)

[21] Surface de haie ou de rive

Surface de haies ou de rive à entretenir (m²)

[22] Surface de milieu naturel

Surface de milieux naturels particuliers

[23] Coût entretien : prix entreprise

Estimation du coût d'entretien selon l'hypothèse d'une prise en charge par des entreprises spécialisées mandatées.

[24] **Coût entretien : prix agriculture**

Idem, mais avec l'hypothèse d'une prise en charge de l'entretien par contrat avec un agriculteur.

[25] **Prix unitaires**

E.2.3 PROCESSUS D'ELABORATION D'UN PLAN D'ENTRETIEN

La Figure E.2-1 résume les différentes étapes nécessaires à l'élaboration d'un plan d'entretien.

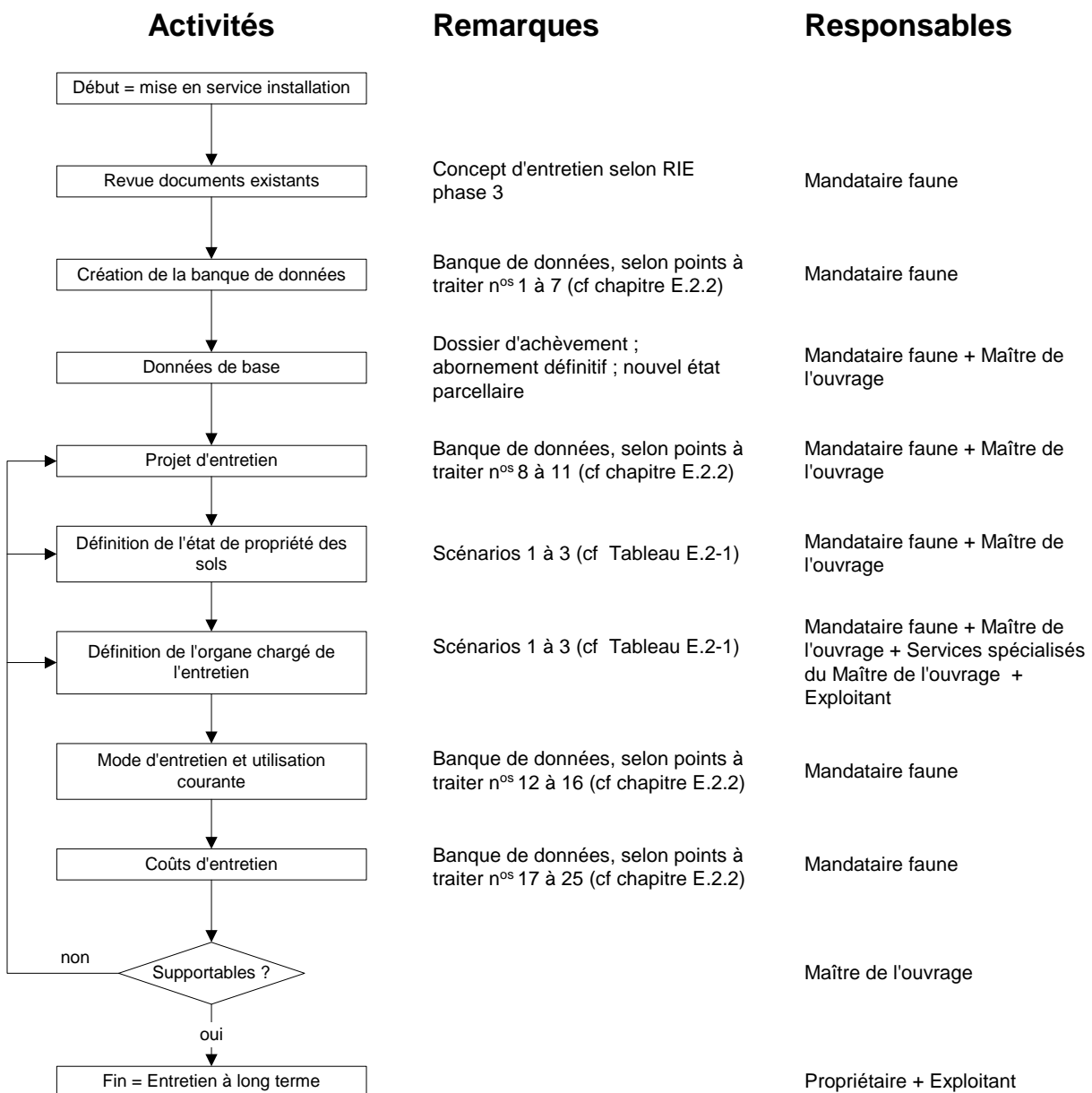


Figure E.2-1 : Processus Faune-Traffic (FT6) – Elaboration d'un plan d'entretien

E.3 LES DIFFERENTS CONTROLES

E.3.1 CONTROLE DE CONFORMITE

Dans la vie d'une mesure (Figure E.1-2), il faut distinguer le contrôle de conformité des contrôles d'efficacité (cf chapitre E.3.3) qui suivent.

Le **contrôle de conformité** s'effectue à la réception provisoire de l'ouvrage et par les concepteurs du projet (ingénieur et écologue).

Il se compose des étapes suivantes :

- Vérification de la cohérence entre les données disponibles sur l'environnement avant réalisation du projet, les impacts supposés du projet et le principe de la mesure prise.
- Etablissement du bilan de conformité qui doit être à même de définir les éventuels défauts de réalisation de la mesure et leurs causes ou sa parfaite conformité. Ce bilan peut conduire à entreprendre des mesures correctrices.

E.3.2 SURVEILLANCE

La **surveillance** d'une mesure de protection doit permettre :

- de vérifier que les abords de la mesure ne sont pas utilisés à des fins incompatibles avec son utilisation par la faune sauvage (pose de clôtures à bétail, etc.)
- de prévenir une utilisation détournée de la mesure (entreposage de matériel agricole, zone de promenade pour les chiens du quartier, etc.)
- d'orienter éventuellement un entretien pour en améliorer son efficacité
- de sensibiliser et d'informer le public ou des autorités si leur comportement ou leur politique vont à l'encontre d'un bon fonctionnement d'une mesure (nouvelles zones à bâtir, utilisation d'un biotope reconstitué par des VTT, etc.).

Cette surveillance doit en principe s'effectuer une à deux fois par an et peut être couplée avec l'entretien de la mesure. Les services d'entretien, des associations locales ou des particuliers peuvent s'en occuper moyennant une petite formation et un soutien financier du maître d'ouvrage. Un accord écrit de type « convention de gestion » est dans ce cas souhaitable pour garantir le bon travail des mandataires.

E.3.3 CONTROLES DE L'EFFICACITE

E.3.3.1 Nécessité et but

L'efficacité d'une mesure de protection ou d'un ensemble de mesures de protection se mesure à leur capacité à atteindre le ou les objectifs pour lequel elle/il a été conçu.

Les **objectifs d'une mesure** sont définis par rapport à ceux liés à un secteur paysager et par conséquent souvent par rapport à un système de mesures.

Afin de pouvoir effectuer un contrôle d'efficacité, la définition ci-dessus présuppose deux choses :

- lors de l'élaboration d'un projet de mesure(s) de protection, les objectifs doivent être clairement fixés et consignés dans un document de gestion dans le dossier d'achèvement qui doit être remis au mandataire chargé d'effectuer les contrôles d'efficacité,
- ces objectifs doivent être traduits en tant qu'éléments mesurables ou vérifiables pour que le mandataire chargé d'effectuer le suivi puisse contrôler l'efficacité de la mesure.

Exemples de mesures et d'éléments correspondants à mesurer :

- passage à faune : objectif = maintien d'une population située entre un lac et la voie de circulation ; élément mesurable = individus dans la population (avant - après)
- passage à faune : objectif = garantir un brassage génétique ; élément mesurable = nombre de traversées par les animaux
- mesures de compensation : création d'un milieu pour les espèces X, Y, ... ; élément mesurable = colonisation du milieu par les espèces X, Y, ...


Dans l'exemple du passage à faune, l'efficacité n'est pas forcément liée au plus grand nombre de passages possibles, mais dépend de l'objectif fixé. Un passage conçu pour un brassage génétique sera efficace avec seulement 2 à 5 traversées par an. Un autre conçu pour des migrations nécessitera plus de traversées pour être déclaré efficace et il conviendra de distinguer les traversées « locales », de l'animal qui fait plusieurs aller-retour par jour, des traversées de migration.

Pour **les invertébrés**, il s'agit de mesurer avant tout les déplacements de certaines espèces-phares, et surtout de contrôler que les populations de l'état initial ne sont pas en phase de déclin progressif. La question ici ne se pose pas tant en terme de circulation des individus (mise en évidence et comptage des mouvements) qu'en terme d'évaluation de l'état de santé et d'équilibre des populations (mise en œuvre de moyens d'investigation propres à l'entomologie de terrain).

Les contrôles d'efficacité ne font jusqu'à maintenant pas l'objet d'une procédure bien définie. Ils répondent toutefois à un besoin évident aussi bien pour le concepteur que pour le Maître d'ouvrage. L'importance à leur donner dépend de l'importance de la mesure et des investissements consentis pour sa construction.

Le principe du suivi figure dans la nouvelle ordonnance sur les routes nationales ainsi que dans une modification de l'ordonnance sur la protection de la nature. Dans les deux cas, il comprend logiquement le contrôle d'efficacité.

Les contrôles de l'efficacité visent en définitive plusieurs **objectifs** :

- Les conditions initiales et les hypothèses faites lors de l'élaboration du projet de mesures de protection peuvent changer avec le temps. Les contrôles doivent permettre de **constater l'efficacité des moyens mis en œuvre** au niveau du projet pour les impacts directs et au niveau de la zone d'influence pour les impacts indirects et le cas échéant identifier les causes de dysfonctionnements pour permettre d'entreprendre des mesures correctrices (cf.  chapitre E.4).
- Ils contribuent à une **politique de transparence** par une démarche de communication restituant aux personnes concernées l'efficacité des aménagements réalisés.
- Les contrôles permettent **d'accroître les connaissances** dans le domaine et d'éviter les erreurs passées.
- Une mesure de protection est un investissement. Le Maître d'ouvrage est donc en droit d'obtenir une certaine **garantie de fonctionnement** et de résultats. Un contrôle d'efficacité, basé sur l'atteinte ou non des objectifs fixés, permet de vérifier la qualité du travail du concepteur de la mesure.

De même que pour tous les prestataires de service, un écologue peut être rendu en partie responsable de l'efficacité des mesures de protection qu'il projette.

Il est évident que les problèmes liés à la nature se composent de nombreux paramètres variables dans le temps et pas toujours connus ou contrôlables. Ils peuvent fortement nuire à l'efficacité d'une mesure, d'où la nécessité d'un contrôle. Ils ne sont donc pas imputables à l'écologue dans la mesure où ils ne pouvaient pas être prévus. Néanmoins, tous les projets doivent être réalisés selon les « règles de l'art » et c'est à ce niveau que la responsabilité s'applique.

E.3.3.2 Timing et acteurs

Les contrôles d'efficacité doivent être réalisés une fois les plantations des aménagements arrivées à maturité.

Dans la mesure où la responsabilité de l'écologue peut être engagée, le mandataire ne devrait pas être le concepteur de la mesure, ni, par souci de neutralité, son concurrent direct. Néanmoins, il doit s'agir d'un spécialiste de la faune. L'appel à des experts peut en cas de nécessité s'avérer utile. Ces contrôles doivent être supervisés par les services officiels (cantonaux en principe) et aux frais du maître d'ouvrage.

Le **début et la fréquence des contrôles**, dépend de plusieurs facteurs :

- du type de la mesure : mesure de compensation, passage à faune, etc.
- du type d'aménagement mis en place, en particulier les plantations
- du type de faune considéré (capacité d'adaptation) : batraciens, ongulés, etc.
- du coût de la mesure et du budget consenti pour sa gestion : le suivi d'une buse à faune n'est pas identique à celui d'un pont biologique.

Les contrôles d'efficacité doivent être planifiés par le concepteur, avec l'accord du maître d'ouvrage, dans un cahier des charges. Ils peuvent s'espacer avec le temps (par exemple à 1, 3, 10 ans).

E.4 MESURES CORRECTRICES

E.4.1 DEFINITION

Une mesure correctrice vise à améliorer l'efficacité d'un aménagement ou d'un ouvrage pour atteindre les objectifs fixés lors de sa planification. Elle peut également recouvrir des aménagements de réhabilitation de surfaces ou d'ouvrages pour obtenir des fonctions qui n'ont pas été prévues initialement par le projet. C'est le cas notamment de nombreuses petites surfaces restituées en fin de chantier dont l'exploitation agricole s'avère trop difficile ou sans intérêt.

Les mesures correctrices peuvent se classer selon trois types :

- les mesures d'amélioration (optimisation)
- les mesures d'adaptation (les conditions initiales ayant changé)
- les mesures de correction (correction d'éventuels défauts de construction)

E.4.2 JUSTIFICATION

L'implantation d'une infrastructure linéaire de transport dans un paysage entraîne toujours une transformation des structures, mais également des fonctions du paysage avec notamment des changements progressifs de l'exploitation du sol par les activités humaines. Un projet, même parfaitement étudié pour ses aspects environnementaux, ne peut pas prévoir tous les changements qui vont survenir dans la région touchée au cours des années.

Les mesures environnementales ne vont pas forcément jouer le rôle qui leur était dévolu. Tel étang destiné à favoriser la reproduction des amphibiens et des oiseaux peut devenir rapidement une zone de loisirs; telle prairie fleurie, une place de pique-nique ou un passage à faune servir d'entrepôt. Il faut une certaine souplesse dans la conception d'ensemble des mesures et prévoir des solutions de replis.

Les mesures correctrices font donc partie du **concept de gestion** des espaces aménagés liés au projet.

Les projets de remaniement parcellaires et de développement de zones industrielles qui apparaissent dès la mise en chantier d'une voie de circulation constituent une des causes principales de modifications des paysages. Les chances de pérenniser des aménagements paysagers et une efficacité optimales pour des ouvrages de franchissement pour la faune, par exemple, sont très réduites sans un concept large des mesures environnementales bien compris et soutenu par le maître d'ouvrage.

Si le maître d'ouvrage ou le gestionnaire mandaté pour s'occuper des mesures environnementales extérieures à l'emprise de la voie de circulation ne dispose pas de moyens légaux et financiers pour surveiller, défendre et parfois renégocier certains aménagements, il est possible que les mesures ou leur efficacité disparaissent par destruction directe ou par récupération des surfaces et des ouvrages pour un autre usage.

Un programme de mesures correctrices résulte d'un **bilan de contrôles d'efficacité**. Il est mis en place par des constats répétés d'échec, de déprédations ou encore par l'apparition d'un nouveau projet qui remet en question tout ou partie des aménagements mis en place précédemment.

Le budget nécessaire doit faire l'objet d'un poste extraordinaire dans le budget d'exploitation regroupant la gestion et l'aménagement.

Les types de mesures correctrices sont très variés, allant de la plantation de quelques végétaux à la revue complète d'une mesure. Chaque cas est particulier et doit faire l'objet d'une étude d'un spécialiste de la faune. Ils ne sont donc pas repris ici.

PARTIE F

MÉTHODOLOGIE POUR
L'APPRÉCIATION DES
PROJETS DE MESURES
DE PROTECTION

F.1 DEMARCHE

La démarche préconisée comprend trois étapes :

1. **l'identification du projet d'infrastructure** qui comprend la revue de ces caractéristiques, l'étude des oppositions, la traçabilité des décisions, des prises de position, des conflits etc. → chapitre F.2
2. **l'évaluation du besoin en mesures de protection** pour la faune qui traite autant du réseau écologique existant que de son concept futur ; l'étude des impacts de la voie de circulation sur la faune doit aboutir à une décision sur les besoins en mesures de protection → chapitre F.3
3. **l'évaluation du plan des mesures** qui ne doit pas seulement se confiner à une décision politique (oui/non) ou économique (trop chère/supportable) → chapitre F.4

La description de chacune de ces étapes se présente sous la forme d'une présentation générale en introduction, puis d'une description détaillée des différents points à vérifier et se termine par une check-list qui permet au décideur de n'oublier aucun point.

Cette partie F est aussi utile par le fait qu'elle résume les démarches et points importants développés dans les parties précédentes.

F.2 IDENTIFICATION DU PROJET

F.2.1 INTRODUCTION

L'identification du projet a pour but de familiariser le décideur avec celui-ci. Il s'agit de connaître et vérifier les aspects :

- techniques : type de voie de circulation, type de projet
- procéduraux : avancement du projet, phase de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE)
- politiques : oppositions, décisions, etc.
- organisationnels : acteurs et compétences
- légaux : conformité avec les différentes lois et ordonnances

F.2.2 TYPE DE VOIE DE CIRCULATION

Le type de voie de circulation est aisément identifiable. La classification selon Ordonnance sur les études d'impact (OEIE) peut être utilisée à cet effet.

- 1 Transport
 - 11 Circulation
 - 11.1 Routes nationales
 - 11.2 Routes principales construites avec l'aide de la Confédération
 - 11.3 Autres routes à grand débit et autres routes principales
 - 12 Trafic ferroviaire
 - 12.1 Nouvelles lignes de chemin de fer
 - 12.2 Autres installations ferroviaires
 - 12.3 Voies de raccordement
 - 13 Navigation
 - 13.4 Voies navigables
 - 14 Navigation aérienne
 - 14.1 Aéroports
 - 14.2 Aérodromes
 - 14.3 Hélicoptères

Par extension, le cas des lignes à haute tension (22.2) et du transport par câble tel que téléskis, téléphériques (60.1) intervient également dans la problématique faune-trafics.

L'importance de la voie de circulation doit également être identifiée. Pour les routes, elle peut s'établir selon la norme SN 640 040 b de la façon suivante :

- Routes à grand débit (RGD) appartenant au réseau international et national ; leur fonction est double, c'est-à-dire transiter et relier. Les exigences en terme de technique de circulation, de protection de l'environnement et d'entretien sont très élevées. Les RGD avec séparations physiques des sens de circulation sont qualifiées d'autoroutes et celles qui n'en comportent pas de semi-autoroutes ; les routes nationales (11.1) sont en règle générale dans la première catégorie, les routes principales suisses (11.2) dans la deuxième. La norme impose que les RGD avec séparation physique des sens de circulation soient clôturées ; dans le deuxième cas, il est permis de déroger à cette obligation en fonction de la vitesse.
- Routes principales (RP), dont la fonction est triple : transiter, relier, collecter ; elles appartiennent au réseau national ou interlocalités et accueillent une circulation mixte ; les exigences en ce qui concerne la technique de circulation, la protection de l'environnement restent élevées, celles liées à l'entretien baissent légèrement. Ces voiries sont clôturées si la vitesse est élevée ; elles correspondent à la catégorie 11.3.
- Routes de liaison (RL) du réseau régional ou interlocalités peuvent poser certains problèmes de sécurité faune/trafic, (points noirs) si le trafic dépasse 5'000 véhicules/jour.

Les lignes de chemin de fer sont classées dans différentes classes selon l'importance et les types de trafic.

Il est important de relever les cas particuliers du jumelage d'infrastructures parallèles ou sécantes (routes/voies ferrées ; routes/cours d'eau ; routes/routes ; etc.), car de telles situations nécessitent une coordination entre les différents Maîtres d'ouvrage dans le cadre du plan de mesures et de son application qui doit être vérifiée.

F.2.3 TYPE DE PROJET

Trois types de projet peuvent être retenus. Les deux premiers sont définis dans l'OEIE, comme étant soumis à une étude d'impact et le troisième pourrait apparaître dans le futur sous la forme d'un programme de défragmentation. Ce sont :

- les constructions nouvelles
- les modifications de voies de circulation existantes
- les programmes d'assainissement faune-trafics (défragmentation)

F.2.4 ETAT D'AVANCEMENT


Il s'agit ici de préciser l'état d'avancement du projet et de la procédure (voir Partie C) à plusieurs niveaux :

- avancement du projet de mesures de protection,
- avancement du projet d'infrastructure de transport dont il fait partie
- à un niveau plus global, avancement du réseau d'infrastructures ainsi que celui du concept de gestion du paysage et de la faune auquel est rattaché le projet de mesures (plan directeur cantonal par exemple)

F.2.5 CONTEXTE POLITIQUE

Un historique du projet récapitulant les principales décisions prises, leurs motivations, leur traçabilité, les points d'arrêt, les oppositions, les points en suspens etc. doit également être dressé sous la forme d'un rapport succinct ou d'un diagramme de flux et permettant l'analyse des arguments avancés dans la pesée des intérêts.

F.2.6 REPARTITION DES COMPETENCES

A tous les niveaux d'avancement du projet, il convient de vérifier que les matrices de **répartition des responsabilités** telles qu'énoncées dans la partie C.1 (tableau C.1-1) soient correctement remplies, les intervenants identifiés et évite  que leurs compétences soient outrepassées.

Au niveau des organes habilités à juger des projets, il importe également de faire une analyse des compétences basées sur les individus (compétences professionnelles).

Les outils qui se prêtent le mieux à cette analyse sont ceux généralement utilisés dans les systèmes de management de la qualité.

F.2.7 EXIGENCES LEGALES

L'appréciation portera sur la **conformité aux exigences légales** en rapport avec la problématique portant notamment :

- sur les principes de la Loi sur la protection de l'environnement (LPE), soit :
 - prévention
 - causalité (pollueur – payeur)
 - assainissement (art. 16 LPE)
 - proportionnalité
- sur la coordination avec les autres autorisations nécessaires pour la réalisation d'un projet (art. 21 OEIE)
- sur certains aspects de la Loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN) comme :
 - l'article 6, faire prévaloir un autre intérêt d'importance nationale
 - l'article 12, qualité pour recourir des organisations reconnues
 - l'article 18, protection et entretien des biotopes d'importance régionale et locale et nécessité de compenser

F.2.8 CHECK-LIST

TYPE DE VOIE DE CIRCULATION → F.2.2

- **Type de voie de circulation**
route / chemin de fer / voie navigable / ligne à haute tension / aéroport / transport par câble
- **Importance de la voie de circulation**.....
*Route : RGD, RP, RL
Classe de chemin de fer :*
- **Clôturée ?**
oui / non
- **Vitesse de projet**
..... km/h
- **Jumelage d'infrastructures**
avec :

TYPE DE PROJET → F.2.3

- **Type de projet**
Construction nouvelle / Modification / Programme d'assainissement faune-trafics (défragmentation)

ETAT D'AVANCEMENT → F.2.4

- **Projet de mesure de protection**.....
Planification / Avant-projet / Projet définitif / Appel d'offre / Exécution
- **Projet de l'infrastructure**.....
Planification / Avant-projet / Projet définitif / Appel d'offre / Exécution
- **Etude d'impact**.....
EIE phase 1 / EIE phase 2 / EIE phase 3

CONTEXTE POLITIQUE → F.2.5

- **Décisions**.....
Prendre connaissance des principales décisions prises
- **Oppositions**.....
Prendre connaissance : mise à l'enquête, opposants, arguments, oppositions levées
- **Recours**
Prendre connaissance : opposants, arguments
- **Demandes de subvention**.....
Prendre connaissance : demandeur, arguments

COMPETENCES ET RESPONSABILITES → F.2.6

- **Matrice des compétences**
Compléter la matrice des compétences : Tableau C.1-1
- **Compétences individuelles (professionnelles)**
Vérification des compétences des acteurs principaux

ASPECTS LEGAUX → F.2.7

- **LPE**
Prévention / Causalité / Assainissement / Proportionnalité
- **OEIE**
Autorisations nécessaires :
- **LPN**.....
Intérêt d'importance nationale (art. 6), qualité pour recourir (art. 12), protection et entretien des biotopes (art. 18)

F.3 EVALUATION DES BESOINS EN MESURES DE PROTECTION

F.3.1 INTRODUCTION

Ayant défini le projet à l'étape précédente (chapitre F.2), il s'agit de valider les objectifs prévus pour la faune dans le cadre du projet. Pour cela, il faut vérifier que les projecteurs ont analysé correctement la problématique et proposent une vision future acceptable.


Cet aspect doit être clairement distingué de l'étape suivante qui consiste à valider les ouvrages choisis pour atteindre ces objectifs (chapitre F.4).

La démarche proposée consiste à valider successivement :

- **l'analyse du contexte faunistique** du projet (initial et évolution),
- **les impacts et la perméabilité** de la voie de circulation.

Pour l'appréciation, les compétences, les spécialisations et l'investissement consentis par les personnes ayant préparé le dossier de projet doivent aussi être pris en compte.

F.3.2 ANALYSE DU CONTEXTE FAUNISTIQUE DU PROJET

Cette analyse passe par l'étude des réseaux écologiques, décrite au  chapitre D.2, qui s'appuie sur une approche régionale et locale complémentaires. Elle doit faire ressortir l'état initial du réseau écologique et son évolution une fois le projet réalisé (concept de réseau futur).

L'analyse du **réseau écologique initial** doit également mettre en évidence ses lacunes et les améliorations souhaitables, voire déjà envisagées ou prévues en dehors du projet de voie de circulation.

La priorité doit être accordée aux milieux et aux espèces rares ou protégées. Dans ce but, l'utilisation des inventaires et des listes rouges locales est indispensable, quoique souvent insuffisante.

Il faut vérifier que les principaux groupes faunistiques ont été pris en considération : les mammifères, les oiseaux, les reptiles, les batraciens, les poissons et les invertébrés.

En ce qui concerne les milieux, une attention particulière doit être portée aux structures boisées, arbustives et aux cours d'eau, axes privilégiés de déplacement de la faune tant terrestre qu'aquatique.

Le **concept du réseau futur** doit :



- décrire les principaux corridors qui serviront aux échanges faunistiques dans le paysage remanié suite à la construction ou à l'assainissement de la voie de circulation en tenant compte des changements que la nouvelle voie de circulation induira sur le paysage local (urbanisation, industrialisation, public en quête de détente, etc.)
- s'intégrer dans le réseau de corridor d'importance régionale et nationale,
- maintenir voire améliorer les fonctionnalités du réseau écologique initial,
- montrer pour les principales espèces concernées comment ce réseau influencera leur population. Pour les espèces protégées ou bénéficiant d'une protection particulière au titre de la loi, démontrer que le réseau futur s'intègre dans un concept de protection de l'espèce (en particulier quand des plans ou des stratégies nationales ou cantonales existent) et que les contraintes légales sont respectées,
- justifier pourquoi d'autres variantes de réseaux futurs n'ont pas été retenues,
- démontrer que la coordination nécessaire a été effectuée avec les autres acteurs actifs et les projets en cours dans la région.


Le réseau initial et futur doit apparaître sur un plan. La présence de corridors à faune d'importances régionales ou nationales doit être mise particulièrement en évidence.

F.3.3 IMPACTS ET PERMEABILITE DE LA VOIE DE CIRCULATION

La procédure prévue est similaire, qu'il s'agisse de la construction d'une nouvelle voie de circulation, d'une réfection ou d'un assainissement. Dans tous les cas, il faut évaluer l'impact du projet envisagé sur le réseau écologique existant en l'absence de mesures spécifiques pour la faune.

Une telle étude prospective nécessite une appréciation :

- des **points de conflit** entre les réseaux de faune existants et le projet  vu (cf chapitre D.3.1)
- de la **perméabilité effective** du projet (cf  chapitre D.3.2)

Il est nécessaire d'évaluer les impacts en tenant compte de l'évolution de l'aménagement du territoire due à l'exploitation de la voie de circulation et d'éventuels autres facteurs. Afin de garantir une approche systématique, il est recommandé d'utiliser la typologie décrite au  chapitre B.4.2, à savoir :

- les impacts sur la **capacité d'accueil du milieu**,
- les impacts sur le **taux de mortalité des espèces animales** qui doit inclure une analyse de la sécurité pour le trafic (collisions),
- les impacts sur la **fonctionnalité du réseau écologique** (effet de fragmentation, etc.).

Les espèces à considérer sont les espèces que l'étude du réseau écologique existant a mises en évidence, ainsi que les espèces en voie d'expansion et susceptibles d'être attirées par les nouveaux milieux liés au projet.

Un **diagnostic de la perméabilité** qui préfigure le plan de mesures doit être effectué (cf chapitre D.3.3). Une telle analyse envisage souvent l'alternative entre :



- le passage diffus : l'accès à la voie de circulation par la faune est laissé libre.
- le passage concentré : l'accès à la voie de circulation est empêché par des obstacles, ce qui réduit les risques de mortalité mais peut renforcer l'effet de fragmentation.

F.3.4 DECISION SUR LE BESOIN EN MESURES DE PROTECTION

Sur la base des informations précédentes, il est possible d'émettre un préavis sur les besoins en mesure de protection.

Les décisions possibles sont les suivantes :

- En cas de manque d'information, le projet doit être retourné aux projeteurs pour complément.
- En cas de lacunes constatées ou de divergence d'appréciation, le projet doit également être retourné avec justification aux projeteurs en précisant les modifications souhaitées. Au besoin, une expertise externe au projet peut être demandée pour éclaircir des points mal connus ou confirmer des choix stratégiques.
- Si aucun de ces obstacles ne subsiste, les besoins en mesure de protection peuvent être validés.

Il s'agira alors d'apprécier les ouvrages et autres mesures pratiques à même de concrétiser sur le terrain le réseau écologique futur (chapitre F.4).

La définition des objectifs du concept de réseau écologique futur est essentielle avant d'investir beaucoup de temps et d'énergie dans la définition des ouvrages de franchissement. Pour les grands projets, il est souhaitable de procéder à une validation externe avant de poursuivre les études détaillées des ouvrages de franchissement. En principe, la définition et la validation externe de ces objectifs doit se faire lors de l'avant-projet.

F.3.5 CHECK-LIST

CONTEXTE FAUNISTIQUE DU PROJET → F.3.2

- **Prise en compte de toutes les espèces protégées (inventaires, listes rouges)**
Oui / Non
- **Groupes faunistiques considérés ?**
Grande et moyenne faune / Petits mammifères / Batraciens / Reptiles / Oiseaux / Faune aquatique / Invertébrés
Justification pour les groupes manquants :
.....
.....
.....
.....
- **Prise en compte des milieux sensibles et axes privilégiés de déplacement de la faune.....**
« Milieux protégés et de valeur, structures boisées, cours d'eau, haies, continuums prairiaux »
Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
- **Prise en compte des cartes de corridors existantes.....**
Oui / Non
- **Concept de réseau futur**
Intégration dans le réseau de corridor d'importance régionale et nationale : Oui / Non
Maintien des fonctionnalités du réseau initial : Oui / Non
Justification de la variante retenue : Oui / Non
Coordination avec les autres projets en cours dans la région : Oui / Non
- **Plan des réseaux écologiques**
Etabli / Partiel / Absent
Remarques :
.....
.....
.....
.....

IMPACTS ET PERMEABILITE DE LA VOIE DE CIRCULATION → F.3.3

- **Identification et appréciation des impacts induits**
Sur la capacité d'accueil du milieu : Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
Sur le taux de mortalité des espèces : Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
Sur la fonctionnalité du réseau écologique : Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
- **Prise en compte de l'évolution de l'aménagement du territoire**
Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
- **Prise en compte de l'aspect sécurité du trafic**
Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
- **Analyse de la perméabilité effective de la voie de circulation en projet.....**
Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune
- **Diagnostic de la perméabilité**
Bon / Satisfaisant / Insuffisant / Aucun

DECISION → F.3.4

- **Décision sur le besoin en mesures de protection**
Validation du besoin en mesures de protection / Manque d'informations / Lacunes ou divergences d'appréciation
Justification de la décision : voir document annexé

F.4 EVALUATION DU PLAN DE MESURES

F.4.1 INTRODUCTION

Sur la base des besoins en mesures de protection validées dans le cadre de la procédure décrite au chapitre précédent, les projeteurs (le groupe d'étude pluridisciplinaire) proposent un plan de mesures destinées d'une part à limiter les impacts faunistiques engendrés par l'infrastructure de circulation et d'autre part à mettre en place le futur réseau écologique du secteur.

L'appréciation de ce plan ne consiste pas à refaire le projet, mais plutôt à vérifier si l'ensemble des études nécessaires ont été menées de manière diligente et si le plan de mesures qui en résulte est à même d'atteindre les objectifs de protection retenus pour le projet.

Cette appréciation repose sur trois points :

- Vérification des analyses de variantes
- Adéquation de chaque ouvrage ou mesure retenue et intégration au réseau écologique futur
- Acceptabilité économique du plan de mesures

F.4.2 ANALYSE DES VARIANTES

Les analyses de variantes doivent se faire à différentes étapes du processus de mise au point du projet de plan de mesures environnementales. Deux étapes cruciales sont :

- L'analyse des variantes de tracé d'infrastructure dans le but d'une minimisation des impacts environnementaux
- Les analyses des variantes de plan de mesures

Pour apprécier l'étude de **variantes de tracé** du point de vue faune-trafics, il est nécessaire de vérifier que :

- les critères « protection de la faune » et « sécurité du trafic » (collision avec animaux) ont été retenus pour l'évaluation,
- la pondération choisie pour ces critères est justifiée et acceptable,
- la justification de la variante retenue inclut l'aspect faune-trafics

Pour apprécier l'analyse des **variantes de plans de mesures**, il s'agit de vérifier :

- qu'elle se base sur des critères d'efficacité du point de vue faunistique (fonctionnalité du réseau écologique, capacité d'accueil, taux de mortalité), de sécurité du trafic (collisions véhicule-animal) et des critères économiques,
- que la pondération choisie pour ces critères est justifiée et acceptable,
- que la méthode d'évaluation et la justification de la variante retenue soient objectives.

Si l'appréciation de l'analyse de variantes montre des lacunes, il s'agit pour le décideur de se demander si ces lacunes sont susceptibles d'influencer le choix final. Dans l'affirmative, un complément d'étude peut être demandé.

F.4.3 PLAN DE MESURES RETENU

L'appréciation du plan de mesures doit porter sur le plan dans son ensemble et sur ses composantes (chaque mesure technique). Les points suivants doivent être vérifiés :

- Adéquation du plan de mesures avec le réseau écologique futur
- Prise en compte de la perméabilité effective de la voie de circulation (optimisation d'ouvrage non spécifique en vue de leur utilisation par la faune) (☞ chapitre D.3)
- Impact sur les tiers (agriculture, forestiers, etc.)
- Faisabilité politique (disponibilité des terrains, etc.)
- Faisabilité technique
- Sécurité (du chantier, des usagers de la route et de la faune)
- Viabilité des mesures sur le moyen et long terme face à d'autre projet, à une modification de l'aménagement du territoire
- Compatibilité avec les autres infrastructures et projets
- Mesures conçues selon les règles de l'art (dimensions, aménagements, implantation, intégration dans le réseau écologique, etc.) (☞ chapitres D.4 et D.5)
- Prévision de l'efficacité à court et à long terme
- Concept de gestion (avec organisation, financement, programme) (cf partie E)

L'avant-dernier point est particulièrement important. Le projet doit comprendre un pronostic sur l'efficacité à long terme des mesures de protection proposées. L'autorité concédante peut alors se prononcer sur la validité de ce pronostic, en s'appuyant sur les éléments fournis par les projecteurs et les expériences déjà réalisées.

Une fois que l'efficacité de chaque composante du plan de mesures a été évaluée pour ses caractéristiques propres, il devient alors possible d'évaluer si le plan de mesures permet l'établissement du réseau écologique futur tel qu'il a été défini dans le chapitre F.3 et s'il est conforme aux exigences légales.

F.4.4 EVALUATION ECONOMIQUE

L'optimisation du rapport coût/efficacité est un objectif important pour les décideurs, mais elle se heurte en pratique à la difficulté de quantifier dans des unités comparables les apports et atteintes environnementaux.

Les récentes tentatives de monétariser les valeurs naturelles et environnementales se basent essentiellement sur des unités de milieux (surfaces) et les valeurs retenues sont loin de faire l'unanimité. La valeur des diverses populations animales est encore beaucoup plus difficile à quantifier.

Malgré cette difficulté, le décideur responsable de l'appréciation d'un plan de mesures n'est pas démuné pour évaluer l'adéquation économique du plan de mesures. Il inclura dans son analyse tant les coûts de réalisation que ceux d'entretien. Les possibilités d'évaluation à sa disposition sont les suivantes :

- vérifier **cohérence du projet avec d'autres projets similaires**. Les coûts du plan de mesures sont-ils comparables à ceux de plans similaires créés pour d'autres voies de circulation ? Les différences sont-elles explicables par le contexte, ou résultent-elles de différences d'appréciation de l'équipe de projeteurs ?
- vérifier **l'optimisation du plan de mesures**. Il s'agit de vérifier en particulier si les ouvrages de franchissement ont été raccordés au réseau écologique avec le soin nécessaire (y compris des garanties au niveau de l'aménagement du territoire) et si cet aspect a été pris en compte pour éviter un surdimensionnement des ouvrages envisagés.
- vérifier **le principe de proportionnalité**. Il s'agit de comparer le coût total des mesures projetées à l'investissement nécessaire à la réalisation du projet de voie de circulation.

D'une manière générale, le respect des procédures et des démarches recommandées dans ce volume devrait assurer un coût raisonnable au plan de mesures. En cas de coûts particulièrement élevés, il faut remettre en question:

- le plan de mesures
- le projet de voie de circulation (tracés, etc.)
- le réseau écologique futur, et surtout son concept de franchissement de la voie de circulation.

Dans certains cas, des alternatives au franchissement doivent être envisagées. Les acquis résultant de l'investissement de sommes similaires dans des mesures d'achat de terrain et de revitalisation de milieux doivent être mis en rapport avec le plan de mesures proposé.

F.4.5 DECISION SUR LE PLAN DE MESURES

En fonction de l'appréciation, les décideurs peuvent accepter ou refuser le plan de mesures en l'état. En cas de refus, il s'agit le plus souvent d'un refus partiel avec des demandes complémentaires :

- Demander des changements du projet (diminution des coûts, augmentation de l'efficacité, etc.).
- Demander des garanties supplémentaires (participation de tiers, en particulier au niveau des aménagements des abords des ouvrages de franchissements pour la faune : service de l'aménagement du territoire, service des cours d'eau (etc.) et des garanties quant à l'entretien futur du site et de son statut légal)

F.4.6 CHECK-LIST

ANALYSE DES VARIANTES → F.4.2

- **Variantes de tracé**
 - Critères "protection de la faune" et "sécurité du trafic (collision avec la faune)" pris en compte : Oui / Non*
 - Pondération de l'analyse de variantes justifiée et acceptable : Oui / Non*
 - Justification de la variante retenue incluant l'aspect faune-trafic : Oui / Non*
- **Variantes du plan de mesures**.....
 - Critères d'efficacité "faunistique", de sécurité du trafic et économiques pris en compte : Oui / Non*
 - Pondération de l'analyse de variante justifiée et acceptable : Oui / Non*
 - Méthode d'évaluation et justification de la variante retenue sont objectifs ? : Oui / Non*

PLAN DE MESURES RETENU → F.4.3

- **Adéquation du plan de mesure avec le réseau écologique futur**
 - Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune*
- **Prise en compte de la perméabilité effective de la voie de circulation**
 - Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune*
- **Impact sur les tiers**
 - Faible / Acceptable / Inacceptable*
- **Faisabilité politique**
 - Oui / Non*
- **Faisabilité technique**
 - Oui / Non*
- **Sécurité (du chantier, des usagers de la route et de la faune)**.....
 - Bonne / Satisfaisante / Insuffisante*
- **Viabilité des mesures sur le moyen et long terme**.....
 - Bonne / Satisfaisante / Insuffisante*
- **Concept de gestion**.....
 - Bon / Satisfaisant / Insuffisant / Aucun*
- **Compatibilité avec les autres infrastructures et projets**
 - Bonne / Satisfaisante / Insuffisante / Aucune*
- **Mesures conçues selon les règles de l'art (dimensions, aménagements, implantation, intégration dans le réseau écologique, etc.)**
 - Oui / Partiellement / Non*
 - Remarques :*
 -
 -
 -
 -
- **Prévision de l'efficacité à court et à long terme**.....
 - Oui / Incomplète / Aucune*

EVALUATION ECONOMIQUE → F.4.4

- **Comparaison du coût avec un plan de mesures similaire.....**
Ecart : Faible / Moyen / Important / Néant (pas de projet similaire)
- **Recherche de solutions au rapport efficacité/coût élevé dans le plan de mesures.....**
Oui / Non
- **Application du principe de proportionnalité en comparant le coût total des mesures projetées à l'investissement nécessaire à la réalisation du projet de voie de circulation.....**
Proportionnalité des coûts : Bonne / Satisfaisante / Mauvaise

DECISION → F.4.5

- **Décision sur le plan de mesures.....**
Accepté / Refusé
Justification et/ou demande de compléments : voir document annexé

ANNEXES

GLOSSAIRE

- ***Aménagement paysager d'accompagnement***

Aménagement ayant pour but de renforcer l'efficacité des obstacles, de guider les animaux vers les ouvrages de franchissement qu'ils peuvent utiliser sans danger et plantations sur et aux abords de ces ouvrages pour encourager les animaux à les utiliser

- ***Aménagement paysager de compensation***

Aménagement ayant pour but de remplacer un élément vital du paysage détruit par une voie de circulation ou rendu inaccessible par celle-ci

- ***Assainissement faune/trafics d'une voie de circulation***

Réduction de la fragmentation provoquée par une voie de circulation existante en augmentant sa perméabilité pour la faune (construction de passage à faune, modification de passage en vue de leur utilisation par la faune, revitalisation de corridor etc.)

- ***Bassin versant de la faune***

Partie du paysage d'où provient la faune affectée par un tronçon de voie de circulation, correspond le plus souvent à un bassin versant au sens hydraulique du terme

- ***Benthique***

Du fond des océans, des mers, des lacs

- ***Biocénose***

Ensemble des plantes et des animaux colonisant un espace déterminé et y trouvant les conditions leur permettant d'y vivre et de s'y reproduire. La biocénose est la partie vivante de l'écosystème

- ***Bioindicateur***

Espèce ou communauté d'espèce (population ou peuplement) dont la présence ou l'absence dans un milieu indique la présence, les comportements et les effets de facteurs déterminés

- ***Bioindication***

Mise en évidence des effets biologiques des facteurs environnementaux stationnels à travers des systèmes biologiques (une espèce, une population, un peuplement)

- ***Biotope***

Partie physique et chimique d'un espace déterminé dans lequel vivent des plantes et des animaux. Le biotope appelé aussi milieu est l'élément abiotique, non vivant de l'écosystème

- ***Contrôle d'efficacité d'une mesure ou d'un système de protection faune/trafic***

Le contrôle d'efficacité est l'ensemble des observations permettant de constater si une mesure ou un ensemble de mesures de protection atteint les buts pour lesquels il a été conçu

- ***Corridor à faune***

Bande de terrain utilisée par la faune pour ses déplacements. Les corridors peuvent avoir une importance locale, régionale, nationale voire internationale

- ***Coûts externes***

Ensemble des coûts d'une infrastructure de transports qui ne sont pas supportés directement par les usagers (par exemple : coûts induits par la pollution produite par l'infrastructure de transport, par la fragmentation, etc.)

- ***Défragmentation***

Ensemble des mesures prises pour améliorer ou rétablir la qualité d'un paysage par la mise en place de passages permettant le rétablissement des mouvements vitaux de la faune interrompus par les obstacles que représentent une infrastructure de transport et ses installations annexes

- ***Écocomplexe***

Assemblage spatial, temporel et relationnel de plusieurs écosystèmes qui représentent un niveau d'intégration écologique supérieur s'exerçant à l'échelle d'un paysage

- ***Ecologie des populations***

Discipline qui a comme but de décrire et d'expliquer les variations d'abondance des espèces dans le temps et l'espace.

- ***Écosystème***

Ensemble formé par un biotope et sa biocénose (éléments indissociables agissant l'un sur l'autre) et qui est plus ou moins stable

- ***Entretien***

Ensemble des travaux qu'exige le maintien en état de service d'une voie de circulation et des systèmes de protection faune/trafic

- ***Entretien courant***

Petites réparations ou interventions qui garantissent l'aptitude au service voie de circulation. Travaux de nettoyage et de maintenance, entretien des surfaces vertes et service hivernal

- ***Entretien des systèmes de protection faune/trafic***

Ensemble des travaux qu'exige le maintien de l'intégrité de ces systèmes et de leur cohérence en vue de leur utilisation optimale par la faune

- ***Espèce menacée***

Espèce animale ou végétale dont la survie à terme n'est pas garantie du fait de l'action de l'homme (espèce en danger)

- ***Espèce protégée***
Espèce animale ou végétale protégée par une disposition légale destinée à garantir sa survie à terme
- ***Exploitation***
Ensemble des mesures assurant le bon fonctionnement d'une installation (voies de circulation, ensemble de protection faune/trafics)
- ***Faune***
Ensemble des animaux vivants terrestres, aériens et aquatiques
- ***Fragmentation du paysage***
Ensemble des coupures du paysage formant des obstacles aux mouvements des animaux et conséquences de ces coupures
- ***Gestion des systèmes de protection faune/trafics***
La gestion des systèmes de protection faune/trafics est l'ensemble des travaux nécessaires pour en assurer la pérennité et le fonctionnement tels que surveillance, contrôle de leur efficacité, entretien et si nécessaire réparation, amélioration ou adaptation à de nouvelles données de toute nature
- ***Habitat***
Partie de biotope dans laquelle vit et se développe une espèce donnée
- ***Installations de protection faune/trafics***
Ouvrages techniques devant permettre d'atteindre les buts fixés aux mesures de protections (obstacles, ouvrages de franchissement des voies de circulation, aménagements paysagers d'accompagnement et/ou de compensation, etc.)
- ***Liste rouge***
Répertoire d'espèces animales ou végétales rares et/ou menacées indiquant leur statut et les menaces pesant sur chaque espèce considérée; instrument de travail destiné à mettre en évidence l'urgence de la protection des espèces
- ***Mesures de protection faune/trafics***
Dispositions prises pour assurer la sécurité faune/trafics, soit : interdire l'accès de la faune à l'emprise réservée aux trafics, permettre à la faune de franchir les voies de circulation sans danger et rétablir des conditions de vie nécessaires à la faune de part et d'autre de ces voies
- ***Milieu***
Synonyme de biotope
- ***Mobilité***
Aptitude à se déplacer : besoin, fait ou même possibilité de se déplacer, exprimée par les prestations de transports (nombre de personnes ou de tonnes transportées multipliées par la distance parcourue à cet effet)

- **Motorisation**
Propension d'un ensemble de personnes à se doter et se servir de véhicules motorisés, exprimée par le taux de motorisation (nombre de véhicules pour une population donnée)
- **Obstacle au franchissement des voies de circulation par les animaux**
Tout ouvrage (clôtures, murs, etc.) interdisant à la faune l'accès à l'emprise utilisée par les trafics ainsi que tout obstacle naturel s'opposant à cet accès (fragmentation)
- **Ouvrage de franchissement**
Tout ouvrage d'art permettant à la faune de passer d'un côté à l'autre d'une voie de circulation sans danger pour elle et les trafics (défragmentation)
- **Perméabilité d'une voie de circulation**
Capacité d'une voie de circulation à être franchie par la faune sans danger pour elle
- **Peuplement**
Ensemble des individus de plusieurs espèces occupant un espace déterminé à un moment donné
- **Plan de sécurité**
Document contenant les situations de risque à prendre en compte pour la structure porteuse et la description des mesures permettant d'assurer la sécurité
- **Plan d'utilisation**
Document contenant les états d'utilisation à prendre en compte pour la structure porteuse et la description des mesures permettant d'assurer l'aptitude au service
- **Point noir**
Tronçon de voie de circulation présentant une forte concentration d'accidents et un danger accru pour le trafic dans l'espace et dans le temps
- **Population**
Ensemble des individus d'une même espèce vivant dans un espace déterminé à un moment donné
- **Réseau écologique**
Mosaïque d'écosystèmes et leur interconnexions garantissant des échanges qualitatifs et quantitatifs intra- et interspécifiques
- **Réseau des voies de circulation**
Réseau composé de l'ensemble des réseaux des voies de circulation de toute nature situé dans un paysage donné
- **Réseaux de la faune**
Ensemble des cheminements de la faune nécessaires à son existence dans son territoire

- ***Réserve naturelle***
Portion de l'espace plus ou moins grande protégée par une législation propre (arrêté gouvernemental en général)
- ***Sanctuaire***
Zone protégée de manière très stricte dans laquelle toute activité humaine est proscrite et où la protection d'espèces animales ou végétales est prépondérante
- ***Sécurité faune/trafics***
Etudes des problèmes soulevés par la confrontation entre la faune et les voies de circulation (routières, ferroviaires, fluviales, aériennes et transports par câble) et études, recherches et mise en œuvre des mesures pour en atténuer les atteintes réciproques
- ***Surveillance d'une mesure ou d'un système de protection faune/trafics***
Ensemble des opérations permettant de contrôler d'une part leur intégrité et d'autre part le respect des conditions locales ayant prévalu lors de leur conception afin de s'assurer que ces conditions soient maintenues et respectées
- ***Système de protection faune/trafics***
Ensemble des installations de protection faune/trafics mises en place le long d'un tronçon de voie de circulation donné pour protéger le trafic et la faune l'un vis-à-vis de l'autre et qui doit être géré en permanence en tant que tel
- ***Taxon***
Unité systématique, dans une classification.
- ***Territoires des animaux***
Parties du paysage où se déroule la vie des animaux
- ***Trafic***
Ensemble des déplacements nécessités par les activités humaines et se déroulant sur les voies de circulation
- ***Voie de circulation***
Infrastructure linéaire utilisée pour aller d'un point à un autre (routes, voies ferrées, voies fluviales, câble de transport)
- ***Zone d'influence d'une voie de circulation***
Zone dans laquelle la vie de la faune est influencée par la présence d'une voie de circulation
- ***Zone protégée***
Portion de l'espace d'étendue variable protégée de manière plus ou moins forte par une réglementation ou une législation propre

ABRÉVIATIONS

ASPO	Association Suisse pour la Protection des Oiseaux
ASTRA	Bundesamt für Strassen (OFROU)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (OFEFP)
CFF	Chemins de Fer Fédéraux
CPS	La Conception Paysage Suisse
CSCF	Centre Suisse de Cartographie de la Faune
DT	Direction des travaux
EIE	Etude d'Impact sur l'Environnement
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
LAVOC	Laboratoire des voies de circulation
LBL	Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau
LFSP	Loi Fédérale Sur la Pêche
LPN	Loi fédérale sur la Protection de la Nature et du paysage
LPE	Loi fédérale sur la Protection de l'Environnement
MO	Maitre d'Ouvrage
OEIE	Ordonnance relative à l'Etude de l'Impact sur l'Environnement
OFAG	Office Fédéral de l'Agriculture
OFEFP	Office Fédéral de Environnement, des Forêts et du Paysage (BUWAL)
OFROU	Office Fédéral des Routes (ASTRA)
OFS	Office Fédéral de la Statistique
OFT	Office Fédéral des Transports (Bundesamt für Verkehr)
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OPN	Ordonnance sur la Protection de la Nature et du paysage
ORN	Ordonnance sur les Routes Nationales
PI	Passage inférieur

PS	Passage supérieur
REN	Réseau Ecologique National
RIE	Rapport d'Impacts sur l'Environnement
RN	Routes Nationales
SANU	Schweizerische Ausbildungsstätte für Natur- und Umweltschutz (Centre suisse de formation pour la protection de la nature et de l'environnement)
SIA	Société suisse des Ingénieurs et Architectes
SN	Schweizerische Normen (Normes suisses)
SRVA	Service Romand de Vulgarisation Agricole
STRADA	Daten-Banken für Strassen-Daten
SSBF	Société Suisse de Biologie de la Faune
USAF	United States Air Force
VSS	Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (Union suisse des professionnels de la route)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERDOULAY, V. & M. PHIPPS, 1985. Paysage et système. Edition Université d'Ottawa : 195 p.
- BERTHOUD, G., 1995. La conception des passages à faune dans les étapes de planification de l'autoroute RN1 Yverdon-Avenches. Actes du séminaire SANU/OFEFP. Ittigen.
- BERTHOUD, G. & al., 1989. Méthode d'évaluation du potentiel écologique des milieux. Programme national SOL. Liebefeld : 185 p.
- BERTHOUD, G. 1998. Utilisation de bioindicateurs dans la définition des facteurs fonctionnels des écosystèmes. Compte-rendu de la journée technique AFIE sur les indicateurs écologiques : Des outils pour la définition de projets et de politiques. Amiens, juin 1998.
- BERTHOUD, G. & S. MÜLLER, 1984. Installations de protection pour les batraciens. Efficacité et effets secondaires. Comm. rech.const.routes. Rapport final. Mandat 48/77 : 40 p.
- BERTHOUD, G. & MÜLLER, S., 1987. Amphibien – Schutzanlagen : Wirksamkeit und Nebeneffekte. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 41 : 197-222.
- BENNETT, G., 1998. The paneuropean ecological network. Questions and answers n° 4. Council of Europe : 30 p.
- BISCHOFF, N. T. & R. H. G. JONGMAN 1991. Development of rural areas in Europe : the claim for nature. Netherlands Scientific Council for Government Policy. The Hague.
- BROGGI, M.F. & H. SCHLEGEL, 1998. Priorités nationales de la compensation écologique dans les zones agricoles de plaine en suisse, Cahier de l'environnement No 306 (OFEFP), Berne : 160 p.
- BURNAND J.D. et al, 1985. Comportement du gibier dans une zone de terrain traversée par une route. ECONAT, rapport final. Comm. rech. mat. const. routes. Mandat de recherche 16/81 : 145 p.
- CPS, Conception Paysage Suisse/partie II Conception. Gestion du projet Conception Paysage Suisse CPS, c/o Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP)
- DAWSON, D., 1994. Are habitat corridors conduits for animals and plants in a fragmented landscape ? A review of scientific evidence, English Nature Research Report No 94, English Nature, Peterborough : 89 p.
- DIAMOND, J. M., 1975. The island dilemma : lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biological Conservation* 7 : 129-146.
- DFTCE, en collaboration avec le DFI et le DFF & l'Office fédéral des Routes, 3003 Berne, 1996. Examen des normes et des standards dans le domaine des routes nationales – rapport de Commission.
- DWW, 1995. Habitat Fragmentation and Infrastructure - Proceedings of the international conference on habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering 17-21 September 1995, Maastricht and The Hague, the Netherlands. DWW, Road and Hydraulic Engineering Division PO Box 5044, 2600 GA Delft, The Netherlands.
- ECONAT, 1998. Adaptation pour la faune de la position des clôtures le long des autoroutes. Concept paysage suisse. Idée spécifique 6.14. OFEFP (Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage), Berne.
- GROSSENBACHER, K., 1981. Amphibien und Verkehr-Teil 1. Bern. KARCH.
- KADEN, BEERLI & MEHRENBERGER, Büro für Ökologie und EDV, Frauenfeld. Erfolgskontrolle der ökologischen Massnahmen an der Neubaustrecke der N7., Tiefbauamt des Kantons Thurgau, Abteilung Nationalstrassenbau
- KELLER, V, H.G. BAUER, H.W. LEY & H.P. PFISTER, 1996. Bedeutung von Grünbrücken über Autobahnen für Vögel. Ornithol. Beob. 93 : 249-258.

- KISTLER, R., 1998. Suivi scientifique des installations d'avertissement de la présence de faune « Calstrom WWA-12-S ». Infodienst Wildbiologie & Oekologie : 66p.
- LARINIER, M., J.P. PORCHER, F. TRAVADE & C. GOSSET, 1992. Passes à poissons – Expertise, conception des ouvrages de franchissement. Collection « Mise au point ». Conseil Supérieur de la Pêche, FR-75116 Paris : 335.
- MAC ARTHUR R.H. & E.O. WILSON., 1967. The theory of island geography. Princeton. University Press. Princeton, New Jersey.
- MADER, H.-J. 1979. Biotopisolation durch Strassenbau am Beispiel ausgewählter Arten. Folgerungen für die Trassenwahl. Ber. ANL, 3: 56-63.
- MADER, H.J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. Biological Conservation 29 : 81-96.
- MERRIAM, H. G. 1991. Corridors and connectivity : animals population in heterogeous environments. In : D. A. Saunders and R. J. Hobbs. Nature conservation: the role of corridors. Surrey Beatty, Sons. Chipping Norton : 133-142.
- Ministère des Transports, Direction des Routes et de la Circulation Routière, 1981. Protection de la faune et de la circulation routière, note d'information, oct. 1981 (épuisé).
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 1995. Wildlife Crossings for Roads and Waterways, September 1995. Road and Hydraulic Engineering Division, PO Box 5044, 2066 Delft, The Netherlands.
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 1995, Manual use of fauna passages on national road A1 at Oldenzaal, September 1995. Road and Hydraulic Engineering Division, PO Box 5044, 2066 Delft, The Netherlands.
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 1995. Nature across Motorways. Road and Hydraulic Engineering Division, PO Box 5044, 2066 Delft, The Netherlands.
- MÜLLER S., BERTHOUD G. & LAVOC. 1997. Sécurité faune/trafics - Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils, 3e édition. Laboratoire des voies de circulation, EPFL, CH-1015 Lausanne.
- MÜLLER, S. & BERTHOUD, G., 1994. Sécurité faune./ trafics. Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils Laboratoire des voies de circulation. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 127 p.
- MÜLLER S., MOGNETTI F., & VSS, 1993. Sécurité faune/trafic. Rapport final du mandat de recherche no 6/77 du Fonds de la recherche routière de l'Office fédéral des routes. VSS. 68 p., (1993). Fauna / Traffic safety (edited in french). Union des Professionnels Suisses de la Route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich.
- OCFIM et al, 1996. Evolution des coûts et respects des délais lors de la construction des routes nationales – rapport de travail à l'attention de la Commission de gestion du Conseil national. Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne.
- OCFIM, 1997. Construction des routes nationales. Commission de gestion du Conseil national et Office central fédéral des imprimés et du matériel.– rapport de la Commission de gestion du Conseil national.
- OFEFP et al, 1997. Idées spécifiques pour la nature et le paysage. Cahier de l'environnement No 280. Nature et paysage. 1ère série : textes intégraux. 225 p. Specific Ideas For Nature and Landscape (edited in french and german).
- OFEFP, 1999. Conception « Paysage Suisse ». Condensé. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage / Office fédéral de l'aménagement du territoire. (Ed), Berne, 60 p.
- OFEFP & OCFIM, 1997. Cahier de l'environnement n° 281. Nature et paysage – idées spécifiques pour la nature et le paysage, 1ère série textes intégraux. Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Bern.

- OFEFP, 1997. Conception Paysage Suisse. Conception de la Confédération selon l'article 13 LAT. EDMZ, Berne. Vue d'ensemble et 3 parties : 375 p., Concepts for Swiss Landscape (edited in german, french, italian and romanch). Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage et Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne.
- OFEFP. Environnement - « Passages à gibier : la formule idéale », bulletin de Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, 4/96 p. 27 à 34.
- OFEFP, OFC & OFR, 1994. Instructions – Mesures de protection des sites et des paysages nécessitées par le trafic routier. Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Office fédéral de la culture, Office fédéral des Routes, Service de documentation de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 3003 Berne
- OFEFP & OCFIM. Cahier de l'environnement n° 226. Droit – panorama du droit de l'environnement. Office fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage et Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne.
- PFISTER, H.-P., 1997. Wildtierpassagen an Strassen, Vorprojekt zur Abklärung der Nutzung von für den Verkehr erstellten Unter- und Überführungen durch Wildtiere, Dezember 1997. Schweizerische Vogelwarte, CH-6204 Sempach, Forschungsantrag 30/92 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS). Union des Professionnels Suisses de la Route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zurich.
- PFISTER, H.-P., V. KELLER, H. RECK & B. GEORGII, 1997. Bio-ökologische Wirksamkeit von Grünbrücken über Verkehrswege., Forschung, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 756, 590 S. Bundesministerium für Verkehr, Bonn.
- RIGHETTI, A., 1997. Passagen für Wildtiere – Die wildtierbiologische Sanierung des Autobahnnetzes in der Schweiz Beiträge zum Naturschutz in der Schweiz N5 18/1997. UNA Atelier für Naturschutz und Umweltfragen & Pro Natura, Postfach, CH-4020 Basel.
- RYSER, J., 1985. Amphibien und Verkehr-Teil 2 : Amphibienrettungsmassnahmen an Strassen in der Schweiz – gegenwärtiger Stand, Erfahrungen und Bedeutung für den Artenschutz. Bern, KARCH : 24 p.
- RYSER, J., 1989. Amphibien und Verkehr-Teil 3 – Zusammenfassung. Neuerer Ergebnisse. Bern. KARCH : 10 p.
- SBB-CFF-FFS et al, Berne, 1992, Aménagement des espaces verts dans des installations ferroviaires. Manuel pour l'élaboration de projet. 375 p., Planning of green spaces around railways. Manual. (edited in french and german).
- SBF, 1995. Faune, construction de routes et trafic. Groupe de travail "Biologie de la faune pour la pratique" Société suisse de biologie de la faune, c/o Service d'Information Biologie de la Faune et Ecologie, Strickhofstr. 39, 8057 Zürich.
- SETRA, 1993. Passage pour la grande faune - Guide technique. Service d'Etudes techniques des routes et autoroutes, Centre de la Sécurité et des techniques Routières, 46 av. Aristide Briand, BP 100, F-92223 Bagneux Cédex : 121 p.
- SETRA/CTSR, 1987. Aménagement pour la faune sauvage, Note d'information (série économie, environnement, conception) n° 10, novembre 1987. Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes, Bagneux.
- SGW & Schweizerische Vogelwarte Sempach, 1999. Wiltierkorridore Schweiz, Räumlich eingeschränkte, überregional wichtige Verbindungen für terrestrische Wiltiere im ökologischen Vernetzungssystem des Schweiz. Société suisse de Biologie de la Faune (SBF), Station ornithologique suisse Sempach : 70 p. + annexes.
- BUWAL & Schweizerische Vogelwarte, 1999. Auswirkungen von Freileitung auf Vögel, Schriftenreihe Umwelt n° 292, Natur und Landschaft. I – Dokumentation BUWAL. Schweizerische Vogelwarte 6204 Sempach, Dokumentationsdienst, Bundesamt für Umweltschutz, Wald und Landschaft, CH-3003 Bern.

- PFISTER H.-P. & V. KELLER, 1994. Bewertung Wildtierbrücke « Junkholz » N7, Abschnitt Schwaderloh-Landesgrenze, Juli. Schweizerische Vogelwarte Sempach und Tiefbauamt Kanton Thurgau.
- SIMBERLOFF, D. & J. COX, 1987. Consequences and cost of conservation corridors. *Conservation Biology*. 1 : 63-71.
- SN 507 118, 1991. Norme SIA 118 : Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction. Société suisse des ingénieurs et architectes, Case postale, CH-8039 Zürich.
- SN 505 160, 1989. Norme SIA 160 : Actions sur les structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et architectes, Case postale, CH-8039 Zürich.
- SN 533 190, 2000. Norme SIA 190 : Canalisations. Société suisse des ingénieurs et architectes, Case postale, CH-8039 Zürich.
- SN 588 469, 1997. Norme SIA 469 : Conservation des ouvrages. Société suisse des ingénieurs et architectes, Case postale, CH-8039 Zürich.
- SN 640 011, en préparation. Norme VSS : Elaboration des projets – Projet général. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 012, en préparation. Norme VSS : Elaboration des projets – Projet définitif. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 013, en préparation. Norme VSS : Elaboration des projets – Projet d'exécution. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 014, en préparation. Norme VSS : Elaboration des projets – Dossier d'achèvement. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 026, 1998. Norme VSS : Elaboration des projets – Etapes de projet. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 027, 1998. Norme VSS : Elaboration des projets – Etude de planification. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 040b, 1992. Norme VSS : Projet, bases – Types de route. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 697a, 1996. Norme VSS : Faune et trafic – Protection des amphibiens ; bases. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 698, 1996. Norme VSS : Faune et trafic – Protection des amphibiens ; projet. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 640 699, 1996. Norme VSS : Faune et trafic – Protection des amphibiens ; mesures de protection. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- SN 649 693, 1993. Norme VSS : Faune et trafic - Clôtures à faune. Union suisse des professionnels de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, CH-8008 Zürich.
- UNA. Ausbau der A1 am Grauholz - Bericht zur Erfolgskontrolle der Wildtierpassage (Bauwerk S9). Atelier für Naturschutz und Umweltfragen, Mühlen pl. 3, 3011 Berne.
- VIGNON, V. & S. WALCZAK, 1999. Réhabilitation d'un passage faune sous infrastructures jumelées (TGV et autoroute) jusque-là non utilisé par les ongulés sauvages (cerf, chevreuil, sanglier). Le cas du passage de la Bête (tronc commun des autoroutes A10/A11). Actes des 3èmes rencontres "routes et faune sauvage", Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : 237-251.

CD-ROM

Contenu

- Introduction
- Contributions personnelles :
 - « Contribution à l'étude des obstacles aux mouvements de la faune et conclusion à tirer d'observations faites entre 1963 et 1999 » & « Quelques réflexions sur la fragmentation du paysage »
 - Exigences légales
 - Les besoins en mobilité et typologie des infrastructures de transport
 - Méthode d'analyse de la fragmentation
 - Corridors à faune et cours d'eau : « Diagnostic du bassin versant de l'Allondon »
 - Etude sectorielle : « Faune entomologique »
- Fiches des travaux de terrain
- Exemples de coûts spécifiques d'ouvrages pour la faune
- Synergie avec d'autres études
- Comptes rendus des tables rondes (comportement animal, mesures de protection, débat)
- Actes de la conférence « Faune et trafics »
- Bases de données :
 - Références bibliographiques
 - Mesures de protection

1^{ère} utilisation

Lors de la première utilisation du CD-Rom, lire le fichier « lisezmoi.txt ».