



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU
Office fédéral de l'environnement OFEV

DOCUMENTATION

CONTROLE DE FONCTIONNEMENT DES PASSAGES A FAUNE

Édition 2019 V1.00
ASTRA 88012

Impressum

Auteurs

Marguerite Trocmé (OFROU N-SSI, présidence et élaboration)
Kim Krause (Kaden & Partner AG, Frauenfeld)

Groupe de suivi

Adrien Zeender (OFEV, division Espèces, écosystèmes, paysages)
Claude Fischer (Hepia, Genève)
Stefan Suter (ZHAW, Wädenswil)
Antonio Righetti (B+S, Berne)
Roman Kistler (Service de la chasse et de la pêche, TG)
Hubert Krättli (Stiftung Fledermausschutz, Zurich)

Traduction

Stéphane Cuennet (version originale en allemand)
(traduction française)

Éditeur

Office fédéral des routes OFROU
Division Réseaux routiers N
Standards et sécurité de l'infrastructure SSI
3003 Berne

Commande

Le document peut être téléchargé gratuitement sur le site www.astra.admin.ch.

© OFROU 2019

Reproduction à usage non commercial autorisée avec indication de la source.

Table des matières

Impressum	2
Résumé	4
Zusammenfassung	5
Abstract	6
1 Introduction	7
1.1 But de la documentation	7
1.2 Destinataires	7
1.3 Entrée en vigueur et modifications.....	7
2 Évaluation du fonctionnement des passages à faune	8
2.1 Fonction des passages à faune	8
2.1.1 But des contrôles de fonctionnement.....	8
2.1.2 Effets des passages à faune : analyse de la littérature	8
2.2 Résultats des contrôles de fonctionnement de passages à faune effectués sur le réseau de routes nationales en Suisse (2000-2016)	10
2.3 Bilan des contrôles des passages à faune : indicateurs d'efficacité	12
3 Facteurs influant sur le fonctionnement des passages à faune	13
3.1 Facteurs environnementaux.....	13
3.2 Facteurs anthropiques	14
3.3 Construction et aménagement.....	16
4 Procédure de contrôle du fonctionnement des passages à faune	18
4.1 Des objectifs clairs pour la planification et l'exploitation	18
4.1.1 Projet définitif.....	18
4.1.2 Projet de détail	18
4.1.3 Phase de chantier et réception de l'ouvrage.....	19
4.1.4 Exploitation.....	19
4.2 Exigences définies pour les contrôles de fonctionnement.....	20
4.3 Méthodes permettant de prouver l'utilisation des passages à faune par les animaux sauvages	20
4.3.1 Mammifères de taille moyenne à grande	21
4.3.2 Petits mustélidés	21
4.3.3 Chiroptères	22
4.3.4 Amphibiens.....	22
4.3.5 Reptiles	23
4.3.6 Autres groupes d'espèces.....	23
4.4 Conservation des données	23
Annexes	25
Glossaire	35
Bibliographie	36
Liste des modifications	41

Résumé

Cette documentation présente les résultats (chapitre 2.2) du contrôle de fonctionnement de 20 passages à faune spécifiques en Suisse. Il s'agit de 18 passages supérieurs, un passage inférieur et un pont paysager aménagés sur des routes nationales ou cantonales. Malgré les instructions pratiques pour l'évaluation des effets des passages à faune de l'OFEV de 2006 [1], les suivis n'ont pas appliqué de méthodologies uniformes, rendant une comparaison des résultats difficile. Toutefois, les suivis démontrent que les passages sont bien acceptés par la faune. Si certaines espèces, comme le chevreuil, le renard et le lièvre, adoptent tous les passages spécifiques, le sanglier n'a été démontré que sur 50 % des ouvrages. Le cerf n'a été recensé que sur 4 passages.

Ce constat reflète bien les résultats d'autres pays et la littérature scientifique (chapitre 2.1.2). Le dernier rapport de 2017 de la CEDR « Roads and Wildlife Manual » établit clairement la nécessité de combiner clôtures à faune et passages spécifiques pour assurer une sécurité suffisante contre les collisions avec la grande faune le long des autoroutes. Les facteurs principaux influençant l'utilisation des passages à faune (chapitre 3) sont leur positionnement dans le paysage en accordance avec les réseaux écologiques, leurs dimensions, la qualité de l'aménagement du passage et leur protection contre les dérangements.

Le chapitre 4 présente l'état de la technique actuelle pour le suivi des passages à faune fondé sur le spectre complet de la faune suisse. À l'avenir, il s'agira non seulement de concevoir des ouvrages pour quelques espèces cibles, mais de favoriser l'utilisation des ouvrages par toute la faune régionale. Un groupe d'accompagnement composé d'experts a permis de rassembler les techniques les plus efficaces de suivi faunistiques. L'annexe I propose un cahier des charges modèle permettant d'uniformiser la méthodologie des suivis et donc d'obtenir à l'avenir une interprétation plus large des résultats. Il s'agit de relever l'état existant avant la construction et de cibler le suivi sur 2 ans, de préférence la deuxième et la quatrième années après la construction, afin de donner du temps à la faune pour s'adapter au passage et de finir le suivi avant l'écoulement de la durée de garantie, mais aussi de laisser un peu de temps s'écouler avant le début du suivi. Le suivi devrait être programmé pendant la période de garantie, afin de pouvoir prendre les éventuelles mesures correctrices dont l'opportunité aurait été révélée par le suivi. En parallèle au suivi classique avec pièges photo ou vidéo, il s'agit aussi de récolter avec des méthodes simples des données sur les reptiles et batraciens, certains micromammifères et les chauves-souris. Une durée optimale de suivi de 3 semaines par saison est suggérée.

Zusammenfassung

Diese Dokumentation stellt die Ergebnisse (Kapitel 2.2) der Funktionskontrollen von 20 spezifischen Wildtierpassagen in der Schweiz vor. Dabei handelt es sich um 18 Wildtierüberführungen, eine Wildtierunterführung und eine Landschaftsbrücke. Alle Bauwerke befinden sich auf Nationalstrassen oder Kantonsstrassen. Trotz der vom BAFU 2006 verfassten praktischen Anleitung [1], wurden die Kontrollen ohne einheitliche Methode durchgeführt, was den Vergleich der Ergebnisse erschwert. Nichtsdestotrotz belegen die Kontrollen, dass Wildtiere die Passagen annehmen. Während Reh, Fuchs und Hase auf allen Wildtierpassagen zu finden sind, konnte das Wildschwein jedoch nur auf 50% und der Hirsch nur auf 4 der Passagen nachgewiesen werden.

Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen anderer Länder und der Fachliteratur (Kapitel 2.1.2). Der letzte CEDR-Bericht von 2017 «Roads and Wildlife Manual» besagt eindeutig, dass auf Autobahnen eine ausreichende Sicherheit gegen Kollisionen mit grossen Tieren nur durch die Kombination von Wildtierzäunen und faunaspezifischen Bauwerken gewährleistet werden kann. Die Wichtigsten Faktoren zur Nutzung von Wildtierpassagen (Kapitel 3) sind die richtige Auswahl der Standort in der Landschaft mit Anschluss an ökologische Netze, die Dimensionierung, die Qualität der Gestaltung und die Abschirmung gegen Störfaktoren.

Kapitel 4 erläutert, basierend auf dem kompletten Schweizer Spektrum an Wildtieren, den aktuellen Stand der Technik zur Funktionskontrolle von Wildtierpassagen. In Zukunft sollen Querungsbauwerke entworfen werden, die nicht nur von bestimmte Zieltierarten, sondern von der gesamten regionalen Fauna genutzt werden. Eine Expertenbegleitgruppe hat es möglich gemacht die effizientesten Methoden zur Funktionskontrolle zu sammeln. Im Anhang I befindet sich ein Pflichtenheft, welches als Vorlage verwendet werden kann. So können in Zukunft Kontrollmethoden vereinheitlicht werden, was wiederum eine ausführlichere Analyse der Ergebnisse möglich macht. Der Zustand vor Bau der Wildtierpassage wird zukünftig dokumentiert, die Kontrolle der Wildtierpassage sollte dann vorzugsweise während dem 2. und 4. Jahr nach dem Bau stattfinden. So vergeht ein bisschen Zeit vor der ersten Prüfung und die Tiere können sich an die neu Situation gewöhnen, ausserdem bleibt nach der zweiten Prüfung noch etwas Garantiezeit übrig. Die Kontrolle sollte während der Garantielaufzeit stattfinden, damit durch die Kontrolle aufgedeckte Verbesserungsmassnahmen umgesetzt werden können. Zusätzlich zur klassischen Kontrolle mit Foto- oder Videofallen, sollten mit einfachen Methoden auch Daten zu Reptilien und Amphibien, bestimmten Kleinsäugetieren, sowie Fledermäusen gesammelt werden. Die empfohlene optimale Kontrolldauer beträgt 3 Wochen pro Jahreszeit.

Abstract

This documentation presents the results (chapter 2.2) of the functionality check carried out on 20 specific Swiss wildlife passages. 18 bridges, one underpass and one landscape bridge. All constructions are located on national or cantonal roads. Despite the practical guide on the assessment of the effect of wildlife passages published by the FOEN in 2006 [1], follow-ups on the constructions used different methods, thus making comparison difficult. Nevertheless follow-ups show that animals accept the passages well. While deer, fox and hare use all passages, the presence of wild boar could be proven only on 50% of the passages and the presence of stags only on 4 passages.

These findings coincide well with the results in other countries and scientific literature (chapter 2.1.2). The last CEDR report from 2017 “Roads and Wildlife Manual” states clearly that a combination of wildlife fences and specific wildlife passages is necessary to insure sufficient protection against collisions with large animals on motorways. The main factors influencing the use of wildlife passages (chapter 3) are the location in the landscape in accord with ecological networks, the dimensions, layout quality and protection against disturbances.

Chapter 4 presents the state of the art of wildlife passage follow-up methods based on the entire spectrum of Swiss wildlife. Future projects should be designed not only to accommodate a few target species but to enhance use by the entire regional wildlife. Thanks to an expert advisory group the most efficient follow-up methods could be gathered. Appendix I is a specification proposal to standardize the follow-up method, thus making more thorough result interpretations possible in the future. The idea is to document the state prior to construction, then follow-up should focus on 2 specific years, preferably the second and fourth years after construction. With this choice, follow-up is finished before the end of the warranty of the construction and doesn't start right after construction finishes giving time for animals to adapt. Follow-up should take place before the end of the warranty leaving room for the implementation of possible improvements revealed by the follow-up. Simultaneously to classical follow-up with specially equipped cameras, data on reptiles and amphibians as well as certain micromammals and bats should be collected with simple methods. An optimal time span of three weeks per season is suggested.

1 Introduction

1.1 But de la documentation

La présente documentation résume les résultats des contrôles de fonctionnement de passages à faune effectués au cours des seize dernières années. L'art. 16, al. 3, de l'ordonnance sur les routes nationales (ORN) donne au DETEC la possibilité d'exiger l'exécution d'une évaluation des effets comme condition à l'approbation des projets définitifs de mesures de grande envergure prises pour protéger l'environnement. Les bases pour la Directive du DETEC [2] et la Directive ASTRA 18008 « Ouvrages de franchissement pour la faune » [3] demandent pour leur part qu'il soit fait usage de cette possibilité pour les ouvrages destinés spécifiquement à la faune qui sont situés sur des corridors faunistiques d'importance suprarégionale.

Les contrôles effectués jusqu'ici l'ont souvent été à des saisons et sur des durées variables. Les méthodes retenues dépendaient en outre des espèces visées. Il n'est donc presque pas possible de comparer les différents ouvrages.

La présente documentation établit l'état de la technique pour les contrôles de fonctionnement et remplace ainsi les anciennes instructions pratiques « Évaluation standardisée des effets des passages à faune », publiées par l'OFEV en 2005 [1]. Alors qu'auparavant seuls les animaux de grande taille étaient pris en compte, il s'agit désormais de favoriser un large éventail d'espèces. Des espèces plus petites – comme la belette – ou très mobiles – comme les chauves-souris – pâtissent aussi fortement des effets de morcellement. L'objectif est d'obtenir plus d'informations pour un travail comparable, de manière à pouvoir optimiser l'utilité de ces ouvrages conformément aux nouvelles exigences.

1.2 Destinataires

La présente documentation s'adresse aux spécialistes de la faune et des transports, aux maîtres d'ouvrages, aux planificateurs d'ouvrages, aux planificateurs des travaux de maintenance, ainsi qu'aux responsables de l'entretien courant.

1.3 Entrée en vigueur et modifications

Le présent document entre en vigueur le 22.05.2019. La Liste des modifications figure à la page 41.

2 Évaluation du fonctionnement des passages à faune

2.1 Fonction des passages à faune

Les infrastructures de transport linéaires morcellent les habitats naturels et entravent les déplacements de la faune. À partir d'un trafic journalier moyen (TJM) d'environ 10 000 véhicules, les routes constituent une barrière pratiquement infranchissable pour les animaux [4]. Les autoroutes clôturées présentent l'effet de barrière le plus marqué notamment pour les ongulés, parce que leur franchissement n'est plus du tout possible.

Les passages à faune sont des ouvrages destinés spécifiquement à la faune, ils ne sont construits qu'afin d'être utilisés par les animaux. Ils servent à préserver ou à rétablir des liaisons entre les habitats en permettant à la faune de traverser l'infrastructure de transport en toute sécurité. Leur conception se fait toujours en combinaison avec des clôtures à faune, si bien qu'ils contribuent aussi fortement à la sécurité du trafic, puisqu'ils réduisent de manière décisive la présence d'animaux sauvages sur la chaussée.

Un passage à faune qui fonctionne correctement se distingue par le fait qu'il permet le franchissement de l'infrastructure de transport aux divers mouvements de la faune. Cela concerne les déplacements réguliers qu'effectue une espèce pour trouver les ressources nécessaires dans son rayon d'action (déplacements vitaux), mais aussi les mouvements saisonniers entre les divers habitats, ainsi que les trajets occasionnels effectués à la recherche de nouveaux habitats encore inoccupés.

2.1.1 But des contrôles de fonctionnement

Après la construction d'un ouvrage destiné spécifiquement à la faune, il convient de vérifier que les mesures ont été réalisées dans les règles de l'art et que l'ouvrage remplit sa fonction. Cela permet de s'assurer que les ressources financières investies ont été utilisées à bon escient et de manière efficace. En guise de variables de mesure, on peut notamment utiliser la fréquence et le type d'utilisation que les animaux font du passage. Les contrôles de fonctionnement doivent non seulement être conçus de manière à pouvoir vérifier que les buts sont atteints, mais aussi permettre la comparaison avec d'autres ouvrages. Les résultats obtenus peuvent ainsi être pris en compte lors de la réalisation d'autres passages à faune. Si l'utilisation d'un passage est insuffisante, par exemple, des mesures d'optimisation judicieuses seront prévues. Les contrôles de fonctionnement doivent par conséquent être menés de manière fondée et compréhensible, selon une méthodologie standardisée [1], [5].

2.1.2 Effets des passages à faune : analyse de la littérature

Les premiers passages à faune ont été construits en France dans les années 1980 afin de préserver ou de rétablir des liaisons entre habitats. Ces premières mesures ont déjà été soumises à un contrôle des résultats. Dans l'intervalle, un grand nombre de passages à faune ont été réalisés en Europe et en Amérique du Nord, et plus récemment aussi en Australie, en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud : il a été démontré qu'ils sont utilisés par les animaux sauvages [6].

Effets positifs

Une méta-analyse portant sur 121 études menées dans le monde entier sur l'efficacité des ouvrages de franchissement confirme que la plupart de ces constructions sont utilisées avec succès [7].

La plus grande partie des contrôles de fonctionnement se contentent de relever la fréquence à laquelle la faune utilise l'ouvrage. À côté de cette variable, le nombre d'animaux sauvages tués par le trafic routier peut aussi être considéré comme un indicateur important.

Le « Roads and Wildlife Manual » – une nouvelle publication de la Conférence européenne des directeurs des routes (CEDR) – considère que la combinaison de passages à faune et de clôtures constitue la mesure la plus efficace pour réduire le nombre d'accidents impliquant des animaux sauvages tout en assurant une certaine perméabilité des infrastructures pour le gibier [5], [8]. Dans le parc national de Banff, au Canada, ces mesures combinées ont permis de réduire de plus de 80 % les accidents impliquant de grands mammifères [9].

Facteurs exerçant une influence

La littérature scientifique inclut de nombreuses études qui examinent le succès des passages à faune. En Europe, Pfister et al. [10] ont recouru à des méthodes standardisées pour examiner l'efficacité d'une sélection de 16 ponts destinés à la faune en Allemagne, aux Pays-Bas, en France et en Suisse. Ce travail arrive à la conclusion que les passages à faune supérieurs constituent une solution adéquate pour tous les groupes d'animaux terrestres lorsqu'il s'agit de compenser – au moins à l'échelle locale – les effets de morcellement induits par les infrastructures de transport. En outre, une analyse des fréquences d'utilisation et du comportement de la faune a permis d'établir que la largeur optimale de ces constructions pour les grands mammifères se situe entre 50 et 60 mètres [11]. Une étude approfondie menée en France confirme que seuls les passages de grande taille sont empruntés par les espèces de gibier exigeantes telles que le cerf [12].

Les passages à faune sont les plus efficaces lorsqu'ils ne constituent pas de simples corridors permettant à certains individus de traverser la route, mais qui s'intègrent à l'espace vital de la faune. Une étude menée durant plusieurs années grâce à des pièges photographiques placés dans 66 passages à faune (allant du grand passage supérieur au passage inférieur destiné à la petite faune) a démontré que ces constructions étaient davantage utilisées lorsqu'elles se situaient à proximité d'un système de mise en réseau écologique [12].

Des investigations concernant l'utilisation de passages inférieurs destinés spécifiquement à la faune ont été menées pour 24 ouvrages d'Autriche, de Suisse, d'Allemagne, de France et des Pays-Bas : elles montrent que les passages inférieurs sont régulièrement empruntés par les chevreuils, mais rarement par les cerfs [13]. Les auteurs font remarquer que pour les ongulés, la fréquence d'utilisation des passages inférieurs est faible par rapport à celle des passages à faune supérieurs.

Méthodes appliquées pour évaluer les effets

On a pu constater, dans le cadre de contrôles de fonctionnement, que l'utilisation des passages à faune nouvellement construits nécessitait une période d'acclimatation dont la durée dépendait des espèces [9], [12], [14]. Certains animaux acceptent ces ouvrages dès qu'ils sont construits, alors que d'autres ont besoin d'un temps d'adaptation plus long. Le temps d'observation nécessaire pour démontrer que toutes les espèces présentes traversent un passage à faune varie en fonction des études. Mata et al. indiquent que l'utilisation saisonnière de ces passages varie selon l'espèce [15]. Les contrôles de fonctionnement devraient donc tenir compte du fait que les fréquentations peuvent évoluer au cours de l'année. Se fondant sur les fréquences d'utilisation de 22 ouvrages de franchissement, Malo et al. ont constaté pour l'Espagne du Nord-Ouest qu'il fallait plus de 25 jours pour recenser plus du 80 % des espèces existantes qui empruntent l'ouvrage [16]. Les données issues de quatre passages à faune des Pays-Bas montrent qu'il faut en moyenne 240 jours pour recenser toutes les espèces sauvages qui franchissent effectivement la route [17]. Il est donc recommandé de mener les relevés concernant la fréquence d'utilisation au moins pendant deux saisons différentes – dans l'idéal au printemps et en automne.

La méthodologie retenue doit permettre de recenser la fréquence d'utilisation pour plusieurs espèces. La plupart des études combinent diverses méthodes pour détecter les franchissements, telles que les relevés d'empreintes dans un lit de sable et les appareils photographiques infrarouges à déclenchement automatique (pièges photographiques) [7]. Pour détecter les mammifères de grande taille, les pièges photographiques se sont révélés plus appropriés que la méthode de relevé des empreintes, en particulier pour les investigations de longue durée [18]. Il est dès lors recommandé d'appliquer plusieurs

méthodes de recensement, de manière à compenser les faiblesses de l'une par les qualités de l'autre [19], [20]. Le rapport de la CEDR fournit une vue d'ensemble de toutes les méthodes utilisées sur le plan international pour relever les fréquences d'utilisation [21].

La publication de la CEDR recommande une approche du type BACI (« Before-After-Control-Impact »), qui tient compte de la situation à la fois avant et après la réalisation. Il s'agit de comparer les fréquences d'utilisation relevées avant la construction de l'ouvrage et après celle-ci, en intégrant également les résultats obtenus dans des points de contrôle situés dans les environs [22], [23]. Ces exigences dépassent ce qui se fait dans le cadre d'un contrôle de fonctionnement normal. Les auteurs soulignent qu'il faut impérativement mener des études scientifiques supplémentaires afin d'accroître la compréhension que l'on a de l'effet des passages à faune.

Une étude menée aux États-Unis a appliqué une solution différente de l'approche BACI. Pendant cinq ans, elle a observé quinze passages à faune supérieurs, vingt ponceaux et vingt autres ouvrages de franchissement à l'aide de pièges photographiques. En guise de variable observée, on a comparé le nombre d'animaux qui traversait l'ouvrage avec le nombre de ceux qui ne faisaient que s'en approcher [24].

Bien que l'on dispose de certaines connaissances en ce qui concerne l'influence des effets de morcellement sur les échanges de gènes entre populations [25], on connaît moins bien l'influence des passages à faune sur ce type d'échanges [22], [26]. Une étude australienne a mis en évidence des effets positifs sur le plan génétique dès les cinq premières années [27]. Il est de plus en plus fréquemment demandé que l'effet des passages à faune soit aussi étudié à l'aide de méthodes génétiques au niveau des populations [26]–[31]. Certains maîtres d'ouvrages – par exemple VINCI Autoroutes en France – sont toutefois d'avis que ces travaux relèvent de la recherche fondamentale, parce qu'ils ne peuvent en rien contribuer directement au projet [12].

2.2 Résultats des contrôles de fonctionnement de passages à faune effectués sur le réseau de routes nationales en Suisse (2000-2016)

En Suisse, les deux premiers passages supérieurs destinés à la faune ont été réalisés en 1992 dans le canton de Thurgovie lors de la construction de l'A7 (*Aspiholz* et *Fuchswies*). Depuis, 29 autres ouvrages spécifiques ont été bâtis pour permettre aux animaux sauvages de traverser des routes nationales.

Pour vingt ouvrages de franchissement, on dispose de rapports de contrôle de fonctionnement (voir leur emplacement à la figure 2.1). Il s'agit de 18 passages supérieurs, d'un passage inférieur, ainsi que d'un pont paysager. Ces constructions enjambent des routes nationales et des routes cantonales, mais aussi des voies ferrées.

La procédure proposée en Suisse pour évaluer la fréquence d'utilisation est pragmatique (Instructions pratiques « Évaluation standardisée des effets des passages à faune », de l'Office fédéral de l'environnement, OFEV [1]). Dans ce contexte, le succès d'un passage à faune est mesuré sur la base des objectifs définis pour l'ouvrage. Les instructions proposent une vaste palette de méthodes de relevé, ce qui explique que le type et l'ampleur des contrôles de fonctionnement réalisés varient passablement.

Il est par ailleurs difficile de comparer directement les ouvrages : leur taille varie, tout comme la méthode d'évaluation retenue, la manière de déterminer la situation de départ ou même la durée des relevés (qui va de trois jours à deux ans).

Le relevé des données destinées aux contrôles de fonctionnement s'est fait à l'aide de différentes méthodes. Souvent, plusieurs approches ont été combinées, ce qui améliore la détection du point de vue du nombre d'espèces et de franchissements. Ces méthodes se distinguent considérablement l'une de l'autre pour ce qui est de leur efficacité, de leurs avantages et de leurs inconvénients.

Palette de méthodes appliquées :

- Pièges photographiques
- Enregistrements vidéo infrarouges
- Bandes de sable
- Transects de relevé de traces dans la neige
- Interrogation de personnes connaissant les lieux
- Pièges au sol pour les coléoptères

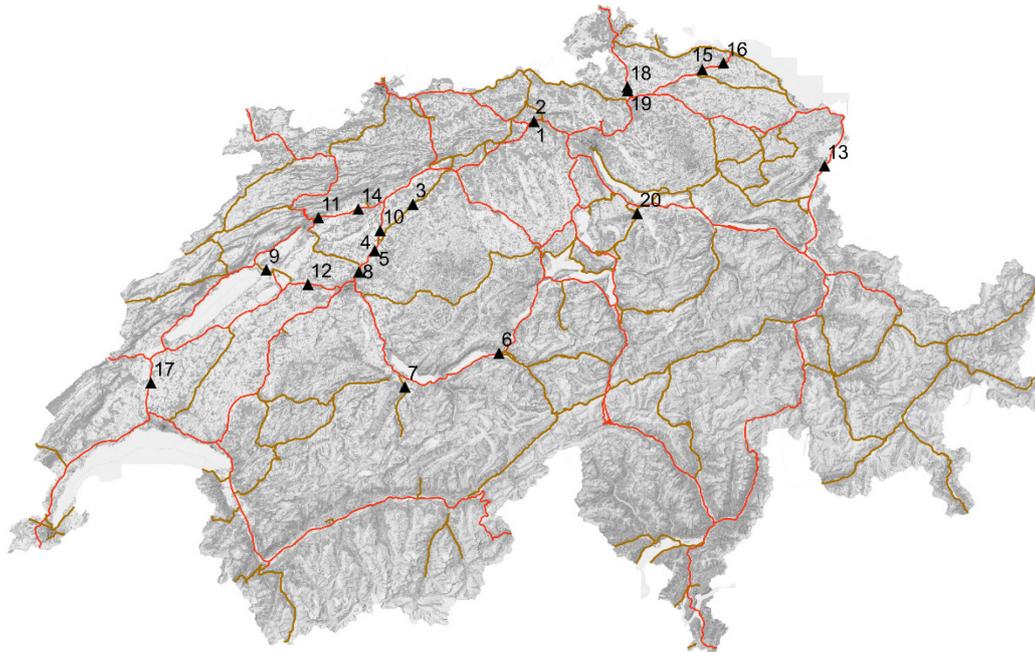


Fig. 2.1 Emplacement des passages à faune pris en compte sur les routes nationales (en rouge) et les routes principales (en brun). La numérotation des ouvrages renvoie au tableau II.2 de l'annexe II.2. (Source du fond de carte : Office fédéral de la topographie swisstopo)

L'analyse des contrôles de fonctionnement montre que tous les ouvrages sont utilisés par des animaux. Sans télémétrie, il est toutefois difficile de savoir si l'animal détecté emprunte régulièrement le passage pour accéder aux ressources requises à l'intérieur de son rayon d'action (déplacements vitaux), s'il se trouve en migration saisonnière entre divers habitats ou s'il n'utilise l'ouvrage que de manière occasionnelle lors de longs trajets effectués à la recherche de nouveaux habitats encore inoccupés (déplacements de diffusion). Les méthodes appliquées pour enregistrer un animal ne confirment donc que la présence de celui-ci sur le passage à faune à un moment donné.

Des franchissements ont été enregistrés pour pratiquement tous les ouvrages en ce qui concerne trois espèces : le chevreuil, le renard et le lièvre brun. Dans certains cas, on peut démontrer que les chevreuils acceptent même les passages à faune supérieurs en tant que partie de leur habitat et adoptent sur ceux-ci des comportements indicateurs de bien-être. La présence de sangliers a pu être prouvée sur environ 50 % des ouvrages. En revanche, le cerf a des exigences très élevées dans ce domaine : sa présence a pu être démontrée sur les passages supérieurs de *Birchiwald* (BE), de *Hirschensprung* (SG), de *Kaltenboden* (SZ) et du *Bois d'Oulens* (VD).

On a aussi constaté que de petits mammifères tels que la martre, le putois, les souris et le hérisson traversaient fréquemment les ouvrages. Les auteurs considèrent que la méthodologie utilisée, qui ciblait le plus souvent les mammifères de plus grande taille, n'est pas appropriée pour l'enregistrement des petits animaux. Les contrôles de fonctionnement menés à *Birchiwald* (BE), *Neu-Ischlag* (BE), *Müliholz* (BE), *Aspiholz* (TG) et *Fuchswies*

(TG) indiquent par ailleurs que d'autres taxons – amphibiens, reptiles, insectes ou oiseaux, par exemple – utilisent aussi les passages à faune supérieurs si ces derniers disposent de structures appropriées. L'annexe II.3 fournit un résumé des méthodes appliquées et des résultats obtenus pour les contrôles de fonctionnement analysés.

2.3 Bilan des contrôles des passages à faune : indicateurs d'efficacité

À l'échelle de la Suisse comme sur le plan international, les contrôles de fonctionnement menés sur des passages à faune montrent que les animaux sauvages utilisent assidûment ceux-ci pour franchir les infrastructures de transport.

Jusqu'ici, c'est l'indicateur « fréquence d'utilisation » qui a été pris en considération en Suisse pour évaluer l'efficacité de ces ouvrages. Au vu de la complexité de la question, il est recommandé de ne pas se contenter d'un indicateur unique pour l'analyse du fonctionnement, mais de tenir compte de plusieurs indicateurs combinés.

La vue d'ensemble des méthodes correspondant aux meilleures techniques actuelles permet de formuler d'autres critères pouvant être intégrés à l'évaluation de l'efficacité d'un ouvrage, notamment :

- Toutes les espèces animales présentes dans les environs d'un passage à faune empruntent régulièrement l'ouvrage.
- Les espèces cibles franchissent l'ouvrage.
- Des espèces indigènes qui ne sont pas présentes à l'échelle locale empruntent occasionnellement l'ouvrage.
- Des enregistrements vidéo montrent en outre des animaux qui s'attardent sur l'ouvrage (comportement indicateur de bien-être).
- Chez les chiroptères, le nombre d'espèces qui utilisent l'ouvrage comme corridor de vol est au moins aussi important – voire plus élevé – qu'avant la mise en œuvre de la mesure.
- Pour les nouvelles constructions, les franchissements augmentent durant les premières années. Pour les ouvrages déjà en fonction, le nombre d'animaux qui empruntent le passage à faune reste plus ou moins constant, voire augmente.
- Le nombre de collisions avec des animaux sauvages diminue dans les environs des nouveaux ouvrages de franchissement.

3 Facteurs influant sur le fonctionnement des passages à faune

L'analyse de la littérature scientifique et les contrôles de fonctionnement réalisés en Suisse montrent que de nombreux facteurs influencent l'utilisation d'un passage à faune.

3.1 Facteurs environnementaux

Géographie et géomorphologie

Indépendamment d'autres influences écologiques ou anthropiques, la géographie et la géomorphologie locales constituent un facteur prépondérant qui influence de manière décisive le fonctionnement des passages à faune [32]. Le rattachement à un corridor de liaison ou à un réseau de milieux naturels déjà en place accroît considérablement la probabilité d'utilisation [12]. Du point de vue de la géomorphologie, le terrain aux abords du passage à faune ne devrait pas être trop pentu ; dans un rayon de 100 mètres autour de l'ouvrage, il ne devrait pas présenter de pli trop marqué. Pour les passages inférieurs, la vue devrait rester ouverte, faute de quoi l'accès à l'ouvrage est plus difficile et les animaux l'aperçoivent moins facilement [33], [34].

Intégration au système de mise en réseau

Afin de garantir une utilisation intensive et régulière des passages à faune, il faut relier ceux-ci aux habitats naturels de l'espèce [11], [12], [35]. La situation varie d'une espèce à l'autre. Une étude allemande a pu mettre en évidence l'influence exercée par la manière dont les ouvrages sont rattachés aux structures locales des milieux naturels [36] : les passages supérieurs situés en lisière de forêt sont nettement plus fréquentés que ceux construits directement dans la forêt ou au milieu de surfaces déboisées. Cette affirmation se confirme aussi pour le chevreuil : cette espèce privilégie les espaces de transition entre la forêt et les surfaces ouvertes, avec une distance maximale de 250 mètres entre le passage à faune et le secteur boisé le plus proche [37], [38].

Dans ce contexte, chaque espèce présente des exigences différentes en matière d'habitat, si bien qu'il est difficile d'élaborer des directives générales pour les passages à faune. Toutefois, le cerf évite généralement les petits passages supérieurs ou inférieurs, alors que le chevreuil, plus attaché à son territoire, ne pose pas d'exigences pointues dans ce domaine. Les franchissements effectués par ces deux espèces peuvent ainsi fournir des informations précieuses et complémentaires sur la qualité des ponts existants ou sur l'aptitude d'un site précis [39].

Par ailleurs, la présence ou l'absence de prédateurs naturels peut influencer l'emploi qu'une espèce fait – ou non – d'un ouvrage de franchissement [14].

Zone de jonction / aménagement des environs immédiats

Il est important de prendre des mesures visant à aménager de manière naturelle les environs immédiats des passages à faune, afin de guider les animaux vers l'ouvrage de manière ciblée. Il convient de favoriser un paysage semi-ouvert diversifié et riche en structures aussi bien dans la forêt que sur les surfaces non boisées [37]. On veillera en particulier à ce que la végétation offre à la faune de nombreuses possibilités de se cacher. La Société autrichienne de recherche pour la route, le rail et les transports (FSV) recommande de recourir à des espèces végétales ligneuses dont la taille dépasse deux mètres [34]. Ces structures guides sont aussi particulièrement importantes pour les chauves-souris : là où des corridors de vol importants pour les chiroptères croisent des infrastructures de transport, les passages à faune peuvent constituer des aides au franchissement décisives [40], [41]. En terrain ouvert, notamment, la mise en place de structures guides présentant le moins d'interruptions possible – sous la forme de haies ou d'alignements d'arbres – joue un rôle non négligeable puisqu'elle permet aux chauves-souris de s'orienter dans l'espace, d'éviter leurs ennemis et de se laisser guider vers les ouvrages de franchissement [41].

Une morphologie de terrain variée dans les environs immédiats du passage à faune, avec des creux et des bosses dont les différences de niveau atteignent 30 à 80 centimètres, offre aux animaux d'autres possibilités de se dissimuler [34], [42], tout en rendant les lieux peu attrayants pour les personnes, qui peuvent difficilement les franchir.

Pression liée à la densité de population

L'évolution des tailles des populations animales peut exercer une forte influence sur les taux de diffusion des individus [43]. Si la pression liée à la densité de population est élevée, les individus ont tendance à prendre de plus grands risques lors de leurs déplacements de diffusion [44]. Cela veut dire que lorsqu'une telle situation se présente dans les environs d'un passage à faune, les animaux utilisent plus fréquemment celui-ci à cette fin.

3.2 Facteurs anthropiques

Dérangements par l'homme

De manière générale, la présence de l'homme détermine largement où et quand les animaux sauvages se tiennent à l'intérieur de leur domaine vital, comme le montre notamment une étude concernant le chevreuil [45].

Il a été démontré que l'utilisation des secteurs exposés qui sont faiblement ou pas du tout couverts varie clairement en fonction du moment de la journée et du jour de la semaine. De jour, le chevreuil visite moins souvent les aires peu couvertes que durant la nuit. Le même phénomène se répète durant les week-ends. Ce type de comportement permet aux animaux d'éviter les prédateurs [46]. Barrueto et al. sont parvenus à des constatations similaires en étudiant le nombre de franchissements en fonction du moment de la journée [47] : pour toutes les espèces animales examinées, ce nombre augmentait fortement le soir, pour ensuite diminuer à nouveau nettement le matin suivant.

Les dérangements des animaux sauvages par l'homme peuvent aussi induire chez eux des changements de comportement ou des variations de leur métabolisme [48]. La réponse des animaux au stimulus ne consiste toutefois pas forcément en un comportement de fuite ou de protection : en cas d'habituation, il est également possible qu'aucune réaction reconnaissable ne survienne [49].

Du point de vue éthologique, la crainte de l'homme n'est pas un comportement d'évitement ou de protection inné, mais un processus d'apprentissage dans lequel l'homme prend la forme d'un stimulus menaçant. Dans bien des cas, la chasse joue un rôle déterminant dans cette peur [50]. La publication internationale COST 341 demande qu'une distance minimale de 500 à 2000 mètres soit maintenue par rapport aux territoires de chasse [51].

Une autre étude montre que les passages supérieurs qui sont également utilisés par des personnes (par exemple parce que des sentiers les traversent) sont moins fréquentés par la faune. Si l'homme franchit aussi ces passages, les animaux adoptent un comportement marqué par le stress et tentent de traverser le plus rapidement possible [52], [53].

À l'échelle internationale, une affirmation fait consensus : il faut éviter que des chemins passent par les ouvrages de franchissement. Lorsque des itinéraires empruntent ces constructions, le fonctionnement de celles-ci peut diminuer considérablement tant pour les grands animaux que pour les petits [54], [55]. Si un chemin doit tout de même parcourir l'ouvrage, on garantira une séparation claire des fonctions.

Lumière

On recourt souvent à la lumière artificielle pour des raisons de sécurité, en particulier pour les passages qui incluent un cheminement piétonnier. Une étude de Bliss-Ketchum et al. a examiné l'influence de la lumière artificielle sur diverses espèces animales [56]. Elle conclut que l'éclairage artificiel exerce un effet nettement négatif sur la tendance de nombreuses espèces à franchir les ouvrages, alors que pour d'autres espèces on ne détecte pas d'influence ou même une influence positive.

La lumière artificielle peut exercer un effet de barrière sur certaines espèces animales, alors qu'elle a plutôt tendance à en attirer d'autres. Dans ce contexte, il a été prouvé que le spectre chromatique de l'éclairage jouait un rôle déterminant [57].

Selon une publication de la Société allemande de recherche dans le domaine des routes et des transports (FGSV), il convient d'éviter la lumière artificielle dans les environs des ouvrages de franchissement [58] : certaines espèces de chauves-souris contournent généralement les sources lumineuses, alors que d'autres y chassent les insectes attirés par la lumière et courent ainsi le risque d'entrer en collision avec les véhicules routiers.

Aux alentours des passages à faune, les émissions lumineuses du trafic peuvent être atténuées par des parois anti-éblouissement (hauteur minimale : 2 mètres). Pour les ouvrages étroits (moins de 20 mètres), il convient de veiller à ce que ces parois ne soient pas trop élevées, sans quoi un effet de tunnel nuisible aux animaux peut en résulter [51].

Bruit

Le bruit du trafic peut fortement influencer la faune. Sur le plan individuel, il peut induire un changement de comportement des animaux ou accroître le stress physiologique [59]. À l'échelle d'une population, le bruit de la circulation peut augmenter la mortalité ou restreindre le succès de reproduction [60]. Pour les espèces sensibles au bruit, cela équivaut à une réduction de l'habitat disponible. Dans les régions disposant d'une densité routière élevée, comme en Europe ou en Amérique du Nord, cette perte d'habitat peut avoir des conséquences dramatiques [61], [62].

De manière générale, le bruit du trafic exerce une influence négative sur le nombre de franchissements des routes par la faune [32], [48], [63], [64]. Une étude menée aux États-Unis a montré que les chevreuils n'utilisaient plus les passages inférieurs à partir d'un niveau sonore de 67 dB(A) [65]. Georgii et al. ont quant à eux constaté que les pics de bruit survenant de manière irrégulière – tels ceux causés par certains véhicules particulièrement bruyants (poids lourds, voitures rapides, motocycles) – jouaient un rôle important dans ce contexte [36].

L'installation de parois antibruit permet de réduire de manière déterminante les émissions sonores du trafic routier aux alentours des passages à faune. Pour les ouvrages dont la largeur est suffisante, il est possible d'offrir une protection optimale en édifiant une levée de terre sur les bords extérieurs de la construction et en y plantant une haie [51].

Routes et chemins

Les routes et les chemins tracés parallèlement à l'axe de communication que l'on souhaite permettre de traverser exercent une influence clairement négative sur l'utilisation des passages à faune : elles en rendent l'accès plus difficile et contraignent les animaux à franchir une barrière supplémentaire [66], [67]. Une étude suisse a montré que les chevreuils évitent la proximité des routes et préfèrent se tenir sensiblement à l'écart de celles-ci [68]. De manière générale, il est recommandé qu'aucun chemin d'exploitation ou route ne traverse les abords immédiats d'un passage à faune. Si on ne peut l'éviter, le tracé devrait contourner l'ouvrage en faisant le plus grand détour possible [51], [54].

Infrastructures et zones bâties

Les zones bâties situées à proximité des passages à faune peuvent aussi avoir un impact négatif sur l'attrait de ceux-ci pour les animaux [42], [51], [58].

La Société autrichienne de recherche pour la route, le rail et les transports (FSV) a élaboré des indicateurs pertinents pour les divers types de corridors faunistiques [34] : dans le cas des passages à faune qui traversent un corridor suprarégional, elle exige une distance minimale de 300 mètres par rapport aux habitations et fermes isolées ou aux éoliennes situées sur des terrains abritant une riche végétation. Elle demande par ailleurs une distance de 500 mètres par rapport aux secteurs largement urbanisés tels que zones bâties, aires industrielles ou éoliennes situées sur des terrains n'abritant que peu de végétation. Le Ministère autrichien des transports, de l'innovation et de la technologie a en outre défini, pour les passages à faune intégrés à des corridors faunistiques locaux, une

distance de 100 à 500 mètres à l'intérieur de laquelle il ne peut y avoir plus de trois bâtiments, et un rayon de 100 mètres qui ne peut compter aucun bâtiment habité [39].

Éoliennes

Aucune étude portant spécifiquement sur la problématique des éoliennes et des passages à faune n'a été trouvée. La littérature disponible permet toutefois de déduire certains résultats importants en ce qui concerne l'influence de ces installations sur les mammifères. Une publication bien étayée à l'échelle internationale a montré que les éoliennes constituaient surtout un danger pour les oiseaux et les chauves-souris, parce que la rotation des pales peut tuer les animaux [69]. Une méta-analyse actuelle parvient à la conclusion que ce problème ne concerne pas uniquement – comme on le croyait jusqu'ici – certaines espèces de chiroptères durant leurs migrations saisonnières, mais dans une proportion variable toutes les espèces au vol rapide qui chassent à une certaine distance du sol [70].

Certains impacts, tels que le bruit ou les effets visuels des éoliennes pour diverses autres espèces animales, n'ont été que peu examinés jusqu'ici. De manière générale, on peut toutefois affirmer qu'ils peuvent perturber la communication des animaux ou leur capacité d'entendre les ennemis qui s'approchent [71].

Pour les mammifères, le bruit produit par les éoliennes et l'apparence de celles-ci ne semblent pas constituer une source de stress. On ignore toutefois s'il existe des différences de ce point de vue entre les animaux sédentaires et les animaux qui sont en train de migrer. Aux alentours des éoliennes, les lièvres, chevreuils et renards ne semblent pas adopter un comportement différent de ce qu'ils font ailleurs [72]. Cependant, les infrastructures liées aux éoliennes (lieu de montage, routes d'accès, lignes électriques, ouvrages techniques) exercent une influence négative sur l'utilisation que les mammifères font des habitats et ont donc aussi un impact sur le recours aux passages à faune [71]. La FSV autrichienne demande donc que la distance minimale par rapport aux passages à faune soit de 300 mètres pour les éoliennes situées sur des terrains abritant une riche végétation et de 500 mètres pour celles érigées sur des surfaces n'abritant que peu de végétation, par analogie avec ce qui est exigé pour les zones bâties et les ouvrages [34]. En Suisse, l'Office fédéral du développement territorial (ARE) a également introduit ces distances dans la Conception énergie éolienne de la Confédération (2017) [73] : autour des passages à faune des routes nationales, un secteur de 300 mètres de rayon est considéré comme une « zone en principe à exclure ». Les secteurs adjacents distants de 300 à 500 mètres des passages à faune constituent des « zones sous réserve de coordination ».

3.3 Construction et aménagement

Dimensionnement

Pour les ponts, l'étude de Pfister et al. a établi une relation statistique entre la largeur des ouvrages et la fréquence de leur utilisation par les mammifères [11].

Sur le plan international, la largeur recommandée pour les passages à faune est généralement de 25 à 80 mètres [74] ou de 40 à 50 mètres [51]. Aux États-Unis, on recommande des largeurs de 50 à 70 mètres [75] ou de 40 à 50 mètres [76]. La Société allemande de recherche dans le domaine des routes et des transports (FGSV) et la Société autrichienne de recherche pour la route, le rail et les transports (FSV) recommandent toutes deux une largeur de 50 mètres pour les passages supérieurs standard [34], [58].

En Suisse, une largeur de 50 mètres a été définie aussi bien dans la directive du DETEC « Planification et construction de passages à faune à travers des voies de communication » que dans la norme VSS 640 694 [2], [77]. Pour les passages à faune supérieurs d'importance suprarégionale, la directive du DETEC exige une largeur de 45 mètres \pm 5 mètres. La norme du VSS recommande quant à elle, pour les passages supérieurs spécifiques, une largeur de 20 à 50 mètres. Pour la préservation des corridors d'importance suprarégionale, elle renvoie à la directive du DETEC.

En ce qui concerne les passages inférieurs spécifiques, il est difficile de formuler des valeurs indicatives pour la taille de l'ouvrage, parce que l'on n'a pas trouvé de rapport

statistique entre celle-ci et la fréquence des franchissements par les ongulés [13]. Des experts recommandent malgré tout une hauteur minimale de 5 mètres et une ouverture relative (hauteur x largeur / longueur) d'au moins 4,5 mètres \pm 0,5 mètre lors du dimensionnement des passages inférieurs destinés aux grands animaux [13].

Sol et végétation

Les végétaux contribuent de manière déterminante au fonctionnement des passages à faune (en particulier pour les ouvrages en forme de pont). Il est recommandé de planter une végétation analogue à celle d'une lisière forestière, sans strate arborée. À cette fin, il convient d'épandre une couche de 30 à 50 centimètres d'un sol composé de sol brut et d'humus. La variation du rapport entre l'humus et le sol brut permet de reproduire une structure de lisière forestière naturelle [77].

La végétation d'un ouvrage devrait correspondre à celle de l'habitat adjacent et offrir une transition sans interruption vers les zones avoisinantes. Il est important de créer une mosaïque végétale variée [48]. Sur un passage à faune supérieur, les structures de haies linéaires forment une ligne qui guide la faune tout en la protégeant contre les émissions de bruit et de lumière provenant de la route [51].

Il est par ailleurs essentiel qu'il reste possible d'apercevoir la partie de l'ouvrage située de l'autre côté de la route ; les surfaces abritant une végétation plus dense doivent alterner avec les surfaces ouvertes [34].

Petites structures

Les petites structures constituent des éléments importants pour l'aménagement des passages à faune. Elles en accroissent l'efficacité, le plus souvent sans causer de surcoûts. Elles contribuent à faire de ces ouvrages des habitats et offrent un couvert aux petits animaux, ce qui permet d'attirer un large échantillon d'espèces [42]. Les murgiers, les tas de branches, les troncs ou les souches proposent à la fois des cachettes et de petits habitats aux invertébrés, aux reptiles, aux amphibiens et à d'autres petits animaux [78]. Le tableau 3.1 propose une vue d'ensemble des exigences à prendre en compte pour les petites structures, leur fonctionnement et leur emplacement. Le choix des éléments appropriés et de leur positionnement dépend des espèces visées. Les passages à faune jouent donc un rôle important pour la mise en place de l'infrastructure écologique.

Tab. 3.1 Les petites structures, leur emplacement et leur fonction [42, complété].

Petites structures	Structures guides	Couvert	Hydrorégulation	Thermorégulation	Perchoir	Possibilité de nidification	Habitat de substitution	Positionnement
Murgier	•	•		•	•	•	•	Ponctuel
Andain de cailloux	•	•		•	•	•	•	Linéaire
Tas de branches	•	•			•	•	•	Ponctuel
Andain de bois mort	•	•			•	•	•	Linéaire
Souche	•	•			•	•	•	Ponctuel
Sol nu				•		•	•	Ponctuel, parfois linéaire (sentier)
butte	•	•		•		•	•	Linéaire
Petite colline		•		•	•			Ponctuel
Zone humide	•		•			•	•	Ponctuel
Point d'eau	•	•	•	•		•	•	Ponctuel
Bosquet	•	•			•	•	•	Ponctuel ou linéaire

4 Procédure de contrôle du fonctionnement des passages à faune

4.1 Des objectifs clairs pour la planification et l'exploitation

Dès la phase de planification d'un passage à faune, on établira des objectifs clairs et on prendra en compte suffisamment tôt les différents aspects pertinents.

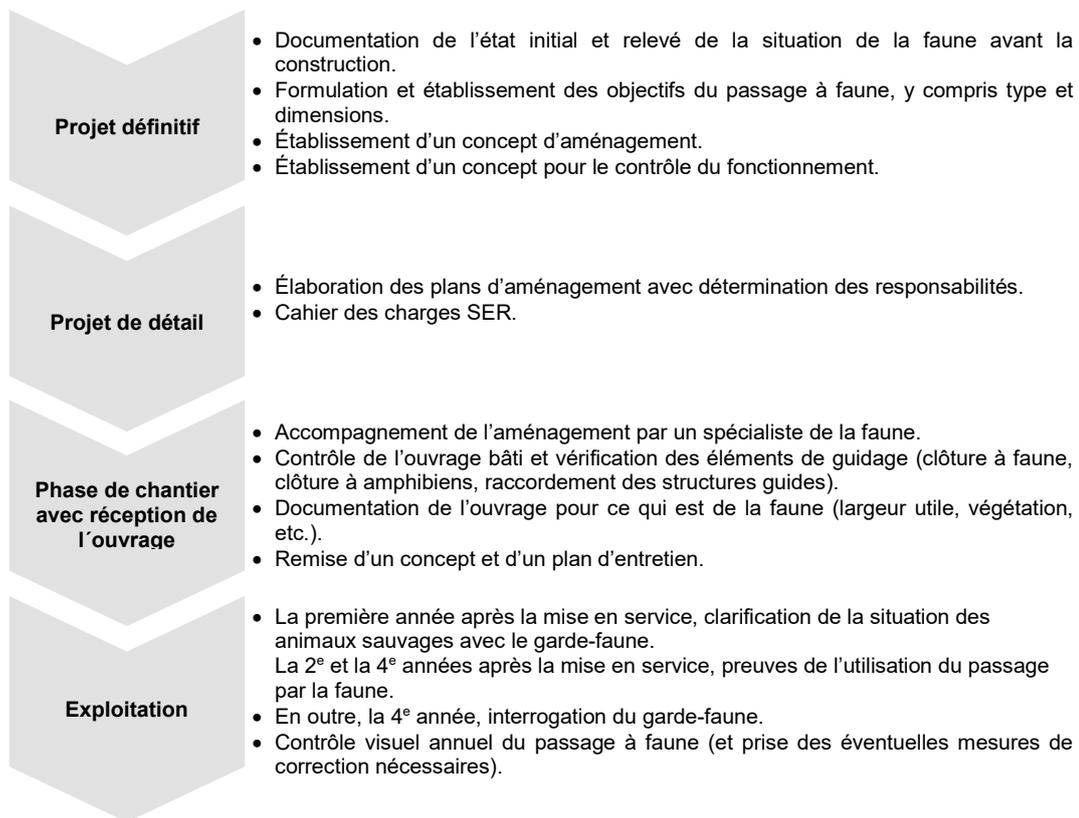


Fig. 4.1 Procédure de planification, construction et exploitation des passages à faune

4.1.1 Projet définitif

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer et de décrire la situation initiale en ce qui concerne la présence d'espèces animales ainsi que la dynamique de leurs populations, puis de la représenter à l'aide d'un SIG. Ces données incluent notamment les territoires centraux, les mouvements usuels et la quantité de gibier tué par le trafic au cours des dix dernières années sur les routes environnantes. À cette fin, on interrogera des personnes connaissant bien les lieux (garde-faune et garde-chasse, par exemple). On peut ainsi non seulement connaître la situation actuelle, mais également documenter la présence antérieure des espèces animales. Il convient par ailleurs de relever la présence d'espèces de chauves-souris et d'autres taxons intéressants (amphibiens, par exemple). Les normes VSS 640692 [79] et 640694 [77] doivent être appliquées.

Dans une deuxième étape, ces informations permettent de définir des objectifs concrets pour l'ouvrage (notamment type d'ouvrage, dimensions et aménagement).

4.1.2 Projet de détail

On établira le tracé précis de la clôture à faune et le type retenu pour celle-ci. On déterminera également le sol du passage à faune, le plan d'aménagement de la végétation avec les petites structures, ainsi que le raccordement aux structures guides.

Les sources de dérangements comme les émissions lumineuses doivent être réduites autant que possible grâce à des mesures appropriées.

Il convient d'établir les plans d'entretien requis et de clarifier les responsabilités pour l'entretien et le contrôle des passages à faune.

On planifiera la réalisation du contrôle de fonctionnement. Pour cela, on dressera la liste des espèces animales à prendre en compte, conformément aux chapitres 4.2 et 4.3.

4.1.3 Phase de chantier et réception de l'ouvrage

Durant la phase de chantier, un spécialiste de la faune accompagnera l'aménagement du passage.

La remise du plan d'entretien fait partie de la réception de l'ouvrage.

Outre la végétation plantée sur l'ouvrage, il convient également de vérifier les éléments de guidage (clôture à faune, clôture à amphibiens, structures guides et raccordement à l'ouvrage) dans les environs immédiats du passage (50 mètres). On remédiera aux éventuels défauts.

4.1.4 Exploitation

La procédure optimale est la suivante :

La première année suivant la mise en service du passage à faune, on relèvera les indices de son utilisation par les animaux ainsi ceux qui laissent supposer des dérangements ; le cas échéant, on prendra les mesures nécessaires. On interrogera aussi le garde-faune ou garde-chasse compétent sur la situation actuelle.

Simultanément, on veillera à ce qu'il n'y ait pas d'utilisations indésirables du passage à faune. Il est recommandé d'informer le public de manière ciblée sous la forme de panneaux d'information ou par l'intermédiaire de communiqués de presse.

Les deuxième et quatrième années après la réception de l'ouvrage, avant l'échéance de la période de garantie, on procédera à un contrôle standardisé du fonctionnement du passage à faune (exigences et méthodes : voir chapitres 4.2 et 4.3). Les éventuelles sources de dérangement qui peuvent nuire au passage à faune doivent être documentées et supprimées.

La quatrième année, on interrogera à nouveau le garde-faune. On décrira l'évolution des populations ainsi que la situation en matière de collisions avec les véhicules dans les environs de l'ouvrage. Si le contrôle de fonctionnement met en évidence des lacunes, les mesures d'amélioration requises seront encore prises avant la clôture du budget.

L'état des ouvrages de franchissement sera contrôlé chaque année lors de l'entretien de la végétation. Dans ce contexte, il convient de vérifier les éléments de guidage (clôture à faune, clôture à amphibiens, structures guides et raccordement à l'ouvrage), les mesures prises pour réduire l'éblouissement, ainsi que le développement de la végétation. Si des plantes exotiques envahissantes se sont installées, on les éliminera. Il faut aussi veiller en particulier à ce que l'ouvrage ne soit pas utilisé par des tiers.

4.2 Exigences définies pour les contrôles de fonctionnement

Le contrôle de fonctionnement doit amener la preuve que le passage à faune est utilisé par les diverses espèces présentes dans les environs. À côté des mammifères de taille moyenne à grande (surtout chevreuil, blaireau, lièvre, sanglier, martre, putois, etc.), il faut également examiner – en fonction de la présence de ces espèces – les amphibiens, les reptiles et les chiroptères. Si l'on a formulé des critères supplémentaires pour des espèces spécifiques lors de la définition des objectifs de certains passages à faune, ceux-ci doivent aussi être pris en compte.

La première année après la réception de l'ouvrage, on documentera les indices généraux d'utilisation de celui-ci par les animaux, et éventuellement aussi par l'homme (dérangements). Cela peut se faire dans le cadre de visites sur place ou à l'aide de pièges photographiques.

La preuve scientifique de l'utilisation de l'ouvrage devrait être amenée durant les deuxième et quatrième années suivant la mise en service (encore pendant la période de garantie).

Dans ce contexte, on élaborera des réponses aux questions suivantes :

1. Quelles espèces utilisent le passage à faune afin de franchir la route nationale ?
2. Quelles espèces sont présentes dans les environs immédiats du passage à faune ?
3. À quelle fréquence le passage à faune est-il utilisé par chaque espèce pour franchir la route – individu isolé ou plusieurs individus ?
4. Comment les animaux se comportent-ils lorsqu'ils franchissent le passage à faune ?
5. À quelle fréquence les activités humaines engendrent-elles des dérangements ?

4.3 Méthodes permettant de prouver l'utilisation des passages à faune par les animaux sauvages

Pour obtenir des preuves d'utilisation, on emploie des pièges photographiques automatiques avec fonction vidéo, des vidéos infrarouges, des caméras thermiques, des tunnels à traces, des caches artificielles (p. ex. tôles à reptiles) et – pour les chiroptères – des détecteurs mobiles et des enregistreurs stationnaires. Les informations obtenues sont complétées lors de visites nocturnes effectuées sur place par des spécialistes. Le tableau 4.1 indique les méthodes de détection appropriées en fonction du groupe d'animaux concerné.

Tab. 4.1 Vue d'ensemble des méthodes prouvant l'utilisation des passages à faune.

Méthode	Mammifères de taille moyenne à grande	Petits mustélidés	Chiroptères	Amphibiens	Reptiles
Piège photographique automatique, y c. fonction vidéo	X	X			
Surveillance vidéo IR / caméra thermique	X	X		X	X
Détecteurs mobiles et enregistreurs stationnaires pour chiroptères			X		
Visites nocturnes sur place			X	X	
Tunnel à traces		X			
Tôle à reptiles					X

4.3.1 Mammifères de taille moyenne à grande

L'utilisation de l'ouvrage par les mammifères de taille moyenne à grande (cerf, chevreuil, chamois, sanglier, blaireau, renard, lièvre, martre, notamment) sera documenté à l'aide de pièges photographiques automatiques à infrarouge. Toute la largeur de l'ouvrage (du point de vue des animaux) doit entrer dans le champ de détection de l'appareil. Des enregistrements vidéo réalisés à l'aide de pièges photographiques supplémentaires permettront de saisir le comportement des animaux lors du franchissement de l'ouvrage.

On installera des pièges photographiques supplémentaires aux deux extrémités du passage à faune, de manière à détecter les animaux qui s'approchent de l'ouvrage mais ne le traversent pas.

Le but est de recenser toutes les espèces de mammifères de taille moyenne à grande, ainsi que la fréquence à laquelle elles utilisent l'ouvrage. On tiendra compte du fait que la plupart des espèces sont plus ou moins actives en fonction des saisons. Pour en détecter le plus grand nombre possible, on recommande une durée d'au moins trois semaines par saison pour les campagnes de recensement, ou un calendrier axé sur les pics d'activité propres aux espèces [16], [17].

Tab. 4.2 Détection des mammifères de taille moyenne à grande.

Méthode	<ul style="list-style-type: none"> - Pièges photographiques automatiques à infrarouge aux deux extrémités de l'ouvrage. - Pièges photographiques avec fonction vidéo pour la surveillance du secteur médian de l'ouvrage.
Calendrier	<ul style="list-style-type: none"> - Trois semaines par saison ou en fonction des pics d'activité propres aux espèces.
Buts	<ul style="list-style-type: none"> - Détection de tous les mammifères de taille moyenne à grande qui traversent l'ouvrage. - Fréquences d'utilisation pour chaque espèce. - Indications concernant le comportement des animaux lors du franchissement (vidéo).

4.3.2 Petits mustélidés

La détection des petits mustélidés (belette, hermine, putois) se fait par observation de leurs empreintes selon une méthode qui a été développée par Marchesi et al. [80] et dont la précision a été confirmée dans le cadre d'un vaste monitoring [81]. Pour cela, on utilise des tunnels à traces fabriqués en bois contreplaqué dans des dimensions adaptées aux petits mustélidés (longueur : 100 cm ; hauteur intérieure : 16 cm ; largeur intérieure : 12 cm). Dans le tunnel, on glisse une palette de même longueur, qui comprend un coussin encreur en son milieu. De chaque côté du coussin, on fixe des feuilles de papier révélateur, sur lesquelles les animaux vont laisser des traces après avoir traversé le tampon encreur. Les empreintes peuvent être attribuées à l'espèce en question par un spécialiste [82]. Pour un passage à faune standard (largeur : 50 m), on devrait placer au moins deux tunnels à traces au milieu de l'ouvrage (et accroître ce nombre en conséquence pour les plus grands ouvrages). Dans l'idéal, ces tunnels seront placés à la limite entre les habitats (haie, lisière) ou près de structures bien visibles (murgiers, tas de branches, arbre isolé, etc.).

La période idéale va d'août à novembre, lorsque les populations de mustélidés présentent usuellement les densités les plus élevées et que les juvéniles ont déjà grandi. Les tunnels à traces devraient rester au moins cinq semaines sur l'ouvrage et faire l'objet de contrôles hebdomadaires.

Lancé en 2017 à la ZHAW à Wädenswil, le projet TubeCam a pour but de mettre au point une nouvelle méthode de détection [83] : une caméra automatique doit enregistrer les animaux passant par un tube. Ce projet est prometteur. Par rapport à la méthode classique du tunnel à traces, le travail requis diminuerait fortement.

Tab. 4.3 Détection des petits mustélidés.

Méthode	- Tunnel à traces (détermination des empreintes).
Calendrier	- D'août à novembre. - Durant au moins cinq semaines, avec contrôles hebdomadaires.
But	- Détection de toutes les espèces présentes.

4.3.3 Chiroptères

Les chauves-souris utilisent les structures guides des passages à faune pour traverser les routes [40], [41], [84]. Il est possible de mettre en évidence leurs activités de vol à l'aide de méthodes bioacoustiques à la fois qualitatives et quantitatives. Les enregistreurs stationnaires, qui enregistrent les cris des chiroptères sur un support adapté, s'y prêtent tout à fait. On analysera et validera les cris obtenus conformément à la norme du Swiss Bat Bioacoustics Group (SBBG) [85]. Les appareils stationnaires devraient être placés sur l'ouvrage de franchissement ainsi qu'en des points de contrôle à proximité, durant trois périodes de cinq à sept nuits consécutives (aux conditions météorologiques favorables) : une première période entre mi-avril et mi-mai, une deuxième en juin et une troisième entre mi-août et mi-septembre [40]. Si des franchissements sont constatés, on réalisera en outre des enregistrements vidéo avec un éclairage infrarouge ou des caméras thermiques. Si l'on remarque alors que les animaux contournent l'ouvrage de franchissement par ses côtés, il convient de réviser le fonctionnement des éléments de guidage [41].

Tab. 4.4 Détection des chiroptères.

Méthode	- Enregistreurs stationnaires pour chiroptères / détecteurs de hautes fréquences / trajectographie. - Enregistrements vidéo infrarouges ou caméra thermique.
Calendrier	- Enregistreurs stationnaires : trois périodes de cinq à sept nuits en avril/mai, juin et août/septembre. - Enregistrements vidéo ou images thermiques pendant une à trois soirées.
Buts	- Détection de toutes les espèces de chiroptères sur l'ouvrage. - Fréquences d'utilisation pour chaque espèce. - Preuve que l'ouvrage est utilisé pour franchir la route (vidéo / image thermique). - Preuve que les franchissements ne se font pas à côté de l'ouvrage (acoustique / vidéo, image thermique).

4.3.4 Amphibiens

Si des sites de reproduction d'amphibiens existent dans les environs de l'ouvrage ou que des mares ou flaques d'eau ont été aménagées sur celui-ci, les amphibiens seront aussi recensés lors du contrôle de fonctionnement. On détectera les animaux au printemps lorsqu'ils migrent vers les sites de ponte : en fonction de l'altitude et des conditions météorologiques, c'est le cas entre mi-février et début avril. Il convient de réaliser trois à cinq visites nocturnes sur place dans des conditions optimales pour la migration. Dans l'idéal, la principale nuit de migration devrait ainsi être prise en compte. Par ailleurs, on consignera le nombre maximal d'individus observés par espèce et par nuit, selon les classes suivantes : 1 à 20, 21 à 50, 51 à 100 et plus de 100 individus.

Tab. 4.5 Détection des amphibiens.

Méthode	- Visite sur place par des spécialistes des amphibiens ou caméra.
Calendrier	- Mi-février à début avril. - Trois à cinq visites nocturnes sur place, incluant idéalement la principale nuit de migration.
Buts	- Recensement de toutes les espèces d'amphibiens qui traversent l'ouvrage ou s'y reproduisent. - Nombre d'amas ou de cordons de ponte. - Nombres maximaux d'animaux observés par nuit et par espèce, répartis en classes.

4.3.5 Reptiles

Pour détecter les reptiles et démontrer qu'ils utilisent le passage à faune, on créera des cachettes artificielles à l'aide de « tôles à reptiles ». L'idéal, en l'occurrence, est de recourir à des plaques de plastique ondulé de couleur noire, mais d'autres matériaux peuvent aussi faire l'affaire. Ces tôles devraient mesurer environ 100 centimètres sur 50 centimètres et seront placées le long d'un transect traversant l'ouvrage. On placera entre cinq et dix tôles par transect, selon la longueur de celui-ci. De mai à septembre, on parcourra le transect au moins une fois par mois, en veillant à disposer de conditions idéales (pas trop froid, ni trop chaud, ni trop humide). Tous les reptiles observés sur le transect – aussi bien sur les tôles que sous celles-ci – doivent être recensés. Les tôles manquantes seront remplacées.

Tab. 4.6 Détection des reptiles.

Méthode	-	Pose de tôles à reptiles le long d'un transect.
Calendrier	-	De mai à septembre, au moins une visite sur place par mois.
But	-	Recensement de toutes les espèces de reptiles sur l'ouvrage et dans ses environs immédiats.

4.3.6 Autres groupes d'espèces

Si les objectifs formulés pour le passage à faune mentionnent d'autres espèces ou groupes d'espèces pour lesquels il n'existe pas encore de méthode concrète, le rapport de la CEDR fournit des indications utiles [5].

Si, lors des recensements, on identifie des espèces qui ne devaient pas explicitement être détectées, elles seront systématiquement citées dans le rapport du contrôle de fonctionnement.

4.4 Conservation des données

Afin de pouvoir analyser les contrôles de fonctionnement à l'avenir, leurs rapports doivent être conservés de manière centralisée avec une sélection de données originales pertinentes (incluant photos et vidéos). À cette fin, une base de données des ouvrages d'art (telle que KUBA à l'OFROU) constitue une option idéale. Une copie du rapport (avec des photos et des vidéos pertinentes) sera transmise à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), section Gestion du paysage. Les relevés concernant les chauves-souris doivent quant à eux être livrés au délégué cantonal à la protection des chiroptères conformément à la norme du Swiss Bat Bioacoustics Group (SBBG) [85].

Annexes

I	Cahier des charges modèle pour les contrôles de fonctionnement.....	26
I.1	Généralités	26
I.2	Objet du marché.....	26
I.2.1	Compte rendu.....	27
I.2.2	Exigences, conditions	27
II	Contrôles de fonctionnement effectués en Suisse, méthodologies appliquées et espèces recensées : vue d'ensemble	28
II.1	Liste des contrôles de fonctionnement analysés	28
II.2	Vue d'ensemble des passages à faune analysés.....	29
II.3	Résumé de la méthodologie utilisée et des espèces recensées lors des contrôles de fonctionnement analysés	30
II.3.1	Méthodes appliquées	32
II.3.2	Pièges photographiques	32
II.3.3	Enregistrements vidéo infrarouges	32
II.3.4	Bandes de sable	33
II.3.5	Transects de recherche de traces dans la neige	33
II.3.6	Interrogation de personnes connaissant bien les lieux.....	33
II.3.7	Pièges au sol.....	33
II.4	Facteurs d'influence observés en Suisse	34

I Cahier des charges modèle pour les contrôles de fonctionnement

I.1 Généralités

Le présent cahier des charges doit permettre au mandant de requérir une offre auprès d'un mandataire pour des prestations standardisées de réalisation d'un contrôle de fonctionnement d'un passage à faune durant la période de garantie.

I.2 Objet du marché

Pour l'exécution du contrôle de fonctionnement, les prestations suivantes doivent être prévues avant et après la construction :

1. Relevé de la situation initiale (avant le chantier)

- Relevé de la situation de la faune et des densités de population dans le secteur d'influence du passage à faune, ainsi que le nombre de collisions avec la faune sauvage dans les environs (dans un rayon de 3 km) en faisant appel au savoir du garde-faune.
- Détermination de la situation des animaux sauvages dans les alentours proches du futur passage à faune à l'aide de pièges photographiques automatiques à infrarouge (3 semaines par saison) et de tunnels à traces (5 semaines entre août et novembre).
- Relevé des corridors de vol des chiroptères (par analyse des photos aériennes) dans un rayon de 500 mètres. Obtention et représentation des données concernant les colonies de chauves-souris dans un rayon de 5 kilomètres (données provenant du délégué cantonal à la protection des chiroptères).
- S'il existe un site de migration des amphibiens, on relèvera l'intensité et la direction des déplacements pendant la période de migration de printemps entre février et avril (en fonction de l'altitude). Pour cela, on effectuera trois à cinq visites nocturnes sur place lorsque les conditions sont optimales pour la migration, dans l'idéal également pendant la principale nuit de migration.

2. Preuve de l'utilisation du passage à faune par les animaux sauvages (après le chantier)

- La première année, on documentera les indices généraux d'utilisation du passage à faune par les animaux sauvages et éventuellement par l'homme (dérangements, voir chapitre 3.2).
- Durant les deuxième et quatrième années suivant la construction de l'ouvrage, on apportera la preuve de son utilisation par la faune. Il s'agit de recenser les espèces qui franchissent le passage et la fréquence de ces franchissements, ainsi que de documenter le comportement des animaux sur l'ouvrage.
- Durant la quatrième année, on documentera la situation de la faune dans le secteur d'influence de l'ouvrage en interrogeant une nouvelle fois le garde-faune.
- La preuve de l'utilisation du passage à faune concerne toutes les espèces de mammifères de taille moyenne à grande qui vivent dans les environs. Si d'autres espèces ont été définies comme espèces cibles lors de la planification, elles seront également recensées. Les mammifères de taille moyenne à grande doivent être détectés pendant trois semaines par saison à l'aide de pièges photographiques automatiques. On recensera les petits mustélidés pendant cinq semaines d'août à novembre, en recourant à des tunnels à traces.

- S'il existe des surfaces d'eaux dans les environs de l'ouvrage ou sur celui-ci (mares), on étudiera la présence d'amphibiens pendant la migration de printemps, de février à avril (en fonction de l'altitude). Pour cela, on effectuera trois à cinq visites nocturnes sur place dans des conditions idéales pour la migration, en incluant idéalement la principale nuit de migration.
- La présence de reptiles sera étudiée à l'aide de tôles appropriées (cachettes artificielles) le long d'un transect traversant l'ouvrage. En fonction de la longueur de ce transect, on placera entre cinq et dix tôles. Le transect doit être visité au moins une fois par mois entre mai et septembre.
- La présence des chiroptères et leurs corridors de vol doivent être étudiés durant trois périodes de cinq à sept nuits consécutives (offrant des conditions météorologiques appropriées) : une première période entre mi-avril et mi-mai, une deuxième en juin et une troisième entre mi-août et mi-septembre. Si des franchissements sont constatés, on procédera en outre à des enregistrements vidéo avec un éclairage infrarouge ou avec des caméras thermiques.

I.2.1 Compte rendu

Le mandataire fournit les documents et cartes suivants :

- Carte des environs du passage à faune prévu, présentant la situation des animaux sauvages pour ce secteur à une échelle de 1:25 000 ou avec davantage de détail. Pour les mammifères, on y fera figurer les territoires, le principal axe d'échange, ainsi que les collisions avec la faune sur les routes pour les dix dernières années ; pour les chiroptères, on indiquera leurs quartiers et leurs corridors de vol potentiels.
- Rapport concernant la situation des animaux sauvages dans les environs immédiats avant la construction du passage à faune. On établira cette situation à l'aide de pièges photographiques. L'emplacement de ces pièges figurera sur une carte.
- Rapport établissant la preuve de l'utilisation du passage à faune par les animaux sauvages, y compris les chiroptères, les reptiles et les amphibiens, pour les deuxième et quatrième années (et éventuellement pour la première année) après la construction de l'ouvrage. Énumération détaillée des espèces identifiées et de leur fréquence, ainsi que description du comportement des animaux sur le passage à faune. En tenant compte de la situation initiale et des objectifs formulés, on utilisera les indicateurs décrits au chapitre 2.3 pour évaluer le fonctionnement du passage à faune. Sur cette base, on élaborera d'éventuelles propositions d'optimisation appropriées.
- Les rapports des contrôles de fonctionnement doivent être archivés dans une base de données des ouvrages d'art (KUBA dans le cas de l'OFROU), en incluant leurs données brutes. Une copie du rapport avec une sélection de données originales pertinentes (incluant photos et vidéos) sera transmise à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), section Gestion du paysage. Les relevés concernant les chauves-souris doivent quant à eux être livrés au délégué cantonal à la protection des chiroptères conformément à la norme du Swiss Bat Bioacoustics Group (SBBG).

I.2.2 Exigences, conditions

Expérience attestée dans le domaine de la faune en lien avec la thématique faune-traffic, en particulier dans la planification et l'application des méthodes de détection des animaux sauvages.

II Contrôles de fonctionnement effectués en Suisse, méthodologies appliquées et espèces recensées : vue d'ensemble

II.1 Liste des contrôles de fonctionnement analysés

Tab. II.1 Les analyses de fonctionnement ci-dessous ont été prises en compte dans la présente documentation.

Etter, A., 2012. Wildtierpassage Grauholz - Erfolgskontrolle (Semesterarbeit). Berner Fachhochschule, Zollikofen.

Eyholzer, R., Struch, M., 2007. A5 Kanton Solothurn - Erfolgskontrolle Wildtierbrücke Riemberg. Wildtierbiologischer Arbeitskreis Bern.

Gräminger, M., 2013. Wildtierüberführung Kaltenboden - Auswertung der Fotofallen 2010 bis 2013. Amt für Natur, Jagd und Fischerei, Kanton Schwyz.

Hatt, S., 2000. Grünbrücke Loterbuck A4.2.9: Eine Erfolgskontrolle nach drei Jahren. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 151, 290–297. doi:10.1007/s10470-011-9601-1

Krause, K., Rieder, J., 2014. Untersuchung über die Durchlässigkeit der Autobahn A7 für Wildtiere im Kanton Thurgau. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft TNG 67.

Malli, H., 2006. Erfolgskontrolle der Wildquerungen Birchwald und Neu-Ischlag in Bezug auf die Arthropodenfauna (Ergebnisse Sommer 2003). Büro Biolex, Trimstein, Liebefeld.

Meienberger, C., Kaden, D., 1993. Erfolgskontrolle der ökologischen Massnahmen an der Neubaustrecke der N7. Kaden, Beerli & Meienberger, Frauenfeld.

Mosimann, Strebel, 2014. Umfahungsstrasse H10, Ökologische Ersatz- / Ausgleichsmassnahmen, Erfolgskontrolle 2009-2013. Tiefbauamt des Kantons Bern, Obergeringenieurkreis III.

PiU GmbH, 2012a. Wildtierpassage Birchwald. Wirkungskontrolle Phase B - 2012. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2012b. Wildtierpassage Neu-Ischlag. Wirkungskontrolle Phase B - 2012. Liebefeld.

PiU GmbH, 2012c. Wildtierpassage Stöck. Wirkungskontrolle Phase B - 2012. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2009. Wildtierpassage Hirschensprung. Bericht der Wirkungskontrolle 2008. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2008a. Brücke Müliholz über die A1 (Mühleberg). Wirkungskontrolle. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2008b. Wildtierpassage Badwald. Erfolgskontrolle 2002-2008. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2007. Wildtierpassage Brienzwiler. Erfolgskontrolle nach 10 Jahren. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2006a. Wildtierpassage Grauholz. Erfolgskontrolle zweite Phase - 2004/05. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2006b. Wildtierpassage Neu-Ischlag. Erfolgskontrolle 2001-2006. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2006c. Wildtierpassage Stöck. Erfolgskontrolle 2002-2006. Liebefeld.

PiU GmbH, 2005a. Wildtierpassage Birchwald. Erfolgskontrolle 2001-2005. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2005b. Wildtierpassage Hirschensprung. Kurzbericht der Wirkungskontrolle 1999-2005. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2001. Ökobrücke N13 - Rüthi - Erste Resultate zur Akzeptanz der Ökobrücke. Ergebnisse der Fährten- und Spurenbehebung im Rahmen der Erfolgskontrolle. Piu GmbH, Waldeggstrasse 47, 3097 Liebefeld.

PiU GmbH, 2013. Wildtierpassage Chappelengand / Wirkungskontrolle. Obergeringenieurkreis I, Thun.

WLS.CH GmbH, 2013. Monitoring im Wildtierkorridor AG-R7 «Baregg-Grosszelg». Schlussbericht 2013. WLS.ch GmbH, Fribourg.

II.2 Vue d'ensemble des passages à faune analysés

Tab. II.2. Passages à faune analysés

Nr. auf Karte	Name	Kt.	Gemeinde	Korridor-Nr	Verkehrsträger	Art der Passage	Baujahr	B	L	H	Koordinaten
1	Baregg Grosszelg	AG	Birmensdorf	AG R7	Kantonsstrasse	Wildtierüberführung	2003	41	17		2'662 650 / 1'256 300
2	Baregg Weiermatt	AG	Birmensdorf	AG R8	A2	Wildtierunterführung	2003/04	30	41	6	2'662 650 / 1'256 301
3	Badwald	BE	Herzogenbuchsee		SBB	Wildtierüberführung	2001	77	36		2'621 885 / 1'228 210
4	Birchwald A17.1	BE	Kernenried	BE 7	SBB	Wildtierüberführung	2002	30	12		2'609 010 / 1'212 460
5	Birchwald A17.2	BE	Kernenried	BE 7	A1, Kantonsstr.	Wildtierüberführung	2002	50	46		2'609 090 / 1'212 370
6	Brienzwiler	BE	Brienzwiler		A8	Überführung f. kl./m.	1995	15	25		2'650 865 / 1'177 660
7	Chappelegand	BE	Aeschi	BE 14	H221, BLS	Wildtierüberführung	2007	20	36		2'619 175 / 1'166 270
8	Grauholz	BE	Bern	BE 6	A1, Kantonsstr.	Wildtierüberführung	1995	23	61		2'603 700 / 1'205 240
9	Islerenhölzli	BE	Gampelen	BE 13	T10, BLS	Wildtierüberführung	2001	75	28		2'572 514 / 1'205 953
10	Neu-Ischlag	BE	Utzenstorf	BE 8	A1, SBB	Wildtierüberführung	2002	60	54		2'610 851 / 1'219 291
11	Stöck	BE	Pieterlen	BE 2	A5, SBB	Wildtierüberführung	2001	80	80		2'590 100 / 1'223 650
12	Mülholz	BE	Mühleberg	BE 13	A1	Überführung	2006	5	65		2'586 550 / 1'201 000
13	Hirschsensprung	SG	Rüthi	SG 10	A13, Gemeindestr.	Wildtierüberführung	1999	50	40		2'760 483 / 1'241 248
14	Riemberg	SO	Nennigkofen	SO 1	A5, SBB	Wildtierüberführung	2001	75 / 1	38		2'603 500 / 1'226 600
15	Aspholz	TG	Wigoltingen	TG 15	A7	Wildtierüberführung	1992	140	25		2'719 300 / 1'273 900
16	Fuchswies	TG	Kemmental	TG 19	A7	Wildtierüberführung	1992	200	25		2'726 450 / 1'276 150
17	Bois d'Oulens	VD	Oulens	VD 6.2	A1	Wildtierüberführung	2010	43	45		2'553 730 / 1'168 120
18	Loterbuck	ZH	Henggart	ZH 34	A4.2.9, Kantonsstr.	Wildtierüberführung	1996	96	42		2'694 100 / 1'268 050
19	Kaiserbuck	ZH	Nefenbach	ZH 34	A4	Landschaftsbrücke	1996	135	15		2'694 200 / 1'266 800
20	Kaltenboden	SZ	Feusisberg	SZ 01	H8	Wildtierüberführung	2000	40	70		2'697 420 / 1'225 053

II.3.1 Méthodes appliquées

Lors des contrôles de fonctionnement analysés, la saisie des données concernant la fréquence des diverses espèces s'est faite à l'aide de méthodes très variables :

- Pièges photographiques
- Enregistrements vidéo infrarouges
- Bandes de sable
- Transects de recherche de traces dans la neige
- Interrogation de personnes connaissant bien les lieux
- Pièges au sol pour les coléoptères
- Détecteurs de hautes fréquences sonores

L'efficacité de ces méthodes varie fortement. Chacune présente des avantages et des inconvénients. Souvent, plusieurs méthodes sont combinées, ce qui induit clairement une plus-value lorsqu'il s'agit de déterminer le nombre d'espèces différentes qui franchissent l'ouvrage.

II.3.2 Pièges photographiques

Par rapport aux autres méthodes, les pièges photographiques permettent à chaque fois d'enregistrer le plus grand nombre d'animaux. La détection des franchissements est considérée comme très efficace : elle reflète bien la variété des espèces présentes ainsi que la fréquence de franchissement de chaque espèce.

L'avantage de cette technique tient à ce que l'appareil n'enregistre des données que lorsque des animaux se tiennent dans son domaine de détection, ce qui diminue énormément le travail lié au visionnage du matériel enregistré. De plus, la capacité des batteries est suffisante pour réaliser des enregistrements sur plusieurs mois.

On veillera dès lors à ce que les champs de vision des appareils, dans leur ensemble, couvrent toute la largeur de l'ouvrage et à ce que les équipements fonctionnent sans interruption durant la période visée. Les contrôles de fonctionnement analysés n'ont pas toujours atteint cet objectif : souvent, des problèmes techniques ont engendré de grosses lacunes dans les séries de données. Disposer d'un grand nombre d'appareils permet d'atténuer clairement ce problème. Il reste toutefois coûteux et laborieux d'obtenir une couverture complète dans l'espace et dans le temps.

II.3.3 Enregistrements vidéo infrarouges

Cette méthode, telle qu'elle a été utilisée dans les contrôles de fonctionnement étudiés, est désormais obsolète. Le progrès technique rapide des pièges photographiques permet de nos jours non seulement de prendre des photos, mais également d'enregistrer des vidéos en haute définition.

Avec la technique vidéo à l'ancienne, la batterie de l'appareil ne tient souvent pas plus longtemps qu'une nuit. Comme cette méthode requiert en outre beaucoup de travail, elle n'est généralement appliquée que pendant quelques nuits réparties sur plusieurs années. En outre, le visionnage du matériel prend beaucoup de temps et des problèmes techniques induisent souvent des lacunes dans les séries de données. Le rapport rédigé pour l'ouvrage de Badwald (BE) mentionne que la taille relativement importante des caméras engendre un certain effet de dérangement pour les animaux à proximité immédiate de celles-ci.

De manière générale, les enregistrements vidéo fournissent une image précise de l'animal qui utilise l'ouvrage. En complément aux photos prises, cela permet d'observer aussi le comportement d'un animal sur le passage à faune et d'analyser plus précisément chaque franchissement individuel.

Le principal inconvénient de cette technique est que les enregistrements sont souvent mauvais voire inexploitable lorsque les conditions météorologiques ne sont pas optimales, par exemple en cas de forte pluie ou de brume. De plus, les petits animaux susceptibles

de se cacher dans la végétation basse peuvent difficilement être détectés à l'aide de la caméra. Ce problème peut être résolu en tondant la végétation, mais on détruit alors des possibilités de se mettre à couvert très importantes pour nombre d'animaux.

II.3.4 Bandes de sable

Les bandes de sable installées comme des « coussins d'empreintes » permettant de relever les traces d'animaux sont aussi souvent utilisées pour la détection de la faune. Lors d'une visite sur place, ces bandes sont examinées pour déceler des traces d'animaux, puis ratisées pour effacer toute empreinte. Si l'on veut obtenir une image correcte des espèces présentes, il faut examiner suffisamment souvent la bande de sable, sans quoi ces recensements ne peuvent faire office que d'échantillons aléatoires.

Un avantage important de cette méthode de relevé est qu'elle n'induit pas de grosses dépenses. Si l'on souhaite se rendre sur place régulièrement, elle exige toutefois un gros investissement en temps. En outre, en raison de leur poids limité, les petits mammifères ne laissent pas toujours des traces suffisantes dans le sable, si bien que leur détection est difficile. La météorologie est par ailleurs susceptible d'influencer les résultats : des pluies abondantes ou un fort vent peuvent effacer les empreintes. Enfin, si trop de temps s'écoule entre les relevés, les traces des divers animaux peuvent se superposer et cesser d'être identifiables.

II.3.5 Transects de recherche de traces dans la neige

Cette méthode ressemble à celle des bandes de sable. Là aussi, il faut procéder à des relevés réguliers si l'on veut obtenir des résultats significatifs. L'identification des traces dans la neige a l'avantage de ne pas devoir être effectuée de manière statique en un endroit unique. On peut donc analyser non seulement l'ouvrage, mais aussi ses environs immédiats.

En revanche, cette méthode est dépendante des conditions météorologiques : les données ne peuvent être relevées que lorsqu'il y a suffisamment de neige. La planification des visites sur place est donc très peu flexible, puisque la fonte de la neige ou le dépôt d'une nouvelle couche suffisent à faire disparaître les traces. Ces difficultés, qui ont été mises en évidence dans de nombreuses études, peuvent rendre impossible tout relevé de données. Il convient par ailleurs d'interpréter les résultats avec prudence : la présence de traces à proximité immédiate d'un passage à faune ne prouve l'utilisation de celui-ci que si l'on peut suivre ces traces d'un côté à l'autre de la route.

II.3.6 Interrogation de personnes connaissant bien les lieux

L'interrogation de personnes connaissant bien les lieux – garde-faune, de préférence – peut donner une vision plus précise de ce qui se passe autour du passage à faune. Les résultats obtenus viennent le plus souvent compléter les informations que l'on a récoltées soi-même. Un garde-faune connaissant bien les effectifs actuels de gibier et l'évolution d'un territoire peut fournir des informations déterminantes pour l'évaluation qualitative de l'efficacité d'un ouvrage, mais cette démarche ne permet généralement pas d'obtenir des chiffres plus précis. Il convient aussi de garder une « distance critique » par rapport à ce genre d'informations externes, puisque la seule présence d'une espèce dans le secteur n'indique pas en soi que celle-ci accepte et utilise le passage à faune.

II.3.7 Pièges au sol

La méthode permettant de déterminer la faune d'arthropodes à l'aide de pièges posés au sol n'a été utilisée dans aucun contrôle de fonctionnement. On peut fabriquer ces pièges soi-même sans grande peine, pour un coût limité. Le temps à investir semble aussi acceptable, puisque les données du relevé s'additionnent au cours du temps et n'ont pas besoin d'être renouvelées en permanence.

II.4 Facteurs d'influence observés en Suisse

Les études analysées et les rapports des contrôles de fonctionnement effectués en Suisse (annexe II) permettent d'affirmer que les facteurs présentés brièvement ci-après influencent l'utilisation des passages à faune.

Facteurs exerçant une influence positive

- Une végétation aménagée de manière optimale – par exemple avec des prairies extensives, des bosquets et d'autres structures guides – crée des habitats précieux notamment pour les espèces de grands papillons, d'autres insectes ou d'oiseaux rares (rapports concernant les passages à faune d'Aspiholz [TG], Fuchswies [TG] et Islerenhölzli [BE]).
- La création de mares sur les ouvrages exerce dans tous les cas des effets positifs : des amphibiens et des libellules ont colonisé ces eaux, qu'ils ont acceptées comme habitat. Des résultats positifs ont aussi été obtenus avec les structures mises en place spécifiquement pour les reptiles, puisque des orvets et des lézards des murailles ont été recensés.
- Plusieurs études montrent que du point de vue de la biologie de la faune, les ouvrages examinés peuvent être considérés comme des surfaces de valeur, puisque les chevreuils – entre autres – y adoptent des comportements indicateurs de bien-être. Cela résulte d'un aménagement approprié de la végétation des passages à faune.

Facteurs exerçant une influence négative

- De nombreuses études attribuent un effet clairement négatif à la présence de l'homme sur les ouvrages de franchissement : lorsque des personnes ont emprunté un passage à faune dans les 24 heures précédentes, les animaux s'y aventurent plus tard dans la nuit. Cet effet a pu être mis en évidence notamment pour le passage supérieur de Baregg Grosszelg (AG) ou les passages inférieurs CFF de Surhard II et III.
- Le manque de structures guides et d'éléments permettant aux animaux de se mettre à couvert contraint la faune à n'utiliser les ouvrages que durant la nuit, selon des horaires restreints. C'est le cas par exemple lorsque les arbustes du passage à faune sont trop fortement taillés (entretien) ou que seuls ont été plantés des feuillus qui offrent peu de protection en hiver. La plupart des espèces forestières évitent en particulier les surfaces déboisées, sèches et ensoleillées. L'entretien des eaux créées pour les amphibiens joue aussi un rôle important, puisque l'envahissement des mares par la végétation dégrade la qualité de cet habitat pour les espèces cibles.
- L'extension des zones commerciales et industrielles ainsi que les aménagements tels que places de stationnements ou manèges à proximité des passages à faune supérieurs dérangent les animaux susceptibles d'utiliser ces ouvrages.
- Les clôtures posées dans les corridors faunistiques constituent des obstacles pour la faune.

Mesures d'accompagnement importantes

1. L'influence négative de l'homme peut être restreinte en plaçant des panneaux d'information destinés aux personnes qui empruntent l'ouvrage.
2. La chasse devrait être interdite dans un secteur déterminé autour de l'ouvrage.
3. Les sentiers pédestres qui mènent à l'ouvrage seront déviés de manière ciblée.
4. On créera une mosaïque lâche de mégaphorbiaies, d'arbustes, de murgiers et de tas de bois.
5. Les zones commerciales et industrielles, les clôtures fixes ainsi que les grandes manifestations devraient être évitées de manière générale dans les environs des passages à faune. Il est en outre recommandé de renoncer aux clôtures fixes dans un rayon de 500 mètres autour des ouvrages de franchissement.
6. Une obligation de tenir les chiens en laisse devrait être introduite.

Glossaire

Terme	Signification
Animaux sauvages	Toutes les espèces de vertébrés qui ne sont pas domestiquées et vivent en liberté. Dans le présent document, les termes « animaux sauvages » et « faune » sont employés comme des synonymes.
CEDR	Conference of European Directors of Roads / Conférence européenne des directeurs des routes
CNR 2.6	Commission de normalisation et de recherche Espaces verts, faune et flore de la VSS.
Corridor faunistique	Axes de déplacement privilégiés des animaux sauvages, délimités par des obstacles naturels, des constructions et des surfaces agricoles intensives. À l'intérieur de l'aire de diffusion d'une espèce, ils établissent des liaisons entre les habitats isolés ou restreints de sous-populations.
COST	Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
Faune	Terme générique pour toutes les espèces d'animaux. Dans le présent document, les termes « faune » et « animaux sauvages » sont employés comme des synonymes.
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e. V. (Société allemande de recherche dans le domaine des routes et des transports)
FSV	Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse-Schiene-Verkehr (Société autrichienne de recherche pour la route, le rail et les transports)
KUBA	Base de données des ouvrages d'art de l'OFROU, qui contient les informations relatives à tous les ouvrages d'art. Ces données servent en premier lieu à la planification de la surveillance et des mesures de maintenance.
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFROU	Office fédéral des routes
Parois anti-éblouissement	Panneaux qui protègent les animaux en déplacement contre le bruit dérangeant et les éblouissements dus au trafic et leur permettent d'emprunter un ouvrage de franchissement en toute sécurité.
Passage à faune	Ouvrage (passage supérieur ou inférieur) destiné à permettre aux animaux sauvages de traverser en toute sécurité des infrastructures de transport. Dans la présente documentation, le terme « passage à faune » fait également référence aux aides au franchissement destinées aux amphibiens.
Passage inférieur spécifique	Passage à faune passant sous une voie de communication et construit spécialement pour permettre à la faune de franchir celle-ci.
Passage supérieur spécifique	Passage à faune enjambant une voie de communication et construit spécialement pour permettre à la faune de franchir celle-ci.
Perméabilité	Aptitude d'une voie de communication à être traversée par la faune sans mesures préalables particulières.
Petits mustélidés	Groupe composé des petits représentants de la famille des mustélidés : belette, hermine et putois.
SBBG	Swiss Bat Bioacoustics Group
TJM	Trafic journalier moyen
VSS	Recherche et normalisation en matière de route et de transports
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften / Haute école zurichoise des sciences appliquées

Bibliographie

Documentation et rapports

- [1] OFEFP, «Évaluation standardisée des effets des passages à faune», Instructions pratiques et rapport détaillé, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 2005.
- [2] DETEC, «Planification et construction de passages à faune à travers des voies de communication», Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), 2001.
- [3] OFROU, «Ouvrages de franchissement pour la faune», Directive ASTRA 18008, 2013.
- [4] S. Müller et G. Berthoud, «Sécurité faune/trafics : Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils», École polytechnique fédérale de Lausanne, Département de génie civil (LAVOC), Lausanne, 1994.
- [5] E. O'Brien, E. A. van der Grift, M. Elmeros, R. Wilson-Parr, & C. Carey, «CEDR Contractor Report 2017-1, CEDR Roads and Wildlife Manuals», 2017.
- [6] R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology*. Wiley-Blackwell, 2015.
- [7] R. van der Ree, E. van der Grift, N. Gulle, K. Holland, C. Mata Estacio, & F. Suarez, «Overcoming the barrier effect of roads - How effective are mitigation strategies? An international review of the effectiveness of underpasses and overpasses designed to increase the permeability of roads for wildlife», presented at the International Conference on Ecology and Transportation (ICOET) 2007, Little Rock, Arkansas, 2007.
- [8] T. Rytwinski *et al.*, «How Effective Is Road Mitigation at Reducing Road-Kill? A Meta-Analysis», *PLOS ONE*, vol. 11, no. 11, 2016.
- [9] A. P. Clevenger, «15 Years of Banff Research: What We've learned and why It's important to transportation managers beyond the park boundary», in *2011 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2011)*, 2012.
- [10] H.-P. Pfister, V. Keller, H. Reck, & B. Georgii, «Bio-ökologische Wirksamkeit von Grünbrücken über Verkehrswege - Hauptbericht», *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, vol. 756, 1997.
- [11] H. P. Pfister, B. Georgii, V. Keller, D. Heynen, & F. von Lerber, «Häufigkeit und Verhalten ausgewählter Wildsäuger auf unterschiedlich breiten Wildtierbrücken (Grünbrücken). Ergebnisse von Beobachtungen mittels Infrarot-Video-Technik», Schweizerische Vogelwarte Sempach, Sempach, 1999.
- [12] S. Fagart, G. Quaintenne, C. Heurtebise, & P. Chavaren, «Retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroutes», VINCI Autoroutes, 2016.
- [13] A. Righetti, C. Eicher, A. Wegelin, C. Thiel-Egenter, P. Schütz, & D. Keller, «Gestaltung von Wildtierunterführungen», Bundesamt für Strassen (ASTRA), Forschungsprojekt VSS 2011/602, 2016.
- [14] A. Clevenger & N. Waltho, «Long-term, year-round monitoring of wildlife crossing structures and the importance of temporal and spatial variability in performance studies», in *Proceedings of the 2003 International Conference on Ecology and Transportation*, 2003.
- [15] C. Mata, I. Hervás, J. Herranz, J. E. Malo, & F. Suárez, «Seasonal changes in wildlife use of motorway crossing structures and their implication for monitoring programmes», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 14, no. 7, 2009.
- [16] J. E. Malo, I. Hervás, J. Herranz, C. Mata, & F. Suárez, «How many days to monitor a wildlife passage? Species detection patterns and the estimation of the vertebrate fauna using crossing structures at a motorway», presented at the International Conference on Ecology and Transportation, Raleigh, 2005.
- [17] E. A. van der Grift, «Estimating crossing rates at wildlife crossing structures - How to improve our monitoring methods?», presented at the IENE International Conference on Ecology and Transportation, Lyon, 2016.
- [18] A. T. Ford, A. P. Clevenger, & A. Bennett, «Comparison of Methods of Monitoring Wildlife Crossing-Structures on Highways», *Journal of Wildlife Management*, vol. 73, no. 7, 2009.
- [19] E. A. van der Grift & R. van der Ree, «Guidelines for evaluating use of wildlife crossing structures», in *Handbook of Road Ecology*, John Wiley & Sons, 2015.
- [20] G. Gužvica, I. Bošnjak, A. Bielen, D. Babić, B. Radanović-Gužvica, & L. Šver, «Comparative analysis of three different methods for monitoring the use of green bridges by wildlife», *PLoS ONE*, vol. 9, no. 8, 2014.
- [21] E. van der Grift & A. Seiler, «Guidelines for evaluating the performance of road mitigation measures», Conference of European Directors of Roads (CEDR), CEDR Call 2013: Road and Wildlife SAFEROAD Technical report 6, 2016.
- [22] D. Lesbarrères & L. Fahrig, «Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know?», *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 27, no. 7, 2012.
- [23] E. A. van der Grift *et al.*, «Evaluating the effectiveness of road mitigation measures», *Biodiversity and Conservation*, vol. 22, no. 2, 2013.

- [24] P. C. Cramer, «Design recommendations from five years of wildlife crossing research in Utah», in *Proceedings of the 2013 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2013)*, Scottsdale Arizona, United States, 2013.
- [25] J. Remon *et al.*, «Multi-species gene flow across several large-scale transportation infrastructures», presented at the IENE Konferenz 2018, Eindhoven, NL, 2018.
- [26] L. Corlatti, K. Hackländer, & F. Frey-Roos, «Ability of Wildlife Overpasses to Provide Connectivity and Prevent Genetic Isolation», *Conservation Biology*, vol. 23, no. 3, pp. 548–556, 2009.
- [27] K. Soanes, A. C. Taylor, P. Sunnucks, P. A. Vesk, S. Cesarini, & R. van der Ree, «Evaluating the success of wildlife crossing structures using genetic approaches and an experimental design: Lessons from a gliding mammal», *Journal of Applied Ecology*, 2017.
- [28] R. Kuehn, K. E. Hindenlang, O. Holzgang, J. Senn, B. Stoeckle, & C. Sperisen, «Genetic effect of transportation infrastructure on roe deer populations (*Capreolus capreolus*)», *Journal of Heredity*, vol. 98, no. 1, 2006.
- [29] F. T. Van Manen, M. F. Mccollister, J. M. Nicholson, L. M. Thompson, J. L. Kindall, & M. D. Jones, «Short-term impacts of a 4-lane highway on american Black Bears in Eastern North Carolina», *Wildlife Monographs*, vol. 181, no. 1, 2012.
- [30] D. Hepenstrick, D. Thiel, R. Holderegger, & F. Gugerli, «Genetic discontinuities in roe deer (*Capreolus capreolus*) coincide with fenced transportation infrastructure», *Basic and Applied Ecology*, vol. 13, no. 7, 2012.
- [31] M. A. Sawaya, S. T. Kalinowski, & A. P. Clevenger, «Genetic connectivity for two bear species at wildlife crossing structures in Banff National Park», *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 281, no. 1780, 2014.
- [32] A. Clevenger & N. Waltho, «Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada», *Conservation Biology*, vol. 14, no. 1, 2000.
- [33] M. Trocmé *et al.*, «COST 341 – Habitat fragmentation due to transportation infrastructure – The european review», Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2003.
- [34] Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse - Schiene - Verkehr, «RVS 04.03.12 - Wildschutz», Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse - Schiene - Verkehr, Wien, 2007.
- [35] D. Glista, T. DeVault, & J. DeWoody, «A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways», *Landscape and urban planning*, vol. 91, 2009.
- [36] B. Georgii, E. Peters-Ostenberg, M. Henneberg, M. Herrmann, Müller-Stiess, & L. Bach, «Nutzung von Grünbrücken und anderen Querungsbauwerken durch Säugetiere. Gesamtbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 02.247/2002/LR», Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn, 2006.
- [37] M. Herrmann & A. Mathews, «Wirkung von Barrieren auf Säuger und Reptilien», Öko-Log Freilandforschung, D-16247 Parlow, 2007.
- [38] E. Ueckermann & P. Olbrich, «Untersuchung der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren und der Eignung von Wilddurchlässen», Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, 1984.
- [39] F. Völk, I. Glitzner, & M. Wöss, *Kostenreduktion bei Grünbrücken durch deren rationellen Einsatz*, Strassenfo. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2001.
- [40] R. Brinkmann *et al.*, «Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse - Eine Arbeitshilfe für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen», Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, 2012.
- [41] A. Lugon, C. Eichler, & F. Bontadina, «Conservation des chauves-souris dans le cadre de la planification, de l'aménagement et de l'assainissement des infrastructures de transport – Base de travail», Office fédéral des routes (OFROU) et Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2017.
- [42] E. M. Kramer-Rowold & W. A. Rowold, «Zur Effizienz von Wilddurchlässen an Strassen und Bahnlinien», Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim, Inform.d.Naturschutz.Niederschs., 2001.
- [43] H. Cayuela *et al.*, «Demographic and genetic approaches to study dispersal in wild animal populations: A methodological review», *Molecular Ecology*, Sep. 2018.
- [44] D. E. Bowler & T. G. Benton, «Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics», *Biological Reviews*, vol. 80, no. 2, 2005.
- [45] R. F. Graf, C. Signer, M. Reifler-Bächtiger, M. Wytenbach, B. Sigrist, & R. Rupf, «Wildtier und Mensch im Naherholungsraum», vol. 13, no. 2, Feb. 2018.
- [46] H. Herbold, «Anthropogener Einfluß auf die Raumnutzung von Rehwild (*Capreolus capreolus*)», *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, vol. 41, no. 1, 1995.
- [47] M. Barrueto, A. T. Ford, & A. P. Clevenger, «Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures», *Ecosphere*, vol. 5, no. 3, 2014.
- [48] B. Georgii *et al.*, «Use of wildlife passages by invertebrate and vertebrate species», Wildlife passages in Germany 2011, 2011.

- [49] D. Whittaker & R. Knight, «Understanding wildlife responses to humans», *Wildlife Society Bulletin*, vol. 26, no. 2, 1998.
- [50] B. Georgii, «Auswirkungen von Freizeitaktivitäten und Jagd auf Wildtiere», *Laufener Seminarbeiträge, Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), D-Laufen*, 2001.
- [51] B. Iuell *et al.*, «COST 341 - Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: Wildlife and traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions», KNNV, 2003.
- [52] E. A. van der Grift, F. Ottburg, R. Pouwels, & J. Dirksen, «Multiuse overpasses: Does human use impact the use by wildlife?», in *2011 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2011)*, 2012.
- [53] S. M. Suter, B. Karwowska, & E. Schweizer, «Schlussbericht: Wildtierbiologische Erfolgskontrolle an den SBB-Unterführungen Surhard II und III», WLS.ch GmbH, Fribourg, im Auftrag der Abteilung Landschaft und Gewässer, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton Aargau, 2016.
- [54] H. Reck *et al.*, «Grünbrücken, Faunatunnel und Tierdurchlässe. Anforderungen an Querungshilfen.», Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 2017.
- [55] E. A. van der Grift & R. van der Ree, «Recreational co-use of wildlife crossing structures», in *Handbook of Road Ecology*, John Wiley & Sons, 2015.
- [56] L. L. Bliss-Ketchum, C. E. de Rivera, B. C. Turner, & D. M. Weisbaum, «The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure», *Biological Conservation*, vol. 199, 2016.
- [57] K. Spoelstra *et al.*, «Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light», *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 284, no. 1855, 2017.
- [58] «Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen: M AQ», Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2008.
- [59] C. R. Kight & J. P. Swaddle, «How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review: Environmental noise and animals», *Ecology Letters*, vol. 14, no. 10, 2011.
- [60] K. Parris, «Ecological impacts of road noise and options for mitigation», in *Handbook of Road Ecology*, John Wiley & Sons, 2015.
- [61] R. T. T. Forman & R. D. Deblinger, «The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway», *Conservation Biology*, vol. 14, no. 1, 2000.
- [62] J. R. Barber, K. R. Crooks, & K. M. Fristrup, «The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms», *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25, no. 3, 2010.
- [63] A. P. Clevenger & N. Waltho, «Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals», *Biological Conservation*, vol. 121, no. 3, 2005.
- [64] F. Shilling *et al.*, «Wildlife-Crossing Mitigation Effectiveness with Traffic Noise and Light - A Research Report from the National Center for Sustainable Transportation», National Center for Sustainable Transportation, USA, 2018.
- [65] A. Collins *et al.*, «Traffic noise and light as potential explanations for suppressed use of wildwildlife crossing structures», presented at the IENE Conference, Eindhoven, NL, 2018.
- [66] H. Wölfel & H.-H. Krüger, «Zur Gestaltung von Wilddurchlässen an Autobahnen», *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, vol. 41, no. 3, 1995.
- [67] M. Di Giulio, R. Holderegger, M. Bernhardt, & S. Tobias, *Zerschneidung der Landschaft in dicht besiedelten Gebieten. Eine Literaturstudie zu den Wirkungen auf Natur und Mensch und Lösungsansätze für die Praxis*. Zürich: Haupt, 2008.
- [68] A. Stäubli, «Raumverhalten des Rehs in Abhängigkeit von Strassen und Wegen», Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Umweltingenieurwesen, Semesterarbeit 1, 2016.
- [69] W. P. Kuvlesky Jr, L. A. Brennan, M. L. Morrison, K. K. Boydston, B. M. Ballard, & F. C. Bryant, «Wind energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities», *Journal of Wildlife Management*, vol. 71, no. 8, 2007.
- [70] E. B. Arnett *et al.*, «Impacts of wind energy development on bats: A global perspective», in *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*, C. C. Voigt & T. Kingston, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [71] J. Helldin, J. Jung, W. Neumann, M. Olsson, A. Skarin, & F. Widemo, «The impacts of wind power on terrestrial mammals - A synthesis», Swedish environmental Protection Agency, 2012.
- [72] C. Menzel & K. Pohlmeier, «Indirekter Raumnutzungsnachweis verschiedener Niederwildarten mit Hilfe von Losungsstangen («dropping marker») in Gebieten mit Windkraftanlagen», *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, vol. 45, no. 4, 1999.
- [73] Office fédéral du développement territorial ARE, «Conception énergie éolienne. Base pour la prise en compte des intérêts de la Confédération lors de la planification d'installations éoliennes», Berne.
- [74] EuroNatur, «TEWN Manual. Recommendations for the reduction of habitat fragmentation caused by transport infrastructure development», EuroNatur Foundation, Radolfzell, 2010.

-
- [75] U.S Department of Transportation - Federal Highway Administration, «Wildlife-vehicle collision reduction study: Report to congress», FHWA-HRT-08-034, 2008.
-
- [76] A. Clevenger & M. P. Huijser, «Wildlife crossing structure handbook - Design and evaluation in North America», Central Federal Lands Highway Division, Lakewood, USA, FHWA-CFL/TD-11-003, 2011.
-
- [77] VSS, Norme 640 694, «Faune et trafic ; mesures de protection», Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS), 2004.
-
- [78] Ministry of Agriculture Food and the Environment, «Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (Second edition, revised and expanded)», Ministry of Agriculture Food and the Environment, Madrid, Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure, 2016.
-
- [79] VSS, Norme 640 692, «Faune et trafic ; analyse faunistique», Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS), 2004.
-
- [80] P. Marchesi, F. Dunant, V. Rebsamen, & A. Rauss, «Biomonitoring des petits carnivores en 2003 à Genève. Test de la méthode des tunnels à traces. Rapport du bureau Drosera SA.», OFEFP, SGW, SFPNP, Genève, 2004.
-
- [81] S. Capt & P. Marchesi, «Monitoring der Kleinmusteliden in der Schweiz - Resultate der Erhebungen von 2010», Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF), Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2012.
-
- [82] P. Marchesi, M. Blant, & S. Capt, *Mammifères de Suisse - Clés de détermination. Fauna Helvetica*. Neuchâtel : CSCF & SGW, 2008.
-
- [83] ZHAW, «Die Entwicklung einer neuen Nachweismethodik für Kleinsäuger mit Fokus auf Kleinmusteliden und Schläfer», 19-Oct-2017. Accessible en ligne : <https://www.zhaw.ch/de/lsfm/institute-zentren/iunr/integrative-oekologie/wildtiermanagement/referenzprojekte/tubecam/>.
-
- [84] M. Elemeros, J. Dahl Møller, J. Dekker, I. Garin, M. Christensen, & H. J. Baagøe, «Bat mitigation measures on roads - a guideline», Conference of European Directors of Roads (CEDR), 2016.
-
- [85] E. Bader, F. Bontadina, A. Frey-Ehrenbold, C. Schönbächler, P. E. Zingg, & M. K. Obrist, «Directives pour l'enregistrement, l'analyse et la validation des sons de chauves-souris en Suisse», Swiss Bat Bioacoustics Group SBBG, www.sbbg.ch, Version 1.1d de juillet 2018, 2018.
-

Liste des modifications

Édition	Version	Date	Modifications
2019	V1.00	22.05.2019	Entrée en vigueur de l'édition 2019 (version originale en allemand).

