

2026

Centre de Synthèse sur la Biodiversité

Relier la recherche & la pratique



Mise en réseau fonctionnelle des habitats : une base de connaissances consolidée pour la Suisse

Rapport de synthèse du groupe de travail
« Mise en réseau des habitats et infrastructure
écologique » dans le cadre du Centre
de synthèse sur la biodiversité

Éditeur

Centre de synthèse sur la biodiversité, EPF Zurich, WSL, Eawag

Direction du projet

Sarah Richman, Sciences des systèmes environnementaux, EPF Zurich

Assistance au projet

Alanis Camichel, Sciences des systèmes environnementaux, EPF Zurich

Eva Lieberherr, Sciences des systèmes environnementaux, EPF Zurich

Rea Pärli, Biodiversité et biologie de la conservation, WSL

Alex Widmer, sciences des systèmes environnementaux, EPF Zurich

Membres du groupe de travail

« Mise en réseau des habitats et infrastructure écologique »

Jonas Ammann, Université de Berne ; Erica Baumann, Réseau des parcs suisses ; Silvia Berger, commune de Worb ; Christoph Bühler, Hintermann & Weber AG ; Nina Dajcar, canton de Schaffhouse ; Giulia Donati, Eawag ; Barbara Finkenbrink, ville de Baden ; Claude Fischer, HEPIA ; Manuel Fischer, Eawag ; Simone Fontana, canton de Saint-Gall ; Urs Gimmi, Conférence des délégués à la protection de la nature et du paysage (CDPNP) ; Jodok Guntern, SCNAT ; Nik Indermühle, ville de Berne ; Heidi Käch, canton de Thurgovie ; Daniela Keller, Fornat ; Roger Keller, Université de Zurich ; Noelle Klein, EPF Zurich ; Jonas Landolt, inatura ; Fridli Marti, Quadra GmbH ; Jacqueline Oehri, Quadra GmbH ; Ervan Rutishauser, info flora ; Jessica Salminen, BAT Avocats SA ; Benedikt Schmidt, info fauna karch ; Bernhard Wegscheider, Université de Berne et Eawag ; Ivo Widmer, Centre de compétence IE ; Rafael Wüest Karpati, canton de Zurich

Sources des images

Image de couverture : Panorama, vue sur le lac des Quatre-Cantons et Weggis depuis le Rigi, Suisse. Photo : Markus Thoenen, iStock

Résumé : vue aérienne des Alpes suisses, du col de la Fluela, de la rivière Susasca et d'une forêt de mélèzes. Photo : Sivue Steuber, iStock

Chapitre 1 : Grande Cariçaie – la plus grande zone humide de Suisse, située sur la rive sud-est du lac de Neuchâtel. Photo : David Taljat, iStock

Chapitre 2 : Le col de Maloja, en Suisse. Une route sinueuse à travers la forêt. Photo : Biletskiy Evgenly, iStock

Chapitre 3 : Détail d'un panneau d'avertissement « Attention, passage de grenouilles » dans la ville de Zurich par une journée nuageuse de printemps. Photo : Michael Derrer Fuchs, iStock

Remerciements

Nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui ont apporté leur contribution au groupe de travail. Nous remercions tout particulièrement Rolf Holderegger et André Stapfer. Nous remercions Jacqueline Annen et Bruno Auf der Maur pour la rédaction et la mise en page, ainsi que Jean-Laurent Pfund pour la traduction.

Suggestion de citation

Richman S, Camichel A, Lieberherr E, Pärli R, Widmer A, Ammann J, Baumann E, Berger S, Bühler C, Dajcar N, Donati G, Finkenbrink B, Fischer C, Fischer M, Fontana S, Gimmi U, Guntern J, Indermühle N, Käch H, Keller D, Keller R, Klein N, Landolt J, Marti F, Oehri J, Rutishauser E, Salminen J, Schmidt B, Wegscheider B, Widmer I, Wüest Karpati R, (2026) Mise en réseau fonctionnelle des habitats : une base de connaissances consolidée pour la Suisse » Centre de synthèse sur la biodiversité. doi.org/10.3929/ethz-c-000785325

Le Centre de synthèse sur la biodiversité – une initiative conjointe du WSL, de l'Eawag et de l'EPF Zurich, soutenue financièrement par le Conseil des EPF – renforce l'échange de connaissances entre la recherche et la pratique dans le domaine de la biodiversité et de la protection de la nature en élaborant des produits de synthèse axés sur la pratique au sein de groupes de travail communs.

© 2026 Centre de synthèse sur la biodiversité, sous licence CC BY 4.0.

Avant-propos

La diversité biologique, ou biodiversité, est essentielle au maintien des processus écologiques et économiques mondiaux. Parmi les avantages d'une biodiversité renforcée, on peut citer une meilleure fonctionnalité des écosystèmes, une plus grande capacité d'adaptation des populations naturelles et une meilleure résistance aux effets du changement climatique. Les écosystèmes dotés d'une grande biodiversité améliorent la santé et le bien-être des êtres humains.

Le Centre de synthèse sur la biodiversité (« Translational Centre Biodiversity Conservation », TCBC) est une initiative conjointe du Conseil des EPF qui soutient une gestion efficace et efficiente de la biodiversité en rassemblant et en rendant accessibles les connaissances pertinentes, jetant ainsi un pont entre la recherche et la pratique. Sur la base de contributions issues de la pratique, nous identifions les thèmes qui nécessitent une synthèse et coordonnons des groupes de travail d'experte et d'experts qui rassemblent les résultats de la recherche et les expériences pratiques sous forme de produits de synthèse : rapports, fiches d'information, guides de bonnes pratiques et systèmes d'apprentissage interactifs. Nous adoptons une approche participative et transdisciplinaire afin de promouvoir l'échange et la coopération.

Ce rapport a été rédigé par le groupe de travail « Mise en réseau des habitats et infrastructure écologique » du TCBC. Au cours d'une série d'ateliers, le groupe de travail s'est concentré à la fois sur les aspects écologiques et politiques des réseaux d'habitats. Les ateliers écologiques ont porté sur les principaux obstacles à la mise en réseau d'habitats en Suisse, sur les approches visant à surmonter ces obstacles et à améliorer les habitats, ainsi que sur l'aménagement du territoire et la modélisation. Les résultats ont été intégrés dans la rédaction du présent rapport et d'un deuxième rapport intitulé « Jeu de données et boîte à outils pour améliorer la mise en réseau des habitats ». La partie politique s'est concentrée sur l'intégration et la généralisation des politiques liées à la planification de l'infrastructure écologique au niveau cantonal. Deux documents ont déjà été rédigés au sujet de la partie politique : un rapport de synthèse intitulé « Aperçu d'aspects politiques pertinents pour une mise en œuvre intersectorielle de l'infrastructure écologique » et un document sur l'intégration intitulé « Mettre en œuvre l'infrastructure écologique : le rôle de la coordination intersectorielle ».

Rolf Holderegger

Rolf Holderegger

Directeur de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL

Responsable du centre de synthèse Biodiversité



Résumé

La Suisse est confrontée à une crise de la biodiversité qui ne cesse de s'aggraver. La fragmentation des habitats en particulier constitue une menace pour la biodiversité suisse. Elle limite la liberté de mouvement des organismes, isole les populations naturelles et, à terme, réduit leur taille, ce qui peut entraîner l'extinction d'espèces. L'amélioration de la connectivité des habitats est donc un objectif important de la pratique et de la politique suisses en matière de protection de la nature.

Comment améliorer la mise en réseau des habitats en Suisse ? D'une part, il est important de se faire une idée précise de l'ampleur du problème. Pour trouver des solutions appropriées, il faut comprendre l'impact de la fragmentation des habitats sur la biodiversité. Le présent rapport offre une base de connaissances consolidée qui sert de référence pour comprendre les conséquences écologiques de la fragmentation des habitats. D'autre part, il est très difficile de trier et de consolider les nombreuses informations et ressources qui décrivent les approches pratiques visant à améliorer la connectivité des habitats. C'est pourquoi nous avons élaboré une recommandation d'action qui résume les bonnes pratiques en matière de promotion de la mise en réseau des habitats en Suisse.

Nous utilisons un concept global de mise en réseau des habitats. D'une part, nous tenons compte à la fois de la disposition spatiale des fragments d'habitat dans le paysage et des structures de connexion naturelles ou créées par l'homme. D'autre part, nous prenons en considération la mesure dans laquelle les organismes peuvent se déplacer dans le paysage en fonction de leur comportement, de leur potentiel de dispersion et de leur tolérance face à un environnement modifié. Selon ce concept, un grand nombre d'activités humaines peuvent potentiellement influencer la mise en réseau des habitats. Nous avons tenu compte de cette diversité dans notre analyse.

Conclusions principales

- En Suisse, de nombreux habitats terrestres et aquatiques sont fragmentés par des barrières. Beaucoup d'espèces animales voient leur potentiel de déplacement restreint par ces barrières, ce qui isole de nombreuses populations. On observe également une augmentation de la mortalité, notamment due aux routes et à des changements du comportement migratoire des animaux. En outre, la structure des associations végétales a été modifiée par la fragmentation des habitats. Les habitats restants sont souvent dégradés.
- Il existe en Suisse de nombreux exemples de mise en réseau réussie des habitats auxquels on peut se référer. Des passages, des tunnels et des structures relais pour la faune sauvage ont été mis en place et leur efficacité a été démontrée. Des études approfondies ont été menées sur de nombreux thèmes, comme sur les « best practices », ou pratiques les plus prometteuses, dans les surfaces agricoles. Bien que ces études fournissent des informations utiles, leurs résultats sont souvent disparates et dépendants du contexte, ce qui rend nécessaire une analyse plus approfondie.
- Comme notre rapport rassemble des connaissances issues de la recherche et de la pratique, nous avons pu constater que ces deux sources diffèrent parfois par leur degré d'abstraction ainsi que par leur formulation des problèmes et des solutions. Cette divergence rend difficile l'adoption d'une perspective commune, alors qu'une coordination étroite entre la recherche et la pratique est indispensable à la conservation de la biodiversité et serait donc d'une grande utilité. En fait, les études les plus orientées vers l'action et la mise en œuvre dans ce rapport sont principalement issues de modèles de coproduction, c'est-à-dire de coopérations entre la pratique et la recherche. De telles approches peuvent véritablement servir de modèles. Elles favorisent une meilleure communication et renforcent des réseaux de collaboration sur des questions communes. Afin d'obtenir des recommandations aussi concrètes que possible pour la protection de la nature, la priorité devrait être donnée à la promotion de telles études conjointes, à l'amélioration de la communication et au renforcement de réseaux collaborant sur la résolution de questions communes questions partagées.

Groupe cible et objectifs du rapport

Le contenu de ce rapport peut être utile aux actrices et acteurs responsables de la planification et de la mise en œuvre de mesures visant à améliorer la mise en réseau des habitats. Il s'agit d'un groupe cible diversifié qui peut inclure des personnes travaillant dans des services de protection de la nature à différents niveaux de l'administration suisse, y compris au niveau fédéral. Néanmoins, nous partons du principe que ce sont les administrations cantonales ou communales qui en tireront le plus grand bénéfice. La mise en œuvre réussie de mesures visant à améliorer la connectivité des habitats nécessite généralement la coopération d'associations de protection de la nature, de bureaux spécialisés en écologie et de propriétaires fonciers. La recherche appliquée, souvent financée par les contribuables, est également importante pour la mise en œuvre réussie de mesures de mise en réseau des habitats. Nous partons donc du principe que tous ces groupes font également partie de notre public cible.

Les informations présentées dans ce rapport ont été compilées à partir de littérature scientifique et pratique. Elles proviennent d'articles scientifiques, de rapports et de fiches d'information publiés par des autorités et d'associations de protection de la nature, ainsi que de publications pour la pratique rédigées par des chercheurs et/ou des praticiens. Nous avons également fait appel à l'expertise du groupe de travail qui a contribué à la rédaction de ce rapport. Nous partons du principe que les lectrices et lecteurs de ce rapport pourront utiliser les informations qu'il contient de différentes manières. Il sert de référence à celles et ceux qui souhaitent avoir une vue d'ensemble du sujet. Les exemples présentés dans les tableaux peuvent contribuer à mobiliser des soutiens en faveur de mesures de protection de la nature, car ils fournissent des preuves des problèmes existants et mettent en évidence des solutions prometteuses. Nous avons répertorié des recommandations et des bonnes pratiques qui figuraient dans nos sources. Celles-ci ont été résumées dans un bref rapport dans le but de créer un point de départ pour de futures améliorations de la mise en réseau des habitats. Dans le cadre de la convention-programme 2020-2024, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a chargé les autorités cantonales d'élaborer une planification technique relative à l'infrastructure écologique (IE). L'amélioration de la mise en réseau des habitats représente un élément central de cette planification et de sa mise en œuvre. Bien que les directives concrètes et les processus politiques liés à l'IE dépassent le cadre du présent rapport, son contenu peut aider les autorités cantonales dans sa mise en œuvre.

Sommaire

RÉSUMÉ	4
1 Importance de la mise en réseau des habitats pour la biodiversité	7
2 Obstacles à la mise en réseau des habitats	9
3 Améliorations de la mise en réseau des habitats	13
4 Références	18



1 Importance de la mise en réseau des habitats pour la biodiversité

Certaines utilisations du territoire peuvent avoir des effets très négatifs sur un grand nombre d'êtres vivants. Elles rendent les milieux inhabitables ou créent des barrières infranchissables. Elles fragmentent ainsi les habitats continus en fragments plus petits et isolés. Ce processus limite non seulement le potentiel de déplacement des espèces dans le paysage, mais rend également les fragments restants plus vulnérables aux effets négatifs des perturbations (par exemple issues d'une pollution). Cela augmente le risque de mortalité des individus se déplaçant entre les fragments d'habitats ainsi que le risque d'extinction des populations (en raison de la petite taille des populations et d'une diversité génétique réduite). Compte tenu de la menace que représente la fragmentation des habitats pour la biodiversité, l'amélioration de leur connectivité représente un élément essentiel de la planification et de la mise en œuvre de mesures de promotion de la biodiversité en Suisse.

La mise en réseau signifie avant tout améliorer la quantité et la qualité des habitats disponibles afin d'obtenir un meilleur réseau de biotopes (plus dense). Il est souvent judicieux d'agencer ces surfaces supplémentaires de manière à créer un effet de corridor et à relier les habitats entre eux. Dans certaines situations, la mise en réseau est réalisée en supprimant des obstacles particuliers et en recréant une perméabilité pour les organismes. Le principal avantage de la mise en réseau est qu'elle améliore et augmente l'offre d'habitats disponibles pour les individus, les populations et les espèces.

Une meilleure mise en réseau des habitats rend les populations plus résistantes aux changements environnementaux, car elle permet de disposer d'une plus grande diversité génétique pour s'adapter[1]. Les habitats mis en réseau permettent aux individus de se déplacer dans le paysage pour trouver des ressources et des sites

de reproduction ou pour coloniser de nouvelles zones[2] . La possibilité de migrer réduit également le risque d'extinction dû à des événements extraordinaires, tels que des conditions météorologiques extrêmes ou une perte soudaine d'habitat, car les populations peuvent « fuir » vers des zones plus favorables ou recoloniser des zones où une extinction locale s'est produite[3] . La mise en réseau des habitats favorise également les interactions entre les espèces[4] . Il existe de nombreuses formes d'interdépendance entre espèces, par exemple comme source de nourriture dans les relations prédateur-proie ou à travers des interactions mutuellement bénéfiques, comme la pollinisation ou la dispersion de graines. Tous les facteurs susmentionnés contribuent au bon fonctionnement et à la résilience des écosystèmes.



2 Obstacles à la mise en réseau des habitats

Les obstacles à la mise en réseau des habitats sont variés, tant par leur nature que par leur ampleur. Ils vont de petites structures isolées, telles qu'une clôture entre deux champs ou un barrage sur un ruisseau, à des obstacles à l'échelle du paysage, tels qu'une ville en expansion ou des infrastructures de transport. Dans ce chapitre, nous décrivons les effets des principaux obstacles à la connectivité et à la qualité des habitats pour différents groupes d'organismes, y compris les effets indirects comme la dégradation des habitats. Il s'agit notamment d'obstacles localisables (les routes par exemple) ou d'obstacles diffus à grande échelle (par exemple les agglomérations ou l'agriculture intensive). Nous décrivons ensuite comment les barrières contribuent à la perte de biodiversité à plus grande échelle. Nous nous concentrons ici sur les barrières anthropiques. Les barrières naturelles à la connectivité des habitats tels que des obstacles naturels comme les montagnes et les rivières, ou la distance géographique entre les populations, ne sont pas abordées dans ce rapport.

Le tableau 1 énumère les barrières critiques entre les habitats en Suisse, explique comment elles contribuent à la perte de biodiversité et fournit des exemples tirés de la littérature scientifique et pratique. La liste des barrières n'est pas exhaustive mais reflète celles qui ont été identifiées par les experts et expertes comme prioritaires pour la conservation de la nature en Suisse. En plus de ces informations, les points clés suivants peuvent être retenus :

1. Effets négatifs en cascade des barrières. Les barrières entravent non seulement les déplacements, mais contribuent également directement à la mortalité, aux changements de comportement et à l'augmentation des hormones de stress des animaux sauvages. Elles dégradent la qualité de l'habitat et modifient les réseaux trophiques. La restauration de la connectivité des habitats a donc de nombreux effets positifs supplémentaires.

2. Différenciation de l'étendue spatiale des barrières. Les informations présentées suggèrent de distinguer les barrières au niveau spatial. D'une part, l'influence des barrières locales isolées (telles qu'une route isolée) devrait être minimisée, d'autre part, les effets à grande échelle des infrastructures étendues (telles qu'un réseau autoroutier) devraient être pris en compte. Cette différenciation reflète le fait que certaines barrières sont localisées géographiquement et ponctuelles, tandis que d'autres sont plus diffuses et réparties sur de vastes zones. Si les deux contribuent à la fragmentation et à la dégradation des habitats, elles diffèrent toutefois en termes d'ampleur et de faisabilité des solutions. Pour être efficace, la protection de la nature nécessite une planification stratégique aussi complète que possible et une coopération entre plusieurs secteurs politiques afin de lutter contre les effets en cascade et systémiques des barrières à grande échelle. De plus amples informations sur les questions d'intégration intersectorielle sont disponibles dans un rapport séparé du Centre de synthèse sur la biodiversité : « Aperçu d'aspects politiques pertinents pour une mise en œuvre intersectorielle de l'infrastructure écologique »[5].

3. Effets invisibles ou différés des barrières. Les conséquences des barrières sur la connectivité des habitats sont parfois faciles à identifier, par exemple en fonction des animaux écrasés sur les routes ou du débit insuffisant d'un barrage ou d'un déversoir. Mais la fragmentation a aussi d'autres effets moins évidents ou différés, comme les effets négatifs de la propagation des pesticides ou les réactions évolutives à la pollution lumineuse (tableau 1). Les effets de la fragmentation peuvent donc évoluer et s'accumuler au fil du temps. Cela conduit au phénomène dit de « dette d'extinction », dans lequel l'extinction de populations ou d'espèces ne survient qu'avec un certain retard après la destruction ou la fragmentation effective de leur habitat.

Tableau 1. Résumé des connaissances sur la manière dont les barrières nuisent à la connectivité des habitats et contribuent à leur dégradation et à la perte de biodiversité. Les barrières sont distinguées en catégories principales, chacune étant associée à un ou plusieurs types de risques pour les organismes ou les habitats. Les exemples proviennent, dans la mesure du possible, d'études menées en Suisse. Les effets finaux concernent aussi bien les organismes (p. ex. restrictions de mouvement, mortalité directe) que les habitats (p. ex. diminution de la qualité de l'habitat, contamination).

Catégories de barrières	Types de risques	Exemples	Impacts finaux	Sources
Chemins de fer et routes	Perturbation	Les défrichements fragmentent les paysages, compactent le sol et éliminent la végétation.	Dégradation de la qualité de l'habitat, restriction du potentiel de déplacement	[6]
	Perte d'habitats	Les chemins de fer et les routes rendent au moins 2,38 % du paysage suisse inhabitable pour la plupart des espèces. Ce chiffre est probablement encore plus élevé aujourd'hui en raison de l'extension des infrastructures de transport.	Réduction de la superficie des habitats, déclin potentiel des populations	[7]
	Pollution chimique	Les émissions et le lessivage des minéraux provenant des véhicules et des trains, ainsi que l'abrasion des pneus et des freins, y compris les microplastiques, se répandent dans les écosystèmes. Des quantités élevées de fer, de cuivre et de zinc ont été détectées dans les émissions des freins, des rails et des roues des engins CFF. Les effets de bord jouent ici un rôle, car les concentrations de ces émissions chimiques sont généralement les plus élevées le long des routes et des voies ferrées.	Contamination de l'écosystème, toxicité potentielle pour les espèces	[6], [8], [9]
	Barrière physique à la connectivité, risque de mortalité par collision	Les routes et les voies ferrées constituent des barrières physiques, en particulier pour les petits animaux terrestres lents, tels que les hérissons ou les amphibiens qui peuvent être tués par collision.	Potential de déplacement réduit, mortalité directe, connectivité réduite des populations	[6]
		En raison de leur plus grande largeur et du trafic constant, les routes présentent un risque de mortalité encore plus élevé lors de la traversée que les voies ferrées.	Mortalité directe, liberté de mouvement restreinte	[10]
Risque de mortalité par électrocution	Les lignes électriques au-dessus des voies ferrées, des téléphériques, etc. constituent un danger pour les rapaces, en particulier les hiboux.	Mortalité directe, déclin des populations	[11]	

Catégories de barrières	Types de risques	Exemples	Impacts finaux	Sources
Chemins de fer et routes	Évitement comportemental	Les animaux évitent les routes très fréquentées et limitent leurs déplacements à des habitats plus petits.	Liberté de mouvement restreinte, accès limité aux ressources, isolement de l'habitat	[12], [13]
	Fragmentation de l'habitat, isolement génétique	Les autoroutes suisses fragmentent considérablement les habitats et nuisent de manière disproportionnée au flux génétique des chevreuils par rapport aux voies ferrées ou aux cours d'eau. Les routes réduisent également la diversité génétique chez les petits animaux tels que les carabes et les campagnols.	Isolation des populations, flux génétique réduit, diversité génétique réduite	[14], [15]
	Pollution de l'eau, modification thermique	Le ruissellement des eaux de surface des routes entraîne des polluants dans les habitats. Les températures de surface plus élevées des routes réchauffent les cours d'eau et nuisent à la survie et à la reproduction des truites fario.	Contamination de l'écosystème, modification des conditions aquatiques, diminution du taux de reproduction	[16], [17]
Barrages et digues	Fragmentation des habitats	Les barrages et les digues limitent le débit de l'eau et bloquent les voies migratoires des poissons vers les zones de frai.	Baisse du taux de reproduction, déclin des populations	[18]
		Les échelles à poissons installées sur les barrages peuvent s'avérer inefficaces pour de nombreuses espèces de poissons si elles ne sont conçues que pour des salmonidés plus robustes. Les canalisations modifient les habitats de reproduction des insectes aquatiques en supprimant les substrats appropriés pour la ponte (par exemple les gros rochers).	Réduction du taux de reproduction, modification de la composition des espèces, dégradation des zones de reproduction	[19], [20]
	Isolement génétique	Les populations de tamaris d'Allemagne présentent par exemple un isolement génétique observé entre les deux côtés de barrages.	Réduction du flux génétique, isolement des populations, diminution de la diversité génétique	[21]
	Dégradation de l'habitat, perturbation du réseau trophique	Les ouvrages dégradent la qualité et réduisent la superficie des habitats riverains, ce qui nuit aux oiseaux et aux mammifères qui dépendent des plantes, des poissons, des amphibiens et des insectes aquatiques comme source de nourriture.	Réduction de la disponibilité en nourriture, perturbation de l'écosystème	[22]
Clôtures	Barrière physique, restriction des mouvements	Les clôtures entravent la mobilité d'espèces non ciblées, ce qui conduit à l'isolement des populations et à la perte de possibilités d'accouplement.	Isolation des populations, diminution du taux de reproduction	[23]
	Changement de comportement	Les loups creusent davantage près des clôtures afin de pouvoir passer en dessous.	Changement de comportement, augmentation de la dépense énergétique, risques de blessures	[24]
	Fragmentation de l'habitat, isolement génétique	Les clôtures infranchissables des autoroutes, destinées à protéger les animaux, peuvent bloquer complètement leur dispersion et entraîner une restriction du flux génétique chez les chevreuils et les amphibiens.	Liberté de mouvement réduite, flux génétique réduit, isolement des populations	[14]
Bâtiments et développement urbain	Perte d'habitat, perturbations	Les nouvelles constructions s'accompagnent de défrichement, d'imperméabilisation des sols et de nuisances sonores/poussières. Les zones proches des bâtiments sont souvent colonisées et perturbées par des espèces exotiques.	Réduction de la superficie de l'habitat, dégradation de l'habitat, augmentation de la présence d'espèces envahissantes	[25]
	Modification de l'habitat	Les alentours des bâtiments peuvent présenter une grande biodiversité. Cependant, les espèces concernées fournissent souvent des indices de perturbations de l'habitat (c'est-à-dire des espèces pionnières).	Modification de la composition des espèces, évolution vers des espèces tolérantes aux perturbations	[26]
	Fragmentation de l'habitat	Le développement urbain à travers les bâtiments, les clôtures, la pollution lumineuse/sonore, les routes et les voies ferrées, contribue à la fragmentation de l'habitat.	Isolation accrue des habitats, connectivité réduite, modification des schémas de déplacement	[27]
	Homogénéisation génétique	L'urbanisation contribue à l'homogénéisation génétique de la piéride du chou, ce qui favorise certes l'extension de son aire de répartition, mais réduit sa diversité génétique.	Réduction de la diversité génétique des populations	[28]
	Modification des processus des écosystèmes	La couverture des sols et les remblais dans les zones urbaines rendent les sols et les zones humides imperméables. Cela réduit l'espace vital, perturbe le cycle de l'eau et les échanges gazeux et contribue à l'effet d'îlot de chaleur urbain. La perturbation des sols dans les jardins urbains nuit au processus de décomposition des feuilles mortes.	Perte d'habitat, perturbation des cycles de l'eau, modification des échanges gazeux, réduction du processus de décomposition des feuilles mortes	[29], [30], [31]

Catégories de barrières	Types de risques	Exemples	Impacts finaux	Sources
Pollution lumineuse	Perturbations sensorielles	La lumière artificielle perturbe le rythme circadien, l'équilibre hormonal et la migration des organismes.	Perturbation des processus biologiques, modification du comportement, altération de l'orientation	[32], [33], [34]
	Évitement des habitats	Les engoulevents quittent leurs lieux de reproduction lorsque la pollution lumineuse augmente, indépendamment de la fréquence des prises.	Diminution du taux de reproduction, abandon de l'habitat, déplacement des populations	[35]
	Piège écologique, équilibre d'effets	Les populations de papillons de nuit urbains enregistrent un meilleur taux de survie et de reproduction, mais au détriment d'une recherche de nourriture et d'une colonisation moins efficaces, ce qui suggère une antagonisme des effets.	Efficacité réduite dans la recherche de nourriture	[36]
	Effets différenciés selon les espèces	Certaines espèces de chauves-souris profitent d'une lumière plus vive qui attire les insectes dont elles se nourrissent, tandis que les espèces plus rares ou craignant la lumière en souffrent.	Modification de la composition des espèces, modification des interactions trophiques, réduction de la biodiversité	[37]
Utilisation intensive des terres	Pollution chimique, eutrophisation	Le ruissellement et l'infiltration d'engrais, de produits phytosanitaires et d'autres polluants dans les eaux et les habitats terrestres entraînent une eutrophisation et une pollution chimique. En 2020, l'agriculture a contribué à environ la moitié des apports d'azote et à un quart des apports de phosphore dans les eaux suisses.	Pollution de l'eau, déclin des populations, modification de la composition des espèces, déséquilibre de l'écosystème (eutrophisation)	[38], [39]
	Contamination des sols	Des analyses de sol ont révélé une propagation inattendue et durable de pesticides systémiques qui se sont déplacés en dehors des zones ciblées. Par exemple, des concentrations élevées d'atrazine ont été détectées dans les sols d'exploitations biologiques.	Dégradation des sols, réduction de la biodiversité microbienne dans le sol, propagation de produits chimiques en dehors des zones ciblées	[40]
	Mortalité directe, perturbations de la reproduction	La fauche précoce a un impact négatif sur le succès reproducteur des oiseaux nichant au sol, tels que le tarier des prés, ainsi que sur la biodiversité et la densité des invertébrés. Une fauche précoce et répétée entraîne une mortalité accrue des levrauts.	Réduction du succès reproducteur, déclin des populations	[41], [42]
	Perte d'habitat, dégradation des sols	Une comparaison entre les systèmes de monocultures et de cultures associées dans les zones de plaine a révélé un état de l'habitat moins favorable dans les monocultures et un nombre accru d'espèces bactériennes utiles dans les systèmes de cultures associées.	Réduction de la diversité des habitats, augmentation de l'érosion des sols, dégradation de la santé des sols	[43]
	Dégradation de l'habitat	Le nivellement du sol pour les domaines skiables accentue son réchauffement et le dépôt de nutriments, accélère le dégel du pergélisol et entraîne une diminution de la densité de la végétation et de la biodiversité sur les versants.	Perte de biodiversité, modification des conditions hydrologiques (dégel du pergélisol)	[44]
Tourisme et loisirs	Dégradation des habitats, pollution	La navigation de plaisance, la pêche et la baignade dans les lacs et les cours d'eau augmentent les perturbations et la pollution.	Pollution de l'eau, nuisances sonores, modification des écosystèmes aquatiques, propagation d'espèces exotiques nuisibles	[45]
	Changements de comportement, conflits entre l'homme et la faune sauvage	Le ski de randonnée et les sorties en raquettes peuvent entraîner des antagonismes entre l'homme et la faune sauvage. La randonnée et le VTT (hors des sentiers) provoquent l'érosion des sols, des perturbations et de la pollution. Les activités de vol libre telles que le parapente peuvent causer des perturbations et avoir des effets négatifs sur la faune sauvage.	Stress accru pour la faune sauvage, modification du comportement, augmentation potentielle de la mortalité, évitement des zones touchées	[45], [46], [47]
	Déclin des populations	La pression touristique a entraîné le déclin des populations d'edelweiss.	Disparition des populations locales, perte d'espèces rares	[48]



3 Amélioration de la mise en réseau des habitats

Les solutions proposées sont aussi variées que les obstacles décrits au chapitre 2. Il suffit parfois d'ajouter des passages supérieurs, des tunnels, des étangs ou d'autres structures relais au paysage pour relier entre eux des fragments d'habitats. Mais dans certains cas, des projets de mise en œuvre plus importants et systémiques, tels que par la revitalisation des cours d'eau ou des initiatives en faveur de la biodiversité urbaine, sont également nécessaires. Dans le tableau 2, nous résumons une série de stratégies permettant de favoriser la mise en réseau, directement par la suppression des obstacles ou indirectement par la valorisation des habitats. En nous concentrant sur la Suisse, nous donnons des exemples d'approches mises en œuvre avec succès. D'un point de vue pratique, il est important de distinguer les solutions proposées qui sont étayées par des données scientifiques, c'est-à-dire celles qui ont déjà été mises en œuvre et ont donné des résultats positifs. Nous avons recherché dans la littérature des exemples de mesures efficaces visant à améliorer la mise en réseau des habitats et rapportons ici les approches suivies dans ces études. Cependant, il n'existe pas toujours de solutions « prêtes à l'emploi » pour rétablir avec succès la connectivité. C'est pourquoi nous présentons ci-dessous un aperçu des stratégies de mise en œuvre efficaces, qui ne se prétend cependant pas exhaustif. Lorsque des recommandations concrètes étaient disponibles, nous les avons incluses dans notre résumé. Nous avons en outre tenu compte des points suivants :

1. La valeur d'habitats de moindre importance ou peu naturels. Une connectivité élevée des habitats est également rendue possible par de petits éléments tels que des structures relais et des habitats peu proches de la nature, tels que des ponts ferroviaires désaffectés. Ces éléments peuvent exister au sein d'une structure d'habitats peu naturels tout en offrant des connexions importantes entre les habitats. L'intégration de ces éléments dans les stratégies de conservation de la nature peut améliorer la perméabilité du paysage.

2. L'entretien et le contrôle des résultats sont d'une importance capitale. Une fois que des améliorations ont été apportées à la mise en réseau des habitats, celles-ci doivent être suivies et entretenues de manière ciblée. Par exemple, la plantation de fleurs sauvages sur les terre-pleins centraux des routes améliore l'habitat des pollinisateurs, mais ces terre-pleins doivent être régulièrement contrôlés et débarrassés des espèces indésirables (envahissantes). Les praticiennes et praticiens doivent donc envisager les mesures d'un projet sur le long terme, c'est-à-dire au-delà de leur installation.

3. L'importance de la coproduction et du transfert de connaissances. Plus les recommandations de mise en œuvre sont précises et spécifiques, plus la probabilité de réussite d'un projet est élevée. Nous avons rassemblé plusieurs études de cas dans lesquelles des recommandations de mise en œuvre spécifiques ont été formulées, par exemple les dimensions qu'un tunnel pour amphibiens devrait avoir afin qu'une grande partie des animaux puisse l'utiliser avec succès. La combinaison des connaissances pratiques des expertes et experts et des connaissances issues de la recherche est susceptible de déboucher sur de meilleures recommandations.

Tableau 2. Aperçu des approches visant à améliorer la connectivité des habitats. Les objectifs se rapportent aux risques présentés dans le tableau 1. La liste comprend une sélection de bonnes pratiques issues de la littérature scientifique et pratique. Les approches énumérées améliorent la mise en réseau des habitats à la fois directement, en supprimant les obstacles, et indirectement, en améliorant les habitats. Les détails de la mise en œuvre sont indiqués aussi précisément que possible. Les exemples proviennent principalement de Suisse.

Approche	Objectif	Pratiques éprouvées	Exemples	Sources
Structures relais et petites structures naturelles : création et/ou préservation de parcelles d'habitat (structures relais) dispersées entre des zones où la qualité de l'habitat est généralement médiocre	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de l'isolement des habitats et compensation de la perte d'habitat par la création de structures relais Amélioration de la liberté de mouvement, de la dispersion et de la viabilité générale des espèces dans les paysages fragmentés 	<ul style="list-style-type: none"> La taille et la distance des structures relais doivent être déterminées en fonction de la mobilité et du potentiel de dispersion des espèces cibles. Une étude sur les amphibiens recommande que les étangs utilisés comme structures relais aient une superficie d'au moins 100 m², soient situés en terrain découvert et ne soient pas distants de plus de 0,5 km les uns des autres Les étangs pour amphibiens doivent être aménagés dans un rayon de 150 m autour des sites colonisés, dans des zones ensoleillées et avec un fond de sable/gravier ou de boue/argile Utilisation d'outils et de cadres de planification (par exemple MulTyLink) pour déterminer la taille et la distance optimales. Des approches basées sur l'habitat doivent être envisagées lorsqu'aucune donnée n'est disponible sur les déplacements des espèces. Les structures relais doivent être reliées par des éléments linéaires tels que des haies ou des fossés afin de créer des corridors continus. 	La construction d'étangs dans le canton d'Argovie a eu des effets positifs sur les populations de dix espèces d'amphibiens. Les haies, les bandes fleuries et les cultures de couverture dans les zones agricoles constituent des relais importants entre les habitats.	[49], [50], [51], [52], [53], [54], [55]
Passages à faune : corridors faunistiques construits au-dessus des autoroutes et couverts de végétation indigène.	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des barrières physiques et diminution des comportements d'évitement Réduction de la mortalité directe Amélioration des possibilités de déplacement 	<ul style="list-style-type: none"> Un entretien adéquat est essentiel Lors de la planification des corridors, il convient de considérer le projet « Réseau écologique national (REN) » afin que les nouveaux projets puissent être intégrés de manière stratégique dans le réseau existant Une largeur suffisante et un sol naturel garantissent une utilisation par un grand nombre d'espèces, y compris celles qui sont moins mobiles. La largeur idéale varie entre 40 et > 100 m selon l'espèce ou les espèces cibles Pour les longues routes, il est recommandé de construire des passages à une distance de 1 à 2 km les uns des autres Il convient de veiller à la présence de divers habitats avec des microstructures afin d'encourager leur utilisation par différentes espèces (en particulier les plus petites). Des dispositifs de guidage devraient être installés afin de faciliter l'utilisation des passages à faune par les animaux. 	Dans quatre régions du Plateau suisse (Winterthour, Préalpes, Berne, Lucerne), une amélioration du flux génétique a été observée chez les populations de chevreuils à proximité de passages à faune intacts. À Bâle-Ville, une communauté diversifiée de petits mammifères, de reptiles, d'amphibiens et d'invertébrés a été observée sur un pont ferroviaire désaffecté (aujourd'hui transformé en passage à faune).	[56], [57], [58], [59]

Approche	Objectif	Pratiques éprouvées	Exemples	Sources
Passages souterrains et tunnels : infrastructures permettant aux petits animaux terrestres de franchir des obstacles tels que les routes	<ul style="list-style-type: none"> Facilitation des processus naturels de déplacement et de comportement Réduction de la mortalité directe due au trafic Protection pendant la migration saisonnière 	<ul style="list-style-type: none"> Des murs de séparation et des systèmes de guidage sont indispensables pour que les animaux puissent trouver et utiliser efficacement les passages souterrains et les tunnels Le sol des passages souterrains et des tunnels doit être constitué de terre végétale et non de béton Les passages souterrains pour la faune sauvage doivent avoir une largeur minimale de 5 m et une hauteur de 3 à 4 m, les animaux de plus grande taille pouvant nécessiter des largeurs allant jusqu'à 20 m Les recommandations relatives à la conception des tunnels pour amphibiens sont basées sur les normes en vigueur de la VSS (Association suisse des professionnels de la route et des transports). Celles-ci prévoient que les tunnels doivent avoir une hauteur et une largeur d'au moins 1 m (ou plus pour les passages plus larges) et être espacés de 50 m les uns des autres Des mesures d'entretien régulières sont nécessaires pour éviter l'accumulation de feuilles mortes et d'autres dépôts. Les conditions d'éclairage doivent être prises en compte, car certaines espèces évitent les passages sombres Pour les espèces aquatiques, il faut veiller à ce que l'eau s'écoule en continu et à ce qu'il y ait un substrat approprié. 	Une étude de suivi (sur les grenouilles rousses et les crapauds communs) rapporte que 80 % des animaux ont pu traverser avec succès les tunnels pour amphibiens lorsque la largeur était de 1 m, la longueur < 10 m (crapaud commun) et la distance entre les tunnels d'environ 30 m.	[59], [60], [61], [62], [63], [64], [65]
Renaturation le long des voies ferrées et des routes : mise en œuvre de mesures visant à accroître la biodiversité dans les zones situées à proximité des routes et des voies ferrées et gestion des flux de circulation	<ul style="list-style-type: none"> Mise en réseau le long des routes ou des voies ferrées Réduction des effets négatifs des infrastructures de transport grâce à l'amélioration de la qualité des habitats Réduction des produits chimiques et d'eau Amélioration de la perméabilité des habitats 	<ul style="list-style-type: none"> Entretien/restauration des talus afin d'améliorer la qualité de la végétation et de limiter les néophytes Plantation ciblée d'espèces indigènes comme espaces de nidification et sources de nourriture pour les communautés d'insectes Transformation des routes en béton en chemins de terre afin de désimpermeabiliser le sol et de restaurer les communautés végétales rudérales Gestion du trafic par la réduction des limitations de vitesse ou l'interdiction de circuler à des moments critiques pour les espèces cibles Surveillance et entretien réguliers des zones renaturées 	Augmentation de la biodiversité des papillons et des abeilles le long des voies ferrées en Pologne grâce à la présence d'espèces végétales herbacées à fleurs. Une étude sur les accidents impliquant des animaux sauvages en Norvège a révélé que le nombre de collisions à des vitesses de 60 et 80 km/h était respectivement 1,9 et 2,6 fois plus élevé qu'à 50 km/h.	[30], [66], [67], [68], [69]
Revitalisation des rivières et des zones riveraines : amélioration des habitats dans les cours d'eau et dans les zones de berges	<ul style="list-style-type: none"> Restauration de la connectivité longitudinale et transversale des réseaux de cours d'eau Amélioration du taux de reproduction des espèces dans les cours d'eau Amélioration du flux génétique Augmentation de la nourriture pour les espèces aquatiques et riveraines Réduction de la pollution de l'eau et des changements thermiques Exploitation des synergies entre les différents intérêts liés aux services écosystémiques 	<ul style="list-style-type: none"> Élimination des barrières artificielles (barrages, seuils, déversoirs) dans les cours d'eau (connectivité longitudinale) Élimination des barrières le long des berges (connectivité transversale) Pesée des intérêts entre les avantages écologiques et les services écosystémiques nécessaires (par exemple la protection contre les crues) fournis par les barrières Réintroduction de la végétation ripicole naturelle pour stabiliser les berges, fournir de l'ombre et augmenter la complexité des habitats Mise en œuvre de solutions proches de la nature de gestion des crues par la restauration de la dynamique fluviale naturelle et la création d'habitats diversifiés 	La suppression des renforcements des berges pour compenser la canalisation de la Thur a permis d'augmenter le débit et d'améliorer l'habitat. La renaturation du Perrengraben dans le canton de Fribourg a intégré bio-ingénierie, réaménagement du lit de la rivière, protection contre les crues, création d'habitats, aménagement de zones riveraines et amélioration de la qualité de l'eau.	[18], [70], [71], [72]

Approche	Objectif	Pratiques éprouvées	Exemples	Sources
Biodiversité urbaine : mesures visant à accroître la biodiversité dans les villes et les zones urbaines	<ul style="list-style-type: none"> Lutter contre la perte, la fragmentation et la dégradation des habitats urbains Améliorer la liberté de mouvement des espèces Réduire les facteurs de stress liés à l'urbanisation Augmenter la superficie des habitats Soutenir les processus biologiques naturels Exploiter les synergies entre les différents intérêts liés aux services écosystémiques 	<ul style="list-style-type: none"> Création d'habitats urbains diversifiés et de structures relais telles que des étangs, des nichoirs, des forêts urbaines, des arbres ou des espaces verts proches de la nature Végétalisation avec des espèces indigènes Végétalisation des toits Intégration de la promotion de la biodiversité dans les zones de loisirs telles que les parcs et les jardins Création de corridors et de trames vertes au sein des villes afin de relier entre eux les espaces verts isolés L'entretien régulier, par exemple l'élimination des néophytes, favorise indirectement la mise en réseau des habitats en améliorant leur qualité 	La diversité des oiseaux à Zurich, Lucerne et Lugano est corrélée à la diversité structurelle de la végétation et la proportion d'arbres. Les toits végétalisés présentent une grande diversité d'espèces d'oiseaux, d'escargots et d'arthropodes. Une meilleure acceptation envers un urbanisme favorable à la biodiversité a été observée parmi les visiteurs des parcs urbains de Genève. Dans le canton de Thurgovie, le programme « Vorteil Naturnah » collabore avec les communes pour créer des habitats urbains, en soulignant le double avantage offert aux citadines et citadins.	[73], [74], [75], [76]
Biodiversité urbaine : les mesures visant à réduire la pollution lumineuse artificielle nocturne favorisent indirectement la mise en réseau des habitats en améliorant leur qualité.	<ul style="list-style-type: none"> Protection contre la désorientation et les changements de comportement chez les animaux nocturnes Préservation des rythmes circadiens naturels et réduction des facteurs de stress hormonaux Amélioration de la liberté de mouvement et de la recherche de nourriture des espèces Réduction des collisions et de la mortalité 	<ul style="list-style-type: none"> Installation d'abat-jours qui dirigent toute la lumière vers le bas Remplacement des sources lumineuses à haute intensité et à lumière blanche froide (riche en bleu) par des LED à température de couleur plus chaude (par exemple, moins de 3000 kelvins). Mise en place de systèmes d'éclairage adaptatifs permettant de tamiser ou d'éteindre la lumière lorsqu'elle n'est pas nécessaire (par exemple détecteurs de mouvement, minuteries) Promotion ou mise en œuvre de campagnes telles que « Licht aus » pour les bâtiments, en particulier les bâtiments de grande hauteur. Cela comprend l'extinction de l'éclairage intérieur et extérieur non nécessaire pendant la nuit Délimitation d'aires protégées « Dark Sky » dans lesquelles la lumière artificielle est strictement contrôlée ou interdite Création de couloirs sombres ou de structures relais entre les zones naturelles afin de permettre à la faune nocturne de se mouvoir en toute sécurité 	Les services municipaux de Saint-Gall ont installé un système d'éclairage LED intelligent sur les routes secondaires. L'éclairage s'allume lorsque des personnes se trouvent à proximité en voiture, à vélo ou à pied, puis s'éteint après leur passage.	[33], [77], [78]
Amélioration des pâturages et des terres cultivées : gestion des pâturages et des terres cultivées dans un but de promotion de la biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> Inversion de la dégradation des habitats Réduction de la pollution chimique et de l'eutrophisation Réduction de la mortalité directe et des troubles de la reproduction dus à une agriculture intensive Amélioration de la santé des sols 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de la densité du bétail ou utilisation de pâturages tournants/mixtes (extensification) Nouvelles formes d'exploitation (p. ex. pâturages axés sur la protection de la nature ou « rewilding ») Réduction des surfaces de fauche simultanée à l'échelle d'une région (fauchage échelonné) et respect d'intervalles suffisants entre les fauches Définition de surfaces spécialement destinées à la qualité/mise en réseau des habitats ou exploitation extensive, par exemple en créant des surfaces de promotion de la biodiversité (SPB). L'intégration des SPB (en particulier celles de niveau de qualité II) dans des projets de mise en réseau est particulièrement efficace Création de nouvelles prairies et pâturages présentant une biodiversité accrue Encourager les petites exploitations agricoles à productions mixtes Réduire l'utilisation de pesticides et d'herbicides afin de protéger les espèces non ciblées 	Agroscope rapporte que les surfaces SPB présentent une biodiversité plus élevée que les surfaces non SPB, en particulier les surfaces de qualité II et les projets de mise en réseau. Il existe une corrélation positive entre la diversité des oiseaux et l'énergie alimentaire produite dans les exploitations agricoles du Plateau suisse. Les premières indications montrent qu'une culture précédente augmente la diversité florale dans les champs.	[79], [80], [81], [82], [83]

<i>Approche</i>	<i>Objectif</i>	<i>Pratiques éprouvées</i>	<i>Exemples</i>	<i>Sources</i>
Habitats et tourisme : promotion de pratiques favorables à la biodiversité pour les touristes et les habitantes et habitant	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des perturbations et de la dégradation des habitats • Réduction des antagonismes entre l'homme et la faune sauvage • Réduction des risques pour la santé et la mortalité liés aux déchets et à la pollution • Promotion d'un comportement responsable pour l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de réglementations sur les heures de visite autorisées dans les zones sensibles ; introduction de restrictions de visite si nécessaire • Création de sentiers de randonnée et de zones de visite délimités, interdiction des activités en dehors des sentiers • Mettre en place des systèmes performants d'élimination et de collecte des déchets dans les zones touristiques • Élaboration et diffusion de supports d'information destinés aux visiteurs sur les pratiques respectueuses de la biodiversité et les comportements responsables dans les environnements naturels 	L'intégration des principes de renaturation écologique, de gestion basée sur la nature et de protection des écosystèmes devrait avoir un effet positif indirect sur la mise en réseau des habitats et favoriser le renforcement des compétences parmi les actrices et acteurs du secteur touristique.	[84]
Amélioration des forêts : mise en œuvre de pratiques de gestion forestière favorisant la biodiversité	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la biodiversité et de la mise en réseau en forêt grâce à l'amélioration de la qualité des habitats • Lutte contre la destruction d'habitats (par exemple par des drainages ou des installations touristiques) • Réduction de la fragmentation des massifs forestiers 	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir la présence de bois mort (20 à 25 m³/ha recommandés), de vieux peuplements et d'une diversité structurelle de diverses essences • Renoncer au drainage progressif des forêts (remise en eau des forêts) • Encourager la régénération naturelle et empêcher les monocultures afin d'accroître la biodiversité • Dans les réserves forestières où des interventions sont autorisées, les zones forestières fragmentées devraient être reliées entre elles par du reboisement ou la création de structures relais 	La gamme des pratiques de gestion forestière favorables à la biodiversité est décrite dans le livre « How to balance forestry and biodiversity conservation ». Les chapitres B et C sont les plus pertinents pour les praticiennes et praticiens.	[85], [86], [87], [88], [89]

4 Références

1. Baguette M, Blanchet S, Legrand D, Stevens VM, Turlure C (2013) Individual dispersal, landscape connectivity and ecological networks. *Biol. Rev.* 88, 2: 310–326. doi.org/10.1111/brv.12000
2. Taylor PD, Fahrig L, With KA (2006) Landscape connectivity: a return to the basics. in *Connectivity Conservation*, 1st ed., Crooks K. R, Sanjayan M, Eds., Cambridge University Press. doi.org/10.1017/CBO9780511754821.003
3. Hanski I (1999) Habitat Connectivity, Habitat Continuity, and Metapopulations in Dynamic Landscapes. *Oikos* 87, 2: 209. doi.org/10.2307/3546736
4. Wood SLR, Martins KT, Dumais-Lalonde V, Tanguy O, Maure F, St-Denis A, u. a. (2022) Missing Interactions: The Current State of Multispecies Connectivity Analysis. *Front. Ecol. Ebd.* 10: 830822. doi.org/10.3389/fevo.2022.830822
5. Camichel A, Richman S, Pärli R, Widmer A, Ammann J, Baumann E, u. a. (2025) Ökologische Infrastruktur umsetzen: die Rolle der sektorübergreifenden Koordination. Synthesezentrum Biodiversität. doi.org/10.3929/ethz-c-000783037
6. Oggier P, Righetti A, Bonnard L (2007) Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrsinfrastrukturen COST 341. Umwelt-Wissen Nr. 0714, Ausgabe 2. Bundesamt für Umwelt; Bundesamt für Raumentwicklung; Bundesamt für Verkehr; Bundesamt für Strassen.
7. Bundesamt für Statistik (BFS) (2024) Land use statistics. Abgerufen: dam-api.bfs.admin.ch/hub/api/dam/assets/30245484/master
8. Burkhardt M, Rossi L, Boller M (2008), Diffuse release of environmental hazards by railways. *Desalin.* 226, 1–3: 106–113. doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.102
9. Gieré R, Dietze V (2022) Tire-Abrasion Particles in the Environment. in *Advances in Polymer Science*, Springer International Publishing, Cham: 71–101. doi.org/10.1007/12_2022_118
10. Coffin AW (2007), From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *J. Transport Geogr.* 15, 5: 396–406. doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006
11. Herzog S (2019) Raptor and Owl Conservation in Switzerland: Strategic Guidelines and Management Priorities. Swiss Focal Point of the Raptors MoU. Abgerufen: cms.int/raptors/sites/default/files/document/Raptor%20and%20Owl%20Conservation%20in%20Switzerland%20-%20Strategic%20Guidelines%20and%20Management%20Priorities%20-%2012%20July%202019.pdf
12. Roedenbeck IA, Voser P (2008) Effects of roads on spatial distribution, abundance and mortality of brown hare (*Lepus europaeus*) in Switzerland. *Eur. J. Wildl. Res.* 54, 3: 425–437. doi.org/10.1007/s10344-007-0166-3
13. Jacobson SL, Bliss-Ketchum LL, De Rivera CE, Smith WP (2016) A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. *Ecosphere* 7, 4: e01345. doi.org/10.1002/ecs2.1345
14. Hepenstrick D, Thiel D, Holderegger R, Gugerli F (2012) Genetic discontinuities in roe deer (*Capreolus capreolus*) coincide with fenced transportation infrastructure. *Basic appl. Ecol.* 13, 7: 631–638. doi.org/10.1016/j.baae.2012.08.009
15. Holderegger R, Di Giulio M (2010) The genetic effects of roads: A review of empirical evidence. *Basic appl. ecol.* 11: 522–531. doi.org/10.1016/j.baae.2010.06.006

16. Steiner M, Boller M, Schulz T, Pronk W (2007) Modelling heavy metal fluxes from traffic into the environment. *J. Environ. Monit.* 9, 8: 847. doi.org/10.1039/b703509h
17. Rossi L, Hari RE (2007) Screening procedure to assess the impact of urban stormwater temperature to populations of brown trout in receiving water. *Integr. Envir. Assess. Manag.* 3, 3: 383–392. doi.org/10.1002/ieam.5630030309
18. Kurth A-M, Schirmer M (2014) Thirty years of river restoration in Switzerland: implemented measures and lessons learned. *Envir. Earth Sci.* 72, 6: 2065–2079. doi.org/10.1007/s12665-014-3115-y
19. Grimardias D, Chasserieu C, Beauvils M, Cattaneo F (2022) Ecological connectivity of the upper Rhône River: Upstream fish passage at two successive large hydroelectric dams for partially migratory species. *Ecol. Eng.* 178: 106545. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106545
20. Alp M, Indermaur L, Robinson CT (2013) Environmental constraints on oviposition of aquatic invertebrates with contrasting life cycles in two human-modified streams. *Freshw. Biol.* 58, 9: 1932–1945. doi.org/10.1111/fwb.12181
21. Werth S, Schödl M, Scheidegger C (2014) Dams and canyons disrupt gene flow among populations of a threatened riparian plant. *Freshw. Biol.* 59, 12: 2502–2515. doi.org/10.1111/fwb.12449
22. Tockner K, Pusch D, Borchardt D, Lorang M S (2010) Multiple stressors in coupled river–floodplain ecosystems. *Freshw. Biol.* 55, s1: 135–151. doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02371.x
23. Durant SM, Becker MS, Creel S, Bashir S, Dickman AJ, Beudels-Jamar RC, u. a. (2015) Developing fencing policies for dryland ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 52, 3: 544–551. doi.org/10.1111/1365-2664.12415
24. Lüthi R, Hilfiker D, Tolon V, Landry J-M (2017) Wolf Behavior Towards Electric Fences Used In Agriculture. *Carniv. Damage Prev. News*, S. 11–16.
25. Altherr G (2017), From genes to habitats: effects of urbanisation and urban areas on biodiversity. PhD Dissertation. doi.org/10.5451/UNIBAS-004389371
26. Fernández-Alés R. Muñoz-Reinoso JC (2020) Effects of buildings on plant composition and diversity in a Mediterranean protected area. *Acta Oecol.* 108: 103644. doi.org/10.1016/j.actao.2020.103644
27. Miles LS, Rivkin LR, Johnson MTJ, Munshi-South J, Verrelli BC (2019) Gene flow and genetic drift in urban environments. *Mol. Ecol.* 28, 18: 4138–4151. doi.org/10.1111/mec.15221
28. Blattner LA, Kulaneck D, Ruffener S, Ziegler H, Wymann H-P, Wiemers M, Michalik P, Berner D (2024) Urbanization-associated range expansion genetically homogenizes a butterfly species. *Curr. Biol.* 34, 19: 4589–4595.e4. doi.org/10.1016/j.cub.2024.09.006
29. Scalenghe R, Marsan FA (2009) The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landsc. Urban Plan.* 90, 1–2: 1–10. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011
30. Tobias S, Conen F, Duss A, Wenzel LM, Buser C, Alewell C (2018) Soil sealing and unsealing: State of the art and examples. *Land. Degrad. Dev.* 29, 6: 2015–2024. doi.org/10.1002/ldr.2919
31. Tresch S, Frey D, Le Bayon R-C, Zanetta A, Rasche F, Fließbach A, Moretti M (2019) Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. *Sci. Total Environ.* 658: 1614–1629. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.235
32. Grubisic M, Haim A, Bhusal P, Dominoni DM, Gabriel KMA, Jechow A, u. a. (2019) Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates. *Sustainability* 11, 22: 6400. doi.org/10.3390/su11226400

33. Alaasam VJ, Duncan R, Casagrande S, Davies S, Sidher A, Seymoure B, u. a. (2018) Light at night disrupts nocturnal rest and elevates glucocorticoids at cool color temperatures. *J. Exp. Zool. Pt. A* 329, 8–9: 465–472. doi.org/10.1002/jez.2168
34. Pérez Vega C, Jechow A, Campbell J. A, Zielinska-Dabkowska K. M, Hölker F (2024) Light pollution from illuminated bridges as a potential barrier for migrating fish—Linking measurements with a proposal for a conceptual model. *Basic Appl. Ecol.* 74: 1–12. doi.org/10.1016/j.baae.2023.11.001
35. Sierra A, Erhardt A (2019) Light pollution hampers recolonization of revitalised European Nightjar habitats in the Valais (Swiss Alps). *J Ornithol.* 160, 3: 749–761. doi.org/10.1007/s10336-019-01659-6
36. Altermatt F, Ebert D (2016) Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution. *Biol. Lett.* 12, 4: 20160111. doi.org/10.1098/rsbl.2016.0111
37. Bolliger J, Hennet T, Wermelinger B, Bösch R, Pazur R, Blum S, Haller J, Obrist MK (2020) Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology* 47: 44–56. doi.org/10.1016/j.baae.2020.06.003
38. Hutchings C, Spiess E, Prasuhn V (2023) Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz mit MODIFFUS 3.1, Stand 2020. Agroscope. doi.org/10.34776/AS155G
39. Burdon FJ, Nunz N. A, Reyes M, Focks A, Joss A, Räsänen K, u. a. (2019) Agriculture versus wastewater pollution as drivers of macroinvertebrate community structure in streams. *Science of The Total Environment* 659: 1256–1265. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.372
40. Bucheli TD, Barmettler E, Bartolomé N, Hilber I, Hornak K, Meuli RG, u. a. (2023) Pesticides in Agricultural Soils: Major Findings from Various Monitoring Campaigns in Switzerland. *Chimia* 77, 11: 750–757. doi.org/10.2533/chimia.2023.750
41. Müller M, Spaar R, Schifferli L, Jenni L (2005) Effects of changes in farming of subalpine meadows on a grassland bird, the whinchat (*Saxicola rubetra*). *J Ornithol* 146, 1: 14–23. doi.org/10.1007/s10336-004-0059-0
42. Zellweger-Fischer J, Kéry M, Pasinelli G (2011) Population trends of brown hares in Switzerland: The role of land-use and ecological compensation areas. *Biological Conservation* 144, 5: 1364–1373. doi.org/10.1016/j.biocon.2010.11.021
43. Stefan L, Hartmann M, Engbersen N, Six J, Schöb C (2021) Positive Effects of Crop Diversity on Productivity Driven by Changes in Soil Microbial Composition. *Front. Microbiol.* 12: 660749. doi.org/10.3389/fmicb.2021.660749
44. Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016) Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11, 5. Abgerufen: akademien-schweiz.ch/publications/brennpunkt-klima-schweiz-grundlagen-folgen-und-perspektiven
45. Giulletti S, Romagosa F, Fons Esteve J, Schröder C (2018) Tourism and the environment: Towards a reporting mechanism in Europe. European Environment Agency. Abgerufen: eionet.europa.eu/etcs/etc-uls/products/etc-uls-reports/etc-uls-report-01-2018-tourism-and-the-environment-towards-a-reporting-mechanism-in-europe
46. Pastorino P, Elia A. C, Pizzul E, Bertoli M, Renzi M, Prearo M (2024) The old and the new on threats to high-mountain lakes in the Alps: A comprehensive examination with future research directions. *Ecological Indicators* 160: 111812. doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111812

47. Tobajas J, Guil F, Margalida A (2022) Effects of free-flight activities on wildlife: a poorly understood issue in conservation. *Envir. Conserv.* 49, 1: 8–16. doi.org/10.1017/S0376892921000412
48. Foulkes I (2024) Swiss limit tourist access in bid to bring back edelweiss. BBC News, Bern. Abgerufen: bbc.com/news/articles/c4ng70m44n3o
49. Moor H, Bergamini A, Vorburger C, Holderegger R, Bühler C, Egger S, Schmidt BR (2022) Bending the curve: Simple but massive conservation action leads to landscape-scale recovery of amphibians. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 119, 42: e2123070119. doi.org/10.1073/pnas.2123070119
50. Moor H, Bergamini A, Vorburger C, Holderegger R, Bühler C, Bircher N, Schmidt BR (2024) Building pondscales for amphibian metapopulations. *Conserv. Biol.* 38, 6: e14165. doi.org/10.1111/cobi.14281
51. Reissner T, Baur B (2006) Ecological compensation areas as potential habitat for reptiles: A case study on hedges in the Canton Basel-Landschaft, Switzerland. PhD Dissertation
52. Lapin K, Hoffmann JA, Braun M, Oettel J (2024) Identification and prioritization of stepping stones for biodiversity conservation in forest ecosystems. *Conservat Sci and Prac* 6, 7: e13161. doi.org/10.1111/csp2.13161
53. Poschlod P, Braun-Reichert R (2017) Small natural features with large ecological roles in ancient agricultural landscapes of Central Europe – history, value, status, and conservation. *Biol. Conserv.* 211: 60–68. doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.016
54. Brás R, Cerdeira JO, Alagador D, Araújo MB (2013) Linking habitats for multiple species. *Environ. Model. Software* 40: 336–339. doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.08.001
55. Winkler C, Zemp DC, Pellet J (in Vorbereitung) From ponds to pondscales: habitat characteristics influencing the abundance of the threatened yellow-bellied toad (*Bombina variegata*)»
56. Teufert S, Cipriotti M, Felix J (2005) Die Bedeutung von Grünbrücken für die Amphibien und Reptilien: Untersuchungen an der Autobahn 4 bei Bischofswerda/Oberlausitz (Sachsen). *Z. Feldherpetol.* 12: 101–109.
57. Braschler B, Dolt C, Baur B (2020) The Function of A Set-Aside Railway Bridge in Connecting Urban Habitats for Animals: A Case Study. *Sustainability* 12, 3: 1194. doi.org/10.3390/su12031194
58. Clevenger AP, Huijser MP (2011) *Wildlife Crossing Structure Handbook: Design and Evaluation in North America*. FHWA-CFL-TD-11-003. Abgerufen: rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/41646
59. Berthoud G, LeBeau RP, Righetti A (2004) Nationales ökologisches Netzwerk REN. Schlussbericht. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Schriftenreihe Umwelt 373
60. Schmidt BR, Brenneisen S, Zumbach S (2017) Funktionieren Amphibientunnel? *Nat. Lands. Inside*, 2: 35–38
61. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL (2012) ENHANCE. Enhancing ecosystem connectivity through intervention – benefits for nature and society? Final Report. Abgerufen: dora.lib4ri.ch/wsl/item/wsl:17754
62. Schmidt BR, Brenneisen S, Zumbach S (2020) Evidence-Based Amphibian Conservation: A Case Study on Toad Tunnels. *Herpetol.* 76, 2: 228. doi.org/10.1655/0018-0831-76.2.228
63. Schmidt BR, Zumbach S (2008) Amphibian Road Mortality and How to Prevent It: A Review. *Urban Herpetol.* 157–167. doi.org/10.5167/UZH-10142
64. Rosell C, Chrétien L, Guinard E, Nowicki F, Righetti A, Seiler A, u. a. (2023). Solutions to mitigate impacts and benefit nature. In: IENE Biodiversity and infrastructure. Abgerufen: biodiversityinfrastructure.org/

65. VSS 40405 (2019) Bauprodukte für den Strassenoberbau. Strassenverkehrssicherheit, Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz und Umwelt», Nationales Register.
66. Kalarus K, Bąkowski M (2015) Railway tracks can have great value for butterflies as a new alternative habitat. *Italian J. Zoology* 82, 4: 565–572. doi.org/10.1080/11250003.2015.1078417
67. Twerd L, Sobieraj-Betlińska A, Szefer P (2021) Roads, railways, and power lines: Are they crucial for bees in urban woodlands? *Urban Forestry & Urban Greening* 61: 127120. doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127120
68. Switalski T, Bissonette J, DeLuca T, Luce C, Madej M. (2004) Benefits and impacts of road removal. *Front. Ecol. Environ.* 2, 1: 21–28. [doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002%5B0021:BAIORR%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002%5B0021:BAIORR%5D2.0.CO;2)
69. Meisingset EL, Loe LE, Brekkum Ø, Mysterud A (2014) Targeting mitigation efforts: The role of speed limit and road edge clearance for deer-vehicle collisions. *J. Wildlife Managm.* 78, 4: 679–688. doi.org/10.1002/jwmg.712
70. Wegscheider B, Waldoock C, Calegari BB, Josi D, Brodersen J, Seehausen O (2024) Neglecting biodiversity baselines in longitudinal river connectivity restoration impacts priority setting. *Sci. Total Environ.* 954: 175167. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175167
71. Stoffers T, Altermatt A, Baldan D, Bilous O, Borgwardt F, Buijse AD, u. a. (2024) Reviving Europe's rivers: Seven challenges in the implementation of the Nature Restoration Law to restore free-flowing rivers. *WIREs Water* 11, 3: e1717. doi.org/10.1002/wat2.1717
72. Schneider P, Vogt T, Schirmer M, Doetsch J, Linde N, Pasquale N, Perona P, Cirpka OA (2011) Towards improved instrumentation for assessing river-groundwater interactions in a restored river corridor. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 8: 2531–2549. doi.org/10.5194/hess-15-2531-2011
73. Fontana S, Sattler T, Bontadina F, Moretti M (2011) How to manage the urban green to improve bird diversity and community structure. *Lands. Urban Plan.* 101, 3: 278–285. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.033
74. Wooster EIF, Fleck R, Torpy F, Ramp D, Irga PJ (2022) Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Buil. Environ.* 207: 108458. doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458
75. Maclvor JS, Lundholm J (2011) Insect species composition and diversity on intensive green roofs and adjacent level-ground habitats. *Urban Ecosyst.* 14, 2: 225–241. doi.org/10.1007/s11252-010-0149-0
76. Vasco F, Perrin J-A, Oertli B (2024) Urban pondscape connecting people with nature and biodiversity in a medium-sized European city (Geneva, Switzerland). *Urban Ecos.* 27, 4: 1117–1137. doi.org/10.1007/s11252-023-01493-y
77. Alva A, Brown E, Evans A, Morris D, Dunning K (2025) Dark Sky Parks: public policy that turns off the lights. *J. Environ. Plan. Manag.* 68, 4: 907–934. doi.org/10.1080/09640568.2023.2275535
78. Hearnshaw JB (2023) A sustainable world requires darkness at night. *Proc. R. Soc. Vic.* 135, 2: 50–57. doi.org/10.1071/RS23009
79. Spörri M, El Benni N, Mack G, Finger R (2023) Spatio-temporal dynamics of grassland use intensity in Switzerland. *Reg. Environ. Change.* 23, 1: 23. doi.org/10.1007/s10113-022-02023-w
80. Guntern J, Pauli D, und Klaus G (2020) Biodiversitätsfördernde Strukturen im Landwirtschaftsgebiet. Bedeutung, Entwicklung und Stossrichtungen für die Förderung. *Forum Biodiversität Schweiz (SCNAT)*. Abgerufen: scnat.ch/de/uuid/i/f278cef9-b02b-51e1-8962-554847c00423-Biodiversit%C3%A4tsf%C3%B6rderung_de_Strukturen_im_Landwirtschaftsgebiet

- 81.** Zingg S, Grenz J, Humbert J-Y (2024) Food production and biodiversity are not incompatible in temperate heterogeneous agricultural landscapes. *Front. Sustain. Food Syst.* 8: 1377369. doi.org/10.3389/fsufs.2024.1377369
- 82.** Meier ES, Lüscher G, Herzog F, Birrer S, Plattner M, Knop E (2024) Mehr Biodiversität dank Biodiversitätsförderflächen in Vernetzungsprojekten. *Agrarforsch. Schweiz* 15. doi.org/10.34776/AFS15-168
- 83.** Slodowicz D, Humbert J-Y, Arlettaz R (2019) The relative effectiveness of seed addition methods for restoring or re-creating species rich grasslands: a systematic review protocol. *Environ. Evid.* 8, 1: 28. doi.org/10.1186/s13750-019-0174-2
- 84.** Mandić A (2019) Nature-based solutions for sustainable tourism development in protected natural areas: a review. *Environ. Syst. Decis.* 39, 3: 249–268. doi.org/10.1007/s10669-019-09718-2
- 85.** Federal Office for the Environment FOEN (2013) *Forest Policy 2020. Visions, objectives and measures for the sustainable management of forests in Switzerland.* Bern
- 86.** Brändli UB, Abegg M, Duggelin C. (2020) Biologische Vielfalt. In *Schweizerisches Landesforstinventar.* Birmensdorf; Bern: WSL; BAFU: 189–237. Abgerufen: dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:23495
- 87.** Bussmann-Charran K, Vorburger C, Pärli R, Angst C, Bregenzer I, Burger S, u. a. (2025). Biodiversität fördern durch die Wiederherstellung feuchter und nasser Wälder. *Synth.zent. Biodivers.* doi.org/10.55408/eawag:34971
- 88.** Bichsel M (2022) Wälder. *Biodivers.* Abgerufen: biodivers.ch/de/index.php/W%C3%A4lder
- 89.** Krumm F, Schuck A, und Rigling A (2020) How to balance forestry and biodiversity conservation – A view across Europe. *European Forest Institute (EFI); Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf.* 640 S.



Adresse

Institut fédéral de recherches WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
044 739 28 97
info@wsl.ch
www.synthesebiodiv.ch

ETH zürich



eawag
aquatic research ooo