

Identifier, préserver et promouvoir la biodiversité bleu-vert

Enseignements
tirés de l'initiative
de recherche « Blue-
Green Biodiversity »
de l'Eawag et
du WSL



Sommaire

Chapitre 1 :	Interview : « L'esprit bleu-vert de l'initiative de recherche va lui survivre »	07
Chapitre 2 :	Terre et eau – des milieux entremêlés	12
Chapitre 3 :	État et évolution de la biodiversité bleu-vert	21
Chapitre 4 :	Une belle réussite entre bleu et vert	31
Chapitre 5 :	Les villes intelligentes misent sur les infrastructures vertes et bleues	36
Chapitre 6 :	Concevoir et créer ensemble les infrastructures écologiques	44
Chapitre 7 :	Perspectives	53

Remarque concernant la littérature scientifique citée

Les travaux déjà publiés de l'initiative « Blue-Green Biodiversity » sont indiqués dans les bulles en marge du texte. Les sites web dédiés au projet sont constamment enrichis de nouvelles publications. Sites dédiés au projet, à consulter pour plus d'information: www.eawag.ch/bgb, www.wsl.ch/bgb

Impressum

Organisation éditrice

Initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » de l'Eawag (Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau, du domaine des EPF) et du WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, du domaine des EPF)

Groupe d'accompagnement

Florian Altermatt (Eawag) et Catherine Graham (WSL) (direction de l'initiative de recherche BGB), Rolf Holderegger (WSL), Manuel Fischer (Eawag)

Auteur

Gregor Klaus, journaliste scientifique, Rothenfluh

Scientifiques de l'initiative BGB

Voir liste p. 55

Coordination

Morgane Brosse

Mise en page et impression

communicaziun.ch, Ilanz

Traduction

Laurence Frauenlob, traductrice scientifique, Waldkirch (D)

Citation

Eawag et WSL (Ed.) (2024) : Identifier, préserver et promouvoir la biodiversité bleu-vert. Enseignements tirés de l'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity ». 56 p.

Cette publication est également disponible en allemand, sa langue d'origine.

L'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » a été financée par le Conseil des EPF.

Éditorial



Myosotis de Rehsteiner dans la rosée du matin. Photo Manfred Hertzog

L'étude de la biodiversité et la bonne connaissance des écosystèmes sont indispensables à une utilisation durable et raisonnée des ressources naturelles. Les recherches sur la biodiversité occupent donc de longue date une place très importante à l'Eawag comme au WSL. L'Eawag s'intéresse alors surtout aux milieux aquatiques et le WSL aux milieux terrestres. À l'interface entre ces milieux, produit de leur interconnectivité, la « biodiversité bleu-vert » n'a été étudiée que dans quelques rares projets. Grâce à l'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity (BGB) » financée par le Conseil des EPF, nous avons pu étudier en détail cette interface et les imbrications entre milieu terrestre et aquatique au niveau de la biodiversité. Depuis 2020, plus de 60 scientifiques de l'Eawag et

du WSL ont étudié dans 24 projets comment associer bleu et vert dans notre conception du monde, que ce soit dans les zones alluviales, en milieu urbain ou au cœur des Alpes. Nous sommes ainsi très heureux de vous présenter, dans cette brochure, les principaux résultats de l'initiative BGB, replacés dans un contexte plus large. Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé à cette aventure pour leur travail, que ce soit dans des tâches de recherche, d'assistance technique ou d'encadrement administratif ou encore dans les relations entre parties prenantes. Nous les remercions particulièrement pour leur ouverture et leur disposition à travailler de manière constructive dans l'interdisciplinarité, en dépassant les limites de nos institu-

tions. Notre environnement est un espace continu et, quelle que soit la façon dont nous nous organisons, nous devons collaborer entre spécialités et institutions si nous voulons le comprendre dans sa globalité. Dans cet esprit, BGB est donc aussi un modèle et un laboratoire. Avec les résultats de l'initiative BGB, nous sommes convaincus de contribuer à ce qu'un débat objectif sur la sauvegarde et la promotion de la biodiversité s'instaure dans la société et les milieux économiques et politiques. Dans cet esprit, nous vous souhaitons une lecture aussi motivante qu'instructive.

Martin Ackermann (Directeur de l'Eawag)
Christoph Hegg (Directeur par intérim du WSL)

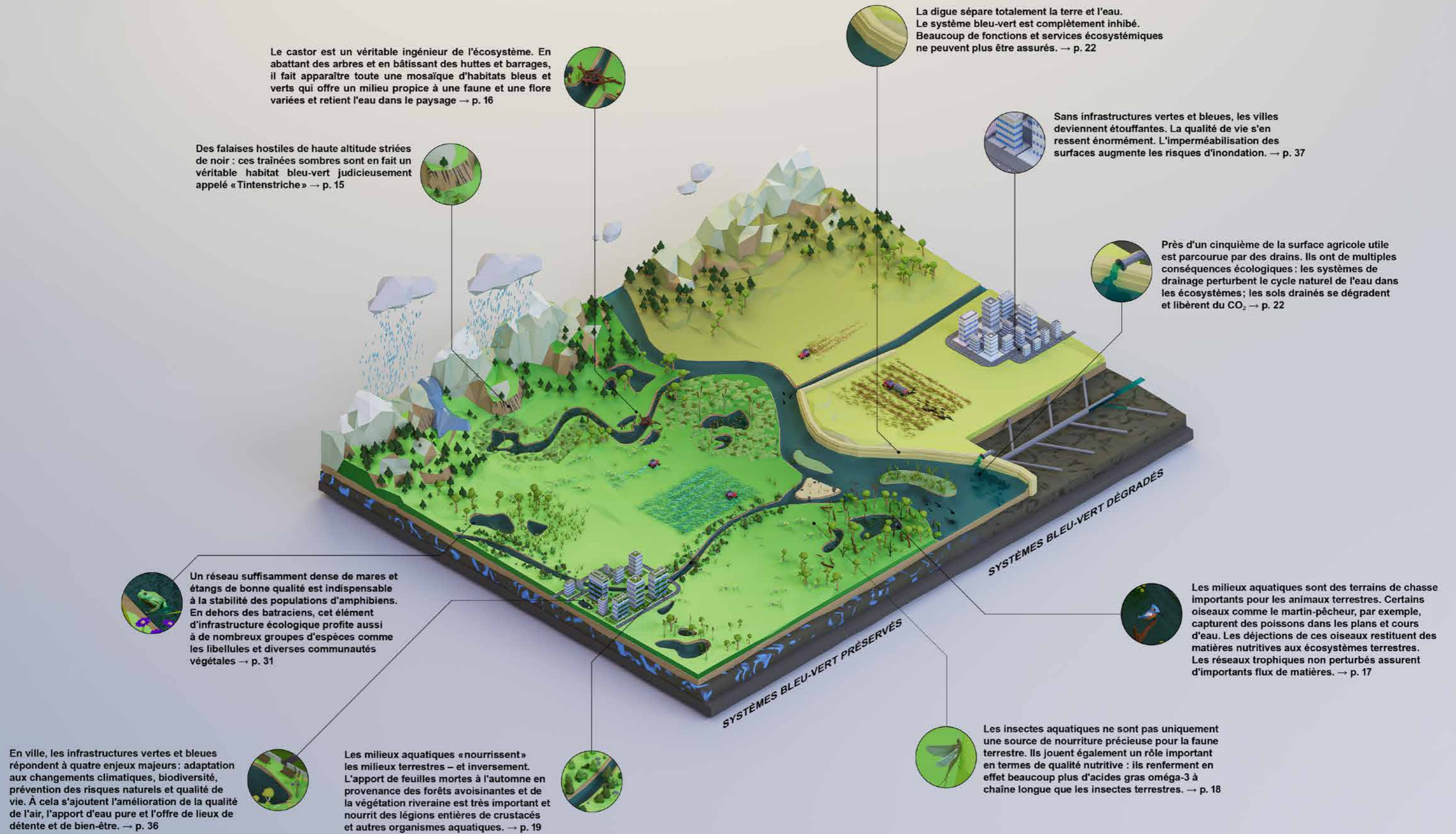
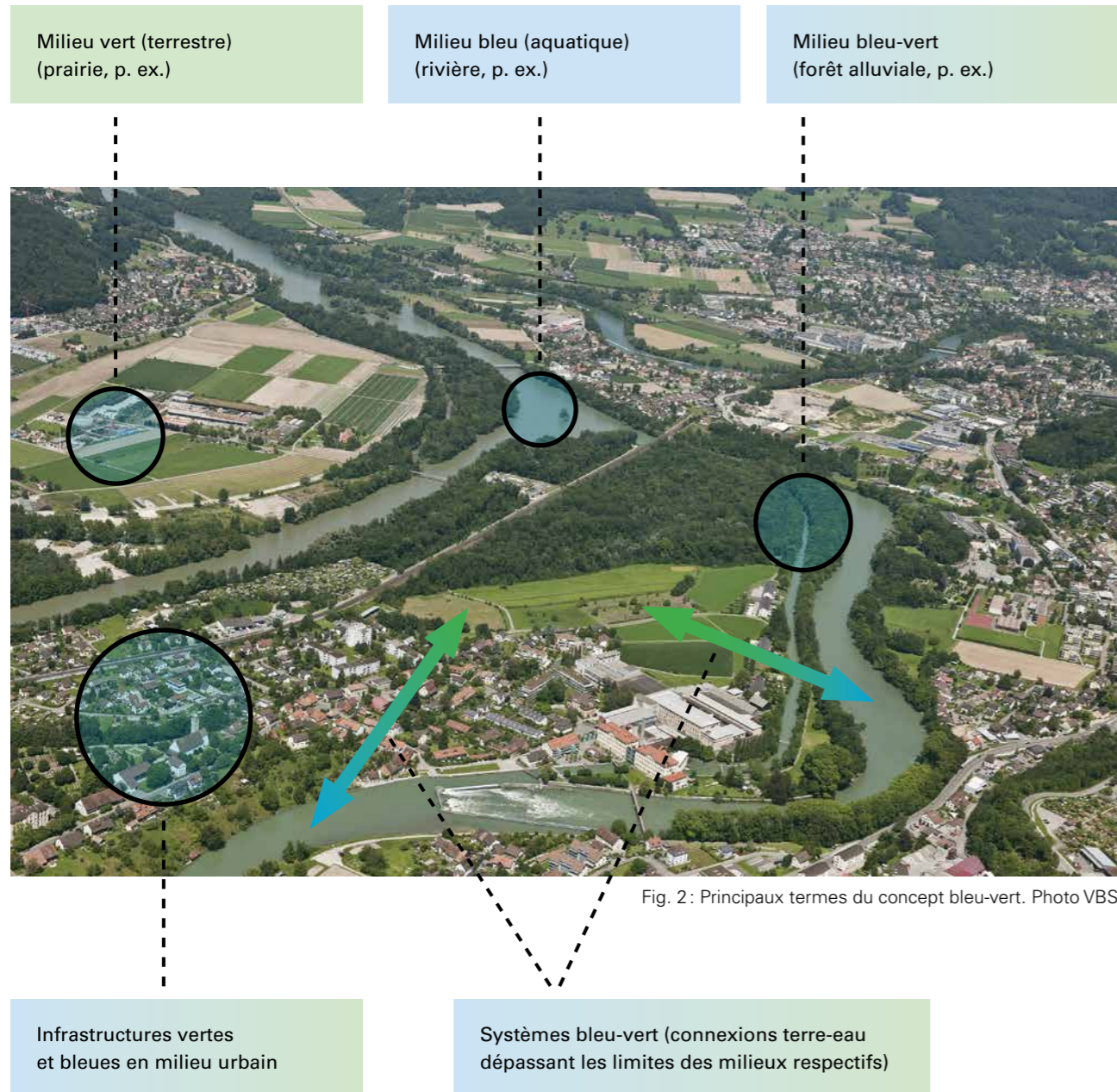


Fig. 1 : L'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » a mis à jour des imbrications fascinantes et parfois surprenantes entre terre et eau. La partie gauche de l'illustration présente un système bleu-vert en bon état de fonctionnement, sa partie droite un paysage dans lequel terre et eau sont totalement déconnectées. Infographie: VISIMON STUDIO

Bleu-vert : principaux termes et définitions



Chapitre 1

« L'esprit bleu-vert de l'initiative de recherche va lui survivre »

Un entretien avec Catherine Graham du WSL et Florian Altermatt de l'Eawag sur l'inventivité de l'initiative, la collaboration étroite entre les deux instituts et « l'esprit bleu-vert ».



Fig. 3 : Quand la terre rencontre l'eau : un martin-pêcheur tenant une larve de libellule dans son bec. Photo Beat Schaffner

Nous sommes en pleine crise mondiale de la biodiversité. Quelle est la situation en Suisse?

Florian Altermatt: En Suisse aussi, la biodiversité est dans une situation critique. Plus d'un tiers des espèces sont menacées. C'est davantage que dans les pays voisins. En même temps, nous avons aussi un énorme potentiel en termes de biodiversité. Notre pays se situe au cœur de l'Europe, à l'intersection de quatre grandes régions biogéographiques, et présente un nombre particulièrement important de milieux aquatiques comme les lacs, les fleuves et rivières, les étangs et petits ruisseaux. Mais les espèces vivant entre terre et eau sont particulièrement menacées.

La population voit les choses différemment. D'après un sondage, l'état de la biodiversité est majoritairement jugé bon à très bon.

Catherine Graham: Les paysages se modifient très progressivement. La population humaine s'habitue très vite aux petits changements: une nouvelle maison par ci, une mare asséchée par là. Ça n'est pas assez pour susciter une protestation. Les gens se promènent et voient encore beaucoup de nature. Mais accumulés sur des décennies, les changements sont vraiment dramatiques.

« Il existe une multitude d'interactions entre bleu et vert que seule une approche interdisciplinaire peut dévoiler. »

Catherine Graham, WSL

Altermatt: La biodiversité a besoin d'espace et d'un certain degré de « désordre ». Les Suisses apprécient la nature sauvage dans les parcs nationaux ou dans les pays lointains mais pas vraiment devant leur porte. Leur besoin irrésistible de ranger et nettoyer et d'empêcher

la dynamique naturelle de s'exprimer est fatal pour la biodiversité et pour la qualité des paysages. À cela s'ajoute une tendance à penser à petite échelle et dans une seule direction. Par exemple, les réserves naturelles sont souvent juste à côté de zones d'agriculture intensive, sans zone tampon digne de ce nom entre les deux. Nous avons des zones humides de grande valeur mais les ruisseaux qui les alimentent ou qui en sortent sont pourtant souvent canalisés et totalement artificialisés.

« Les frontières artificiellement créées par notre pensée entre milieux bleus et verts ont la vie dure. »

*Florian Altermatt,
Eawag*

La recherche peut jouer un rôle décisif dans la gestion de la crise de la biodiversité en approfondissant nos connaissances, en livrant des solutions et en créant des bases solides pour des mesures de protection efficaces. En 2020, l'Eawag et le WSL ont lancé l'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » pour étudier les interrelations entre écosystèmes aquatiques et terrestres de manière interdisciplinaire. Où est la nouveauté? La recherche sur les écosystèmes existe tout de même depuis plus de 200 ans.

Graham: C'est vrai, la recherche sur les écosystèmes a déjà un long passé. En avançant pas à pas, nous comprenons de mieux en mieux les processus qui se déroulent autour de nous. De temps en temps, la connaissance fait un bond en avant. Cela arrive par exemple quand de nouvelles technologies font leur apparition ou quand les scientifiques de différents horizons travaillent ensemble et échangent leurs points de vue. Et ce sont exactement ces facteurs qui ont fait le succès de l'initiative des deux instituts de recherche. Les personnes impliquées

sont des spécialistes de la biodiversité qui, jusqu'à présent se sont concentrées soit sur les milieux aquatiques soit sur les milieux terrestres. Elles ont maintenant travaillé ensemble sur les interfaces entre bleu et vert.

Quelles sont ces interfaces?

Graham: Il existe une multitude d'interactions entre bleu et vert que seule une approche interdisciplinaire peut dévoiler. Classiquement, cela se passe ainsi: si l'objet de la recherche est une espèce d'oiseau, on détermine dans quels habitats elle évolue, de quoi elle se nourrit, quel est le taux de survie des juvéniles, etc. Si la recherche porte sur une rivière, les paramètres étudiés seront la qualité de l'eau, la diversité structurale, etc. Avec cette approche sectorielle, beaucoup d'interactions et facteurs d'influence passent inaperçus. Une observation conjuguée fait apparaître des relations parfois surprenantes: une de nos études a par exemple montré que les insectes aquatiques représentaient pour les oiseaux une ressource de qualité nutritive bien supérieure à celle des insectes terrestres (chapitre 2). Pour ces espèces, les milieux aquatiques préservés et diversifiés sont indispensables même si, au premier abord, ils n'ont rien à voir avec eux. Seule une initiative de recherche interinstitutionnelle pouvait mettre à jour et quantifier une telle relation.

Altermatt: Ce qui est différent, aussi, par rapport à il y a 50 ans ou même dix ans, c'est que nous disposons aujourd'hui d'immenses jeux de données et de nouvelles méthodes comme l'ADN environnemental ou la télédétection qui permettent des quantifications d'un nouveau genre et de plus grande envergure. Notre initiative de recherche a pu s'appuyer sur cette abondance de données sur les écosystèmes aquatiques et terrestres pour, par exemple, les comparer. C'est ainsi que nous avons pu montrer, notamment, que les réseaux trophiques aquatiques et terrestres étaient structurés différemment.

Graham: Dans la première phase de l'initiative, qui n'a duré qu'un an, nous n'avons pas collecté une seule donnée sur le terrain mais seulement dépouillé les données déjà livrées par les pro-

grammes de monitoring au niveau national et cantonal. Mais les sciences citoyennes sont aussi une source très intéressante de données. La participation de la population aux projets de recherche a en même temps l'avantage de sensibiliser aux enjeux de préservation de la biodiversité.

Les résultats des recherches ont-ils des implications pratiques?

Altermatt: Dans tous les projets, l'idée première n'était pas seulement de publier dans des revues scientifiques mais aussi de travailler avec les services fédéraux et cantonaux et avec les spécialistes de terrain. Beaucoup de projets avaient pour but d'évaluer les besoins du milieu professionnel pour que les résultats de la recherche trouvent rapidement une application pratique. Le projet sur l'efficacité des infrastructures écologiques pour les amphibiens en Argovie en est un bon exemple (chapitre 4).

Qu'est-ce qui a conduit l'Eawag – spécialiste des questions aquatiques – et le WSL – axé sur les milieux terrestres

– à mettre à ce point leurs forces en commun sur le thème de la biodiversité?

« Si on considère les écosystèmes isolément, beaucoup d'interactions et de facteurs d'influence bleu-vert passent inaperçus. »

*Catherine Graham,
WSL*

Altermatt: Ce n'est pas comme si l'Eawag et le WSL n'avaient jamais travaillé ensemble! Il y a toujours eu des collaborations dans divers domaines, comme la revitalisation des eaux, par exemple. Mais en 2019, le Conseil des EPF a créé une nouvelle formule à travers les initiatives de recherche spécifiques pouvant être soumises en commun par plusieurs instituts. Les directions du WSL et de

l'Eawag ont saisi cette chance et, pendant les vacances de Noël, nous avons tracé une ébauche de l'initiative BGB avec un petit groupe de passionnés. Ça a déclenché un processus extrêmement dynamique et plein d'idées. Quelques semaines plus tard, nous avons le feu vert du Conseil des EPF. Puis vint la Covid. Nous avons dû tout organiser en visioconférence, nous ne nous sommes pas rencontrés pendant des mois. Malgré tout, ça a été le début d'une collaboration particulièrement étroite et fructueuse.

Pas vraiment des conditions idéales pour lancer un projet interdisciplinaire, qui demande nécessairement de nouer de nouveaux contacts.

Altermatt: Mais ça a marché! Avec le recul, je pense que les visioconférences ont aussi eu leurs bons côtés. Par exemple, nous n'avions pas à nous demander si nous devions nous retrouver à l'Eawag ou au WSL. L'espace virtuel permettait de se rencontrer très facilement. De cette manière, nous avons échangé beaucoup plus souvent que ce qui aurait

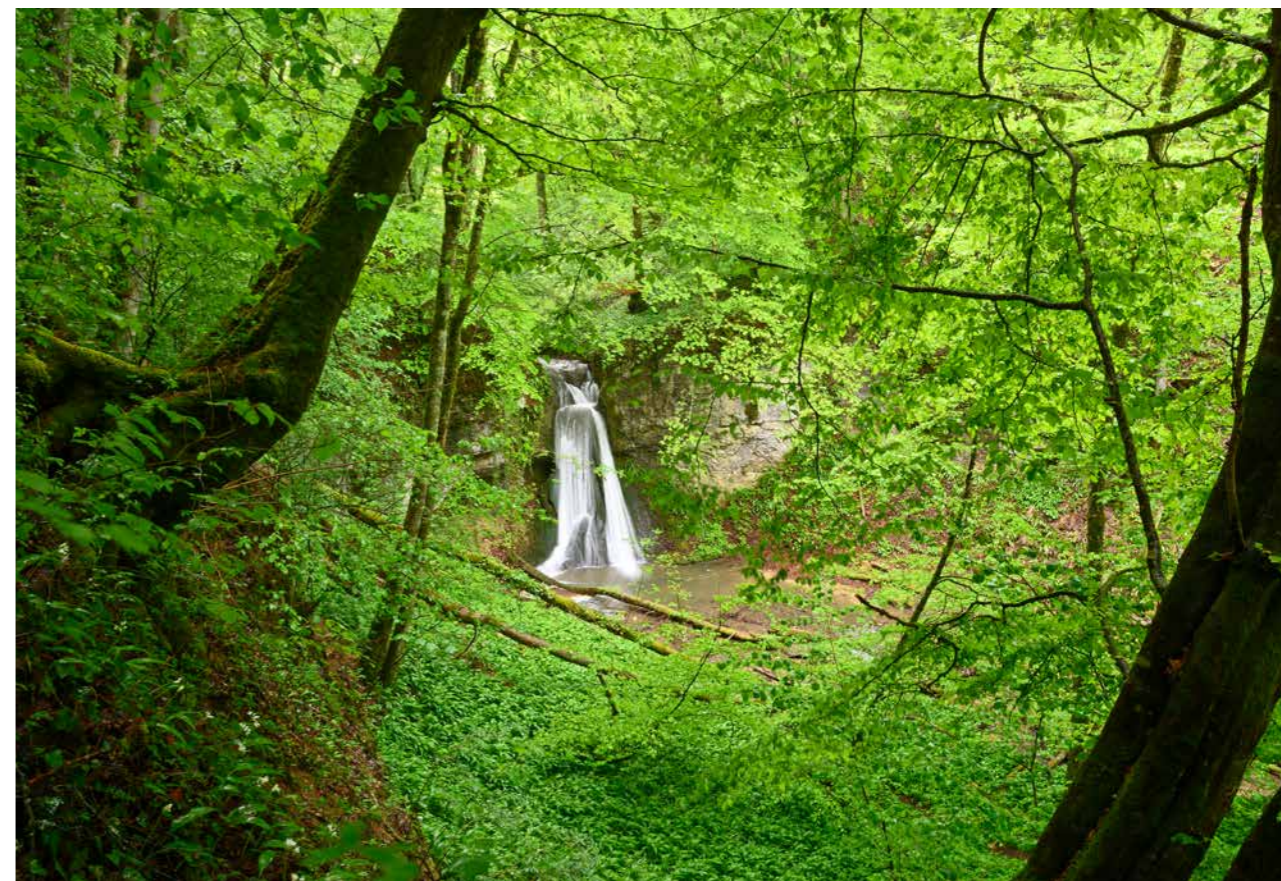


Fig. 4: Quand l'eau et la forêt fusionnent en un système bleu-vert. Photo Beat Schaffner

été possible physiquement du fait des différentes localisations de nos instituts. J'ai été surpris de constater que, malgré la proximité institutionnelle des deux organes de recherche, les chercheuses et chercheurs ne se connaissaient souvent pas. Beaucoup travaillent avec des scientifiques du monde entier mais pas au sein du domaine des EPF. L'initiative a été très bénéfique sur ce point et enclenché une dynamique positive qui devrait durer.

Graham : Une fois le financement approuvé, il a fallu répartir les fonds. Les idées de projet devaient émaner de la base et non d'en haut. Aucune limite n'était imposée. Toute personne avait la possibilité de soumettre un projet, même si elle n'avait pas encore été très active dans le domaine bleu-vert, du moment qu'il y avait des idées. Tout le monde était enthousiaste et extrêmement motivé – engagé corps et âme !

Et comment le bleu a-t-il rencontré le vert ?

Graham : Les 24 projets avaient tous une chose en commun : ils étaient tous dirigés par un tandem composé d'une

personne de l'Eawag et d'une personne du WSL. Le même principe a été appliqué à la direction générale de l'initiative. Sans cette parité, cela n'aurait pas fonctionné.

« Il est très important que les résultats de nos recherches trouvent un écho dans les décisions politiques, l'action publique et l'éducation pour faire changer les choses. »

Florian Altermatt,
Eawag

Altermatt : Ce principe de tandem a été particulièrement fructueux ! Un exemple : une personne travaille sur l'écologie urbaine au WSL et une autre sur les techniques d'évacuation des eaux urbaines à l'Eawag. Sans l'initiative de recherche, aucune des deux n'aurait imaginé et mené un projet sur la biodiversité dans l'espace urbain. Dans leur cas, 1 + 1 fait clairement plus que deux !

La collaboration s'est toujours bien passée ?

Graham : Mieux que nous ne l'avions imaginé. Surtout si l'on considère le grand nombre de scientifiques impliqués. Bien sûr, tout n'a pas toujours été parfait, mais le dialogue était bon et les problèmes et différends ont pu être rapidement neutralisés. La dynamique qui s'est mise en place était vraiment formidable.

Altermatt : Je n'ai jamais vu de meilleure collaboration. Et ce, malgré – ou justement grâce à – des structures et une culture très différentes dans les deux instituts de recherche. Les résultats de l'initiative parlent d'eux-mêmes : nous avons un budget assez limité dans les premières phases et nous avons tout de même eu un fort impact - aussi bien en termes de publications scientifiques que de résonance dans la pratique. Les sujets bleu-vert sont de plus en plus abordés dans la société, même par les ONG environnementales. Il est très important que les résultats de nos recherches trouvent un écho dans les décisions politiques, l'action publique et l'éducation pour faire changer les choses.



Fig. 5 : Le professeur Florian Altermatt et la professeure Catherine Graham ont dirigé en tandem l'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity ». Photo Morgane Brosse

Quel est le plus grand obstacle à la mise en pratique de l'esprit bleu-vert ?

Altermatt : Les limites artificiellement créées dans notre esprit entre les milieux bleus et verts. Elles ont la vie dure. Dans les administrations fédérales et cantonales, ces différents milieux sont souvent de la responsabilité d'offices, de sections, de services différents, si bien qu'il faut un engagement particulièrement fort de la part des personnes qui y travaillent pour faire émerger des synergies et des approches « inter-milieux ». De même, les réglementations, relatives à la forêt et aux eaux par exemple, sont souvent mal harmonisées.

Bleu-vert – la nouvelle tendance ?

Altermatt : Exactement ! Notre but est de sensibiliser tous les acteurs afin qu'ils adoptent des formes de pensée, de collaboration et d'action de plus en plus in-

tersectorielles. Nous devons éveiller leur intérêt pour les modes de pensée bleu-vert et leur montrer la nécessité d'engager de nouvelles collaborations dans cet esprit. L'enjeu est d'élargir les esprits et ce, de façon pérenne.

Graham : Les scientifiques en post-doc et en doctorat que nous avons formés ont déjà un mode de pensée plus large. Ils forment la relève de demain. Ils disposent d'un important savoir bleu-vert et s'intéressent aux questions qui relèvent de ce domaine. Pour ancrer une nouvelle culture, plus intégrée, dans la sauvegarde de la biodiversité, ce nouvel élan ne doit pas retomber. Il faut que des rencontres, des ateliers et des conférences aient lieu régulièrement sur le thème de la biodiversité bleu-vert. Mais je suis optimiste : car parmi les équipes Eawag-WSL de l'initiative, beaucoup veulent poursuivre leur collaboration, ce qui souligne encore le succès de cette entreprise. Les nou-

velles alliances vont perdurer. Mais cette collaboration doit aussi pouvoir être financée. Pour le moment, le Fonds national suisse désavantage par exemple les projets portés par deux responsables sur un pied d'égalité.

Altermatt : L'initiative de recherche a montré que nous pouvions et voulions travailler ensemble de manière très efficace, très étroite, très respectueuse et très constructive. Les scientifiques de l'Eawag et du WSL qui y ont participé se voient beaucoup plus qu'avant comme une communauté pro-biodiversité. Je suis certain que cet esprit survivra à l'avenir, de nombreux autres partenariats bleu-vert.

Propos recueillis par : Gregor Klaus

Contact : Catherine.Graham@wsl.ch et Florian.Altermatt@eawag.ch

À retenir

- > La collaboration étroite entre spécialistes de l'Eawag et du WSL dans le domaine de la biodiversité a donné naissance à des coopérations et des interconnexions fructueuses qui ont permis des approches intégratives dans le traitement des questions de recherche.
- > L'utilisation et la mise en commun d'immenses jeux de données sur les écosystèmes aquatiques et terrestres ont permis de découvrir de nouvelles relations et interdépendances entre milieux bleus et verts.
- > Les projets de recherche avaient une orientation pratique de façon à faciliter le transfert de savoir et l'application des résultats.

Terre et eau – des milieux entremêlés

Les milieux aquatiques et terrestres s'entremêlent bien au-delà des rives et plaines inondables. Ainsi, les oiseaux se nourrissent d'insectes aquatiques ailés et les feuilles des arbres caducs servent de nourriture aux crustacés qui vivent dans l'eau. Ces interrelations influent sur la stabilité, la résilience et le fonctionnement d'écosystèmes entiers. Elles doivent impérativement être prises en compte dans la gestion et la préservation des habitats.



Fig. 6: Les biotopes bleus et verts doivent être considérés de manière combinée en se concentrant sur leur complémentarité dans les processus écologiques. Photo Michel Roggo

Habitats bleu-vert

L'eau était autrefois un élément marquant de la plupart des paysages suisses. Les transitions entre terre et eau étaient généralement mouvantes et les surfaces influencées par l'eau de façon permanente ou récurrente étaient omniprésentes. Beaucoup de ces milieux bleu-vert ont été détruits au cours des 150 dernières années (chapitre 3).

De manière générale, les habitats bleu-vert peuvent contenir beaucoup d'eau comme les tourbières ou en être traversés comme les forêts alluviales (figures 6 et 7). Le niveau de l'eau varie généralement de manière saisonnière: certaines surfaces peuvent être sous l'eau un certain temps puis s'assécher plus tard, comme les gazons littoraux (figure 8), les cours d'eau alpins, les mares temporaires et les prairies humides. Sèches en été, ces dernières sont gorgées d'eau au printemps.

Micro-habitats aquatiques et semi-aquatiques

Hormis les zones alluviales, marais, sources, mares et forêts humides, il existe des milieux bleu-vert très parti-



Fig. 8: En fonction des pluies et de la fonte des neiges, le niveau des lacs préalpins présente naturellement de fortes fluctuations au cours de l'année – une véritable gageure pour les animaux et végétaux qui veulent s'y installer. Une communauté très particulière s'est ainsi formée dans la zone de marnage la plus souvent immergée. On ne la rencontre pratiquement plus aujourd'hui qu'au lac de Constance, dont le niveau n'est pas régulé artificiellement. Cette communauté qui forme ce que l'on appelle le gazon littoral est composée d'espèces hyperspécialisées comme le myosotis de Rehsteiner. Sur le sol de sables et de galets, les conditions de vie sont extrêmes: deux à six mois de submersion qui peuvent être suivis de plusieurs semaines les pieds au sec. Avant la régulation de la plupart des lacs des Préalpes et du Plateau, les gazons littoraux constituaient sur de nombreuses rives la première jonction entre terre et eau. Photo Manfred Hertzog



Fig. 7: Les surfaces occupées par les milieux bleu-vert sont considérables. Si l'on part du principe que la zone directement influencée sur les rives droite et gauche des quelque 65 000 kilomètres de cours d'eau de la Suisse s'étend en moyenne sur 50 mètres, la surface concernée s'élève à plus de 6000 kilomètres carrés, soit 15 % de la superficie de la Suisse. À cela s'ajoutent les marais, les tourbières, les prairies humides et les zones alluviales, etc. La photo montre le Chly Rhy, un bras du Rhin longtemps comblé qui a été dégagé et renaturé. Photo Markus Forte et Herbert Böhler/Ex-Press/OFEV

culiers encore peu étudiés, comme les « Tintenstriche » sur les falaises (encart 1) ou les « dendrotelmes » dans le creux des arbres. Les dendrotelmes sont des cavités qui se remplissent temporairement d'eau entre les branches, sur les troncs, entre les racines ou dans les trous de pics abandonnés. Ils sont l'habitat d'espèces ultra spécialisées comme le coléoptère aquatique *Prionocyphon serricornis* qui y vit sous sa forme larvaire ou l'amblystégie arboricole, une petite mousse qui apprécie l'humidité de leurs bords.

Les dépressions inondées des hauts-maraux sont aussi des habitats très particuliers. Ces mares ou gouilles sont des milieux très acides et très pauvres en nutriments dans lesquels seuls peuvent subsister les champions de la survie

comme la plante carnivore droséra à feuilles rondes ou une libellule particulière appelée aeschne azurée.

Des services écosystémiques inestimables

Certaines espèces créent elles-mêmes leur habitat bleu-vert. L'exemple le plus connu est celui du castor (encart 2) qui accroît la zone de contact dynamique entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. Autrefois, les humains ont, eux aussi, créé de tous nouveaux milieux bleu-vert : au XIXe siècle, par exemple, il était courant, en Suisse, d'irriguer les prés. L'eau d'arrosage puisée dans les rivières renferme des minéraux, des sédiments et de la matière organique qui stimulaient la croissance des plantes herbacées. L'eau repoussait par ailleurs les mulots et les

larves de hanneton et réchauffait, au printemps, les sols encore froids de l'hiver. Ce milieu bleu-vert était accueillant pour beaucoup d'espèces d'amphibiens.

Les habitats bleu-vert préservés fournissent de nombreux services écosystémiques particulièrement importants, notamment pour les sociétés humaines. Parmi eux, la rétention de l'eau (et donc la protection contre les crues) et la recharge des nappes phréatiques. D'autre part, ils offrent de merveilleux espaces de loisir et de délassément qui regorgent souvent de biodiversité (figure 9). Les zones alluviales abritent, à elles seules, 80 % des espèces indigènes. On y retrouve, outre les spécialistes adaptés à la dynamique naturelle bien particulière des milieux alluviaux, beaucoup d'espèces des milieux aquatiques et terrestres avoisinants.



Fig. 9: Autrefois très répandues sur le plateau et dans les vallées alpines, les zones alluviales qui se sont formées dans la plaine d'inondation des cours d'eau sont peut-être le milieu bleu-vert le plus connu. La fluctuation du niveau de l'eau et la puissance formatrice du courant y ont créé un écosystème complexe et singulier. Chenaux actifs et bras morts, mares et étangs, prairies sèches et humides, buissons et îlots de gravier, forêts à bois dur et à bois tendre s'y juxtaposent en une mosaïque vivante et extrêmement dynamique. La force de l'eau peut ramener des unités entières de végétation à des stades beaucoup plus jeunes de la succession (une forêt à bois tendre au stade d'îlot de gravier, par exemple) et éroder le sol à un endroit pour le restituer ailleurs par sédimentation. De ce fait, la biodiversité des milieux alluviaux est particulièrement élevée. La photo présente un point de résurgence d'eau souterraine dans une zone alluviale du canton de Berne. Photo Michel Roggo

Encart 1

Tintenstriche – un habitat bleu-vert à flanc de falaise

Impossible de ne pas les remarquer : les traînées noires qui zèbrent beaucoup de falaises a priori inhospitalières en haute montagne. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il ne s'agit pas de dépôts de minéraux mais d'un véritable habitat bleu-vert judicieusement nommé « Tintenstriche » (traits d'encre). Ses principaux habitants sont des cyanobactéries. Ces bactéries souvent appelées algues bleues peuplent la Terre depuis plus de 3,5 milliards d'années et constituent donc l'une des formes de vie les plus anciennes de notre planète. On suppose qu'elles ont été les premiers êtres vivants à utiliser le soleil comme source d'énergie. Contrairement à toutes les autres bactéries, elles sont en effet capables de photosynthèse. C'est donc grâce à elles que l'atmosphère s'est enrichie en oxygène, ce qui a permis l'apparition de la vie animale.

Des croûtes vivantes dans des environnements extrêmes

Les traînées noires apparaissent là où de l'eau de pluie ou de fonte des neiges ruisselle régulièrement sur la roche (figure 10). Sur ce substrat temporairement humide, les cyanobactéries forment des biofilms bleu-gris à brun-noir qui se distinguent nettement du milieu environnant sur les roches claires. De véritables croûtes se forment lorsque les bactéries entrent en symbiose avec des champignons pour constituer des lichens foliacés ou arbusculeux. Les



Fig. 10: Paroi rocheuse calcaire présentant des traînées noires appelées « Tintenstriche » dans les Alpes suisses (Mittagthore). Photo Francesca Pittino

cyanobactéries sont des partenaires particulièrement intéressantes pour les champignons formant des lichens car certaines espèces ne fixent pas seulement le carbone mais aussi l'azote, un autre élément essentiel à la vie.

Bien que les « Tintenstriche » soient omniprésents dans les Alpes, leurs communautés ne sont étudiées en détail que depuis peu. Leurs conditions de vie sont rudes et très contrastées, notamment en altitude, au-dessus de la limite des forêts : en hiver, l'eau est en général gelée ; dans les autres saisons, gel et dégel peuvent alterner dans une même journée. En plein soleil, la surface sombre peut atteindre 60°C. En fin d'été, l'habitat peut s'assécher totalement. Les lichens ont donc une croissance extrêmement lente.

Des liens étroits avec le milieu environnant

L'étude de plus de 200 « Tintenstriche » répartis dans toutes les Alpes suisses a révélé une grande diversité, jusque là insoupçonnée, de cyanobactéries dans ces milieux pionniers. Les scientifiques ont prélevé du matériel biologique sur les falaises, ont déterminé les séquences d'ADN qu'il contenait et ont comparé ces séquences à celles répertoriées dans des bases de données de référence. Ils ont alors identifié des parties de gènes qui permettent aux bactéries de produire des substances potentiellement toxiques pour d'autres êtres vivants. On sait que les cyanobactéries produisent des toxines et que les lacs doivent être interdits à la baignade lorsqu'elles prolifèrent et forment des blooms mais on ignore encore l'implication des séquences découvertes dans les Tintenstriche pour l'environnement.

Les lichens à cyanobactéries servent de nourriture à des organismes herbivores tels que les escargots et certaines chenilles spécialisées qui, à leur tour, finissent dans l'estomac de certains oiseaux et petits mammifères. D'autres études montreront quels effets les cyanobactéries potentiellement toxiques des Tintenstriche peuvent avoir sur l'écosystème. Certains herbivores sont-ils capables de métaboliser les toxines ? Est-ce que certains stockent même ces toxines pour se protéger des prédateurs ? Les eaux qui s'écoulent des traînées noires contiennent-elles des toxines ? Ces questions montrent, à titre d'exemple, à quel point les milieux bleu-vert sont interconnectés avec leur environnement, même sur les parois rocheuses de haute altitude.

Pittino F., Oliveira J., De Almeida Torres M., Fink S., Janssen E.M.L., Scheidegger C. (2022): Cyanobacteria: Extreme environments and toxic metabolites. *Chimia* 76, 967–969. doi.org/10.2533/chimia.2022.967

Encart 2

Le castor, véritable bâtisseur d'habitats bleu-vert

La réintroduction du castor à partir des années 1950 est une véritable success story. Près de 5000 individus œuvrent aujourd'hui dans nos cours d'eau (figure 11) : comme ils l'ont toujours fait, ils remodelent les paysages fluviaux en les connectant avec le milieu terrestre. Pour cela, ils abattent des arbres et construisent des barrages. Le but est de maintenir l'entrée de la hutte sous l'eau toute l'année pour se protéger des prédateurs. D'autre part, le castor préfère atteindre sa nourriture en nageant qu'en marchant. En 2022, on recensait plus de 1300 barrages de castors dans les rivières suisses.

Une biodiversité remarquable et des services écosystémiques considérables

Les biotopes modelés par le castor forment un réseau dynamique d'étangs, de zones humides et de cours d'eau lents et bien structurés (figure 11). Il s'y établit rapidement une biodiversité bleu-vert particulièrement riche. Par rapport aux cours d'eau voisins sans castor, ils présentent une diversité et une densité incomparablement plus élevées de poissons, de batraciens, de mammifères de petite taille ou de taille moyenne et de plantes aquatiques.

Les poissons profitent par exemple de la diversité structurelle créée dans l'eau, avec ses canaux et amas de bois mort. Mais les espèces terrestres y trouvent aussi un milieu plus favorable. Des chercheurs ont ainsi mis en évidence une activité accrue de chauves-souris chassant les insectes aquatiques. Les milieux à castor peuvent fournir des services écosystémiques considérables : l'eau y séjournant plus longtemps, ils favorisent l'autoépuration de l'eau, la reconstitution des réserves d'eau souterraine et l'écrêtement des crues. Par ailleurs, ils offrent de magnifiques espaces de détente et de loisir.



Fig. 11 : Près de 5000 castors sont à l'oeuvre dans les cours d'eau suisses. Comme ici, à Marthalen dans le canton de Zurich, le castor peut créer des habitats bleu-vert diversifiés qui rendent de grands services écosystémiques. Photos Morgane Brosse et Daniel Mathys

Intégrer le castor dans les projets d'aménagement des cours d'eau

Malgré tous ces avantages, la cohabitation avec le castor, de retour après 150 ans d'absence, n'est pas sans heurts. Il revient en effet dans un paysage dans lequel les zones de transition entre terre et eau ont été envahies, notamment par les infrastructures routières et l'agriculture. L'inondation des terres agricoles, le creusement de galeries sous les routes et chemins et les dégâts causés aux cultures agricoles et forestières peuvent poser problème. Une enquête auprès des cantons révèle toutefois qu'en Suisse, seulement un tiers des zones à castor font l'objet de conflits. Les dégâts aux cultures agricoles et sylvicoles sont depuis longtemps dédommagés à 100 % et ceux occasionnés aux infrastructures le seront aussi bientôt, de même que les mesures préventives. Par ailleurs, les infrastructures touchées sont le plus souvent des chemins de terre, dont la réparation n'est pas très coûteuse.

En général, les conflits sont l'expression de problèmes plus profonds. La plupart des cours d'eau disposent de trop peu d'espace et la séparation entre terre et eau se fait souvent sans transition aucune. Les conflits apparaissent surtout là où la rivière a été corsetée par des infrastructures. Ils se rencontrent très rarement dans les cours d'eau naturels.

Si, à l'avenir, nous faisons preuve de prévoyance et intégrons d'entée de jeu le castor dans les projets d'aménagement des cours d'eau, il peut nous aider à modeler des rivières plus vivantes et en meilleure santé. En même temps, les conflits peuvent être évités en amont, par une attitude proactive. Ces deux précautions permettront de réaliser des économies et d'atteindre plus rapidement et plus sûrement les objectifs de la protection des eaux.

Systemes bleu-vert

Les habitats bleu-vert ne sont pas les seuls éléments de jonction entre terre et eau. En effet, les milieux soi-disant purement terrestres et aquatiques entretiennent d'importants échanges d'énergie, de matière et d'organismes qui vont bien au-delà de l'espace occupé par les habitats bleu-vert en eux-mêmes. C'est là qu'intervient le concept de métaécosystème qui considère les relations et interactions à grande échelle entre différents habitats et écosystèmes. Il souligne l'idée selon laquelle la dynamique d'un écosystème ne dépend pas uniquement des processus internes qui s'y déroulent mais aussi de ses couplages avec d'autres écosystèmes environnants.

Moor H., Gossner M.M., Graham C., Hobi M.L., Holderegger R., Reber U., Altermatt F., Logar I., Matthews B., Narwani A., Seehausen O., Shipley R., et al. (2021) : Biodiversitätsschutz dank Ökosystem-übergreifendem Denken. Forschungsinitiative Blau-Grüne Biodiversität (BGB). *Aqua & Gas* 101/12, 44–49.

Moor H., Gossner M.M., Graham C., Hobi M.L., Logar I., Narwani A., Reber U., Seehausen O., Holderegger R., Altermatt F. (2022) : Besserer Biodiversitätsschutz in blau-grünen Ökosystemen. *N+L Inside* 2022/1, 25–29.

Migrations et cycles de développement multi-milieux

Beaucoup d'espèces animales accomplissent leur cycle biologique dans une succession d'habitats aquatiques et terrestres. Les migrations effectuées par les grenouilles rousses et les crapauds communs en sont des illustrations bien connues. Comme la plupart des batraciens, ils sont inféodés au milieu aquatique au stade de têtard à respiration

branchiale. À l'âge adulte, ils migrent dans les forêts ou prairies diversifiées environnantes où ils trouvent de la nourriture et passent l'hiver. Ils reviennent ensuite pour se reproduire dans les mares, étangs et autres lacs où ils séjournent de quelques jours à quelques semaines.

Les libellules ont, elles aussi, un cycle de développement qui inclut terre et eau. Alors qu'au stade larvaire, elles vivent de la capture de proies dans l'eau, leur terrain de chasse est aérien au stade adulte ailé. Ces zones de chasse sont souvent assez éloignées du milieu aquatique, à l'orée des bois ou dans des prairies et pâturages fourmillant de vie. Cette parfaite adaptation aux deux types de milieu les rend absolument fascinantes.

Réseaux trophiques et flux de matières inter-milieux

Les milieux aquatiques sont à la fois des écosystèmes d'une grande productivité et des terrains de chasse privilégiés. Certains oiseaux comme les hérons, les cormorans et les martins-pêcheurs pêchent ainsi dans les lacs et cours d'eau. Les canards et cincles plongeurs se nourrissent de plantes aquatiques, de coquillages et de larves d'insectes aquatiques. Une fois au stade adulte ailé, les insectes aquatiques comme les éphémères, les plécoptères et les trichoptères font le régal d'autres oiseaux comme les hirondelles (encart 3).

Mais ces relations de prédation, qui forment ce que l'on appelle des réseaux trophiques, ne sont pas unidirectionnelles. Le milieu terrestre nourrit aussi le milieu aquatique. L'apport, à l'automne, de feuilles mortes se détachant des forêts et arbres isolés environnants est loin d'être négligeable et il nourrit des légions de gammares et autres organismes aquatiques (encart 4). Ces derniers servent à leur tour de nourriture aux poissons et aux oiseaux.

Le carbone des feuilles mortes, initialement terrestre, est incorporé dans le réseau trophique aquatique. Une partie

revient à terre, avec d'autres nutriments importants, à travers les déjections des oiseaux chasseurs. Qui plus est, les milieux aquatiques apportent d'eux-mêmes des matières nutritives dissoutes et des sédiments aux habitats terrestres environnants à l'occasion des crues. À l'époque préindustrielle, ces apports accroissaient la fertilité des sols sur les rives et favorisaient la croissance des plantes et cultures.

Moor H., Gossner M.M., Graham C., Hobi M.L., Logar I., Matthews B., Narwani A., Seehausen O., Holderegger R., Altermatt F. (2022) : Blau-grüne Biodiversität ist ein wichtiger Teil des Waldes. *Wald und Holz* 2022/4, 30–33.

Avant que les humains ne commencent à séparer le milieu terrestre du milieu aquatique (chapitre 3), quand les hydro-systèmes étaient encore vivants et dynamiques, il existait des réseaux trophiques beaucoup plus complexes et bien d'autres relations entre bleu et vert. Ainsi, les saumons qui remontaient chaque année le Rhin par millions et se répartissaient dans l'Aar, la Limmat et la Reuss avant de mourir après avoir frayé, ne servaient pas uniquement de nourriture aux oiseaux et aux mammifères. Leurs déjections et leurs dépouilles apportaient aussi énormément de matières nutritives qui se déposaient sur les rives et les terres environnantes.

Aujourd'hui, les flux de matières s'effectuent plus souvent du milieu terrestre vers le milieu aquatique. Étant donné que l'espace dévolu aux habitats bleu-vert le long des rives est souvent trop étroit, les engrais et particules de sol se déversent dans les lacs et cours d'eau et entraînent une eutrophisation du milieu et un colmatage du fond, ce qui dégrade fortement la qualité des habitats aquatiques.

Encart 3

Les milieux aquatiques enrichissent le menu des oiseaux

Les insectes aquatiques jouent un rôle crucial dans les écosystèmes d'eau douce. Ils dégradent la matière organique et servent de nourriture aux poissons et aux oiseaux vivant au bord de l'eau comme la bergeronnette grise ou le cincle plongeur. Mais la chaîne alimentaire ne s'arrête pas à la rive. Beaucoup d'insectes aquatiques comme les éphémères, les plécoptères et les trichoptères ont des stades adultes ailés qui vivent en milieu terrestre. Dans les prairies et les forêts, ils sont un maillon important de la chaîne alimentaire et font donc partie intégrante du système bleu-vert (figure 12). Les araignées, coléoptères, lézards, chauves-souris, oiseaux et bien d'autres profitent de cette source de nourriture riche et saine, qui s'avère indispensable à une grande biodiversité en milieu terrestre.

Manne aquatique pour les oiseaux

Les avantages d'une nourriture issue des ruisseaux pour les oiseaux sont bien connus. Environ 65 % des espèces aviaires indigènes consomment des insectes, au moins pendant la période de nidification. Un couple d'hirondelles de cheminée donne ainsi en moyenne un kilogramme d'insectes à sa couvée sur cette période. Cela représente 50 fois le poids moyen d'un adulte. Si les hirondelles commencent à nicher en mai, les insectes présents sont alors principalement d'origine aquatique (figure 13). La qualité de l'habitat dans l'écosystème d'eau douce a ainsi, à travers la chaîne alimentaire, un effet direct sur les insectivores terrestres. Des études ont démontré qu'il existait une relation générale entre la présence d'oiseaux insectivores, l'abondance des insectes aquatiques à terre et la longueur de rive des cours d'eau.



Fig. 12: Myriade d'éphémères photographiées dans le North Yorkshire, UK. De telles masses d'insectes étaient également observables au-dessus des grands cours d'eau suisses jusqu'au XIX^e siècle. Photo Wayne Hutchinson/Alamy Stock Foto

Il est important que le réseau hydrographique soit suffisamment dense. En effet, 20 à 50 % des éphémères, plécoptères et trichoptères adultes ne s'éloignent que d'une centaine de mètres du cours d'eau. Restent tout de même 10 % d'individus qui intègrent la chaîne alimentaire terrestre à une distance de 150 à 650 mètres de la rive. Chez les chironomes, cette distance peut même aller jusqu'à plusieurs kilomètres.

Un vrai superaliment

L'importance des insectes aquatiques en tant que source de nourriture ne réside pas seulement dans leur période de présence en milieu terrestre mais aussi dans leur qualité nutritionnelle : ils contiennent en effet de 10 à 20 fois plus d'oméga-3 à chaîne longue que les insectes terrestres (figure 13). Ils les tirent en effet des algues dont ils se nourrissent, qui contrairement à la plupart des végétaux terrestres, synthétisent ces acides gras.

Les oiseaux et les mammifères ont besoin d'absorber suffisamment d'oméga-3 dans leur alimentation pour leur croissance, leur reproduction et leur survie. Les oisillons, notamment, grandissent plus vite et ont de meilleures chances de survie s'ils bénéficient d'apports suffisants en acides gras oméga-3 à chaîne longue.

L'apport de ressources alimentaires abondantes et de grande valeur nutritionnelle aux réseaux trophiques terrestres est l'un des services écosystémiques rendus par les rivières et plans d'eau naturels et semi-naturels. Jusqu'à présent, ce rôle a été sous-estimé dans les stratégies de préservation et de stimulation de la biodiversité et il devrait être mis en valeur dans les projets de revitalisation.

Twining C.W., Shipley J.R., Matthews B. (2022): Climate change creates nutritional phenological mismatches. *Trends in Ecology & Evolution* 37, 736–739. doi.org/10.1016/j.tree.2022.06.009

Shipley J.R., Twining C.W., Mathieu-Resuge M., Parmar T.P., Kainz M., Martin-Creuzburg D., Weber C. Winkler D.W., Graham C.H., Matthews B. (2022): Climate change shifts the timing of nutritional flux from aquatic insects. *Current Biology* 32, 1–8. doi.org/10.1016/j.cub.2022.01.057

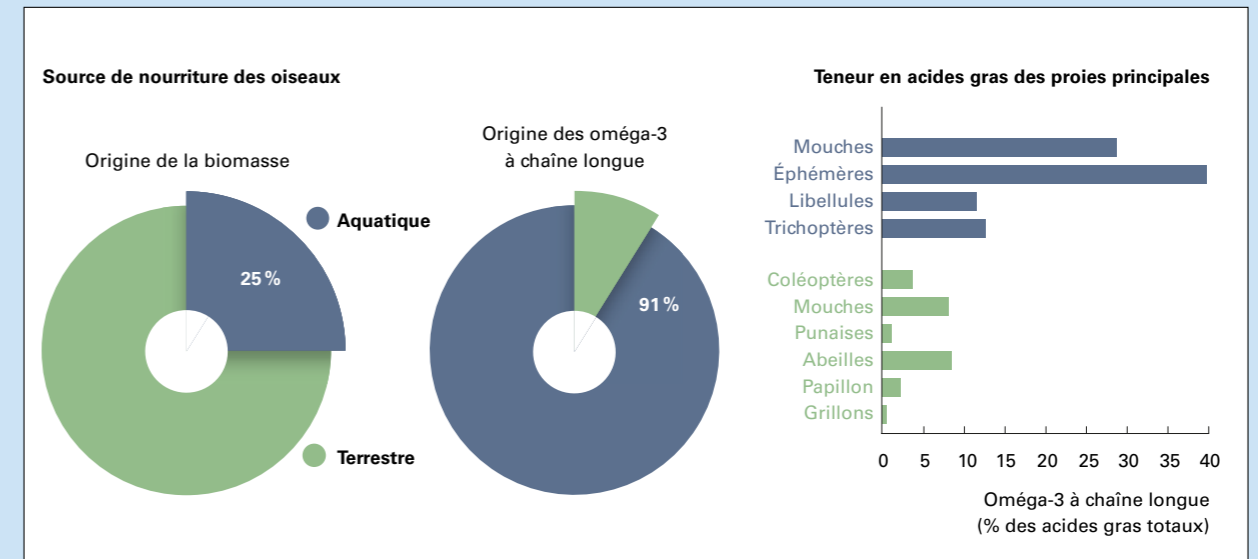


Fig. 13 : À gauche : origine de la nourriture des oiseaux. Dans les disques, les surfaces en bleu correspondent à une origine de la biomasse aquatique, les surfaces en vert à une origine terrestre. Au milieu : origine des acides gras oméga-3 à chaîne longue en fonction de la source de nourriture. À droite : teneurs respectives des insectes aquatiques et terrestres en acides gras insaturés à chaîne longue oméga-3. Exemple de lecture : un insectivore hypothétique se nourrissant à 75 % d'insectes terrestres, tirerait 91 % de ses apports en oméga-3 à chaîne longue des insectes aquatiques. D'après Shipley et al. 2022, modifié

Encart 4

Les feuilles mortes, aliments des cours d'eau

Contrairement aux milieux terrestres dans lesquels la photosynthèse assure la capture d'immenses quantités de carbone, les rivières ont besoin d'apports externes de biomasse pour que leur réseau trophique fonctionne. La quantité de carbone d'origine terrestre est ainsi beaucoup plus élevée que celle produite dans le système aquatique. Les feuilles mortes sont un point de départ important pour la chaîne alimentaire. À l'automne, cette litière ne se dépose en effet pas uniquement sur les sols forestiers mais aussi sur les rivières (figure 14). Un seul kilomètre de ruisseau peut ainsi recevoir des tonnes de feuilles mortes apportées par le vent ou la gravité – à condition qu'il y ait suffisamment d'arbres aux environs. Dans l'eau, une myriade de petits animaux dégrade cette litière ou s'y abrite. Les principaux sont les gammares (figure 15). Les feuilles mortes et autres débris organiques qui se retrouvent dans les rivières ont donc une influence directe sur la vie aquatique.

Le comptage de 22 000 invertébrés dans divers ruisseaux de Thurgovie et du Tessin a révélé un effet global : les tronçons coulant en forêt présentent beaucoup plus d'espèces et d'individus spécialisés dans la dégradation des feuilles mortes que les autres. Cette observation souligne l'importance de la forêt pour la vie aquatique. Sa présence est

particulièrement précieuse dans le bassin versant et la partie amont des cours d'eau car les feuilles mortes qui s'y déposent peuvent ainsi alimenter en matière organique et en nutriments les tronçons situés en aval dans des zones

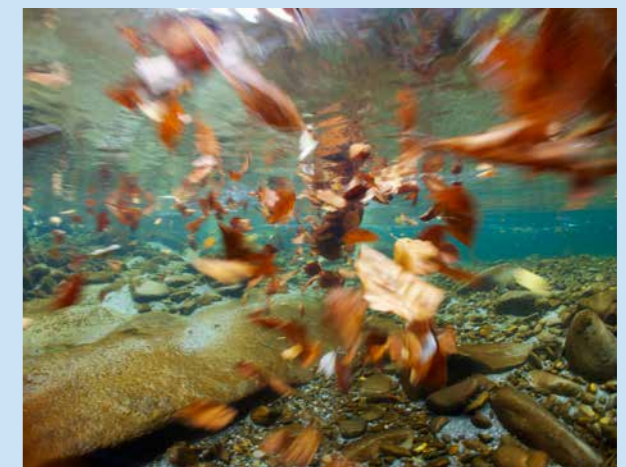


Fig. 14 : À l'automne, principalement, de grandes quantités de feuilles mortes se déposent dans les rivières (ici dans la Singine). Photo Michel Roggo

non boisées. La présence de forêts ou du moins d'arbres et arbustes isolés sur les rives est ainsi bénéfique aux cours d'eau ; ils doivent donc être maintenus dans le cadre des re-naturations. Reste cependant encore à élucider le rôle que joue la composition des différents peuplements forestiers – et donc la qualité et l'abondance de leurs feuilles mortes – pour les processus.

Oester R., dos Reis Oliveira P.C., Moretti M.S., Altermatt F., Bruder A. (2023): Leaf-associated macroinvertebrate assemblage and leaf litter breakdown in headwater streams depend on local riparian vegetation. *Hydrobiologia* 850, 3359–3374. doi.org/10.1007/s10750-022-05049-7



Fig. 15: Les gammarus (*Gammarus fossarum*) sont de petits crustacés qui se nourrissent des feuilles mortes qui tombent dans les cours d'eau. Photo Florian Altermatt

Bleu et vert, les couleurs du paysage

Presque tous les paysages sont imprégnés d'un système bleu-vert plus ou moins fort selon la distance par rapport au lac ou cours d'eau, mais dont les effets

portent loin dans les habitats terrestres ou aquatiques supposés isolés. Il est important de comprendre ces systèmes bleu-vert pour pouvoir protéger toute la

biodiversité de nos paysages. En effet, les changements qui surviennent dans un habitat ont des effets sur d'autres milieux distants. La préservation et l'utilisation durable et responsable de ces habitats sont cruciales pour que l'ensemble de l'écosystème conserve sa capacité de fonctionnement.

Malheureusement, les modes de pensée sectoriels, axés soit sur les milieux aquatiques soit sur les milieux terrestres, sont encore monnaie courante dans la recherche, l'enseignement, la finance, le droit et la protection de l'environnement (chapitre 6). Cette séparation dans les esprits ne correspond pas à la réalité mais a des conséquences dans la manière dont la protection de la nature s'effectue au quotidien.



Fig. 16: Les habitats aquatiques et terrestres sont imbriqués les uns dans les autres (Verzasca). Photo Michel Roggo.

À retenir

- > Les habitats aquatiques et terrestres sont étroitement liés les uns aux autres. Les modifications dans un milieu ont des répercussions dans l'autre. Cela concerne notamment les réseaux trophiques et les flux de matières.
- > Les habitats bleus et verts doivent être considérés de manière combinée, en se concentrant sur les processus écologiques. Cela vaut aussi bien pour leur utilisation durable que pour les mesures prises pour les protéger et les valoriser.

Chapitre 3

État et évolution de la biodiversité bleu-vert

Il reste beaucoup à faire, en Suisse, pour préserver et stimuler la biodiversité bleu-vert. Les mesures déjà prises sont encourageantes et montrent l'effet voulu mais elles ne suffisent pas. Le changement climatique vient de plus compliquer la situation. Il agit sur la biodiversité dans l'eau comme à terre de manière complexe et subtile et affecte non moins subtilement les interactions entre milieux aquatiques et terrestres.



Fig. 17: Les fleuves et rivières suisses ont été corsetés et canalisés dans les siècles passés. On essaie aujourd'hui de rendre leur liberté à de plus en plus de tronçons de cours d'eau pour qu'ils retrouvent un état plus naturel, comme ici, l'Inn à Bever en Engadine. Photo Christine Levy

La Suisse drainée et asséchée

De très nombreuses informations attestent de l'état insatisfaisant de la biodiversité en Suisse. Sur le plateau, en particulier, beaucoup d'espèces devenues rares vivent dans de petits fragments de biotopes isolés, à la qualité écologique souvent déclinante, dans un territoire de faible biodiversité voué à une exploitation intensive. Elles ont le besoin urgent d'un réseau fonctionnel de surfaces de grande valeur écologique reliées entre elles par des éléments viables. Sur tout son territoire, la Suisse est d'autre part confrontée à un grave problème d'homogénéisation des communautés suite à l'intensification de l'utilisation du territoire (encart 5).

Les écosystèmes bleus et bleu-vert ont particulièrement souffert. Il y a à peine 200 ans, l'eau était l'élément dominant des paysages suisses et les habitats bleu-vert étaient omniprésents. Typiquement, les milieux verts et bleus étaient étroitement imbriqués les uns dans les autres à petite échelle et jouissaient d'une multitude d'interactions (chapitre 2).

La déconnexion des milieux aquatique et terrestre

Aujourd'hui, terre et eau sont presque totalement séparées. Les cours d'eau – ces veines de la nature – ont été systématiquement endigués et dégradés au rang de voies d'eau et de collecteurs d'eaux

usées (figure 18). Beaucoup de ruisseaux ont été enterrés et ont ainsi disparu du paysage (figure 19). Les hauts et bas-mais ont été systématiquement exploités pour la tourbe, asséchés puis transformés en champs ou pâturages. Les zones alluviales dissociées des rivières ont été déboisées puis occupées pour l'habitat ou pour l'agriculture.

Suite à ces atteintes, la biodiversité est très affectée dans et au bord des milieux aquatiques et humides. Son état est même encore plus préoccupant que dans les milieux terrestres (figure 20). Tout le système bleu-vert est hors d'état de fonctionner.

Le problème du drainage

Environ un cinquième de la surface agricole utile de la Suisse est drainée. Les drains agricoles établissent une liaison directe et rapide entre les terres agricoles et le milieu aquatique, ce qui pose de nombreux problèmes écologiques. Ils accentuent par exemple les rejets de pesticides et de nutriments à partir des sols agricoles et accélèrent l'évacuation de l'eau qui s'y dépose, ce qui induit des crues exagérées dans les cours d'eau et affecte leurs communautés biotiques. Le drainage prive par ailleurs la faune et la flore dépendantes des milieux humides de leur habitat et empêche les précipitations en excès de recharger les nappes phréatiques.



Fig. 18: En 1972, un public nombreux est venu assister à l'arrivée de la Birse dans son lit nouvellement rectifié et endigué à Aesch (BL). Pendant des siècles, la société humaine s'est efforcée d'établir une limite bien nette entre le bleu et le vert. Photo Office des ponts et chaussées de Bâle-Campagne



Fig. 19: La campagne suisse drainée et asséchée. À gauche : opération de mise sous terre d'un ruisseau. À droite : installation de drains agricoles. Photo de gauche archives privées de Paul Schaub-Börlin ; photo de droite Office des ponts et chaussées de Bâle-Campagne

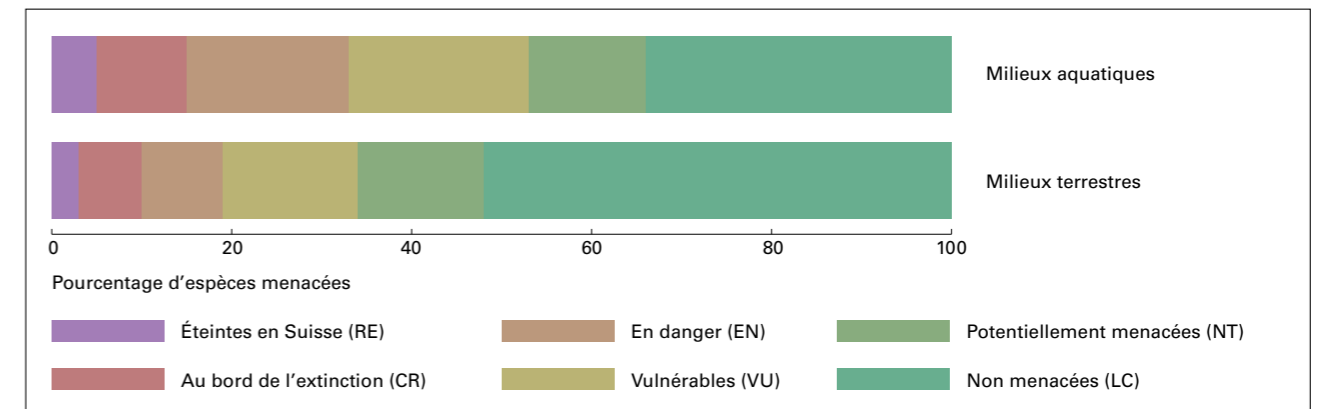


Fig. 20: Part d'espèces animales et végétales selon les catégories de menace dans les milieux aquatiques et terrestres. Seuls les groupes d'organismes qui comprennent aussi bien des espèces terrestres que des espèces aquatiques ont été pris en compte (nombres absolus d'espèces aquatiques : 1011 ; espèces terrestres : 6327). Source : Synthèse des listes rouges 2023, OFEV

Encart 5

L'homogénéisation écologique se produit déjà à un degré d'exploitation modéré

L'exploitation des terres, le changement climatique, les perturbations des cycles biogéochimiques et bien d'autres interventions humaines dans les écosystèmes modifient la biodiversité à différentes échelles spatiales. Au niveau local à régional, ces transformations sont complexes. Pour mieux les comprendre, il est donc nécessaire de collecter et d'analyser un très grand nombre de données.

Biodiversité : bien plus que la diversité des espèces

La biodiversité s'exprime notamment par les différences de composition de la faune et de la flore entre les habitats d'un même type dans une région donnée. À l'échelle du paysage, cette diversité dite bêta résulte de différences parmi un certain nombre de facteurs écologiques. Ainsi, dans les paysages ruraux à petites parcelles exploités de manière traditionnelle, les prairies se distinguent par leur forme d'utilisation, l'humidité de leur sol, leur richesse en nutriments, etc., et présentent donc différents cortèges d'espèces. Qu'advient-il de cet aspect crucial de la biodiversité lorsque l'exploitation s'intensifie ?

Des biologistes ont obtenu des éléments de réponse en analysant une quantité gigantesque de données : collectées dans 162 sections de paysage dans toutes les régions du monde, elles décrivent 13 000 communautés aquatiques et terrestres. Une partie non négligeable de ces données provient des programmes de monitoring suisses.

En dehors des informations sur la diversité spécifique, les données livrent des détails sur l'intensité de l'exploitation des terres sur le site et sur la variabilité de caractères des espèces comme la taille des animaux ou des plantes ou la teneur des feuilles en pigments. Cette diversité fonction-

nelle est importante pour la stabilité et la viabilité des écosystèmes.

Zones protégées : une absolue nécessité

Les résultats sont inquiétants : ils révèlent que dans des régions entières, les habitats se ressemblent de plus en plus à mesure que l'exploitation s'intensifie. Cette homogénéisation n'est cependant pas linéaire mais augmente rapidement et atteint un niveau de saturation à partir d'un degré d'exploitation pourtant modéré. Si l'intensification se poursuit, les inventaires d'espèces ne se rapprochent plus particulièrement : il semble donc que dès que l'exploitation des terres atteint une intensité moyenne, les espèces généralistes, peu exigeantes, prennent le dessus dans les communautés et prédominent au niveau régional tandis que les espèces spécifiquement adaptées localement disparaissent ou ne sont quasiment plus détectables. Cette observation souligne l'importance, pour la préservation de la biodiversité, de zones naturelles protégées, très peu ou non exploitées ou gérées de façon ciblée.

Curieusement, les écosystèmes bleus et verts ne réagissent pas de la même façon aux différentes intensités d'exploitation. Alors que dans les milieux aquatiques, l'homogénéisation est très forte au niveau de la diversité en espèces (c'est-à-dire que les espèces tendent à être les mêmes partout dans les paysages d'exploitation intensive), cette homogénéisation concerne particulièrement les caractères des espèces dans les milieux terrestres (c'est-à-dire que les espèces tendent à présenter les mêmes traits écologiques dans les paysages d'exploitation intensive) (figure 21).

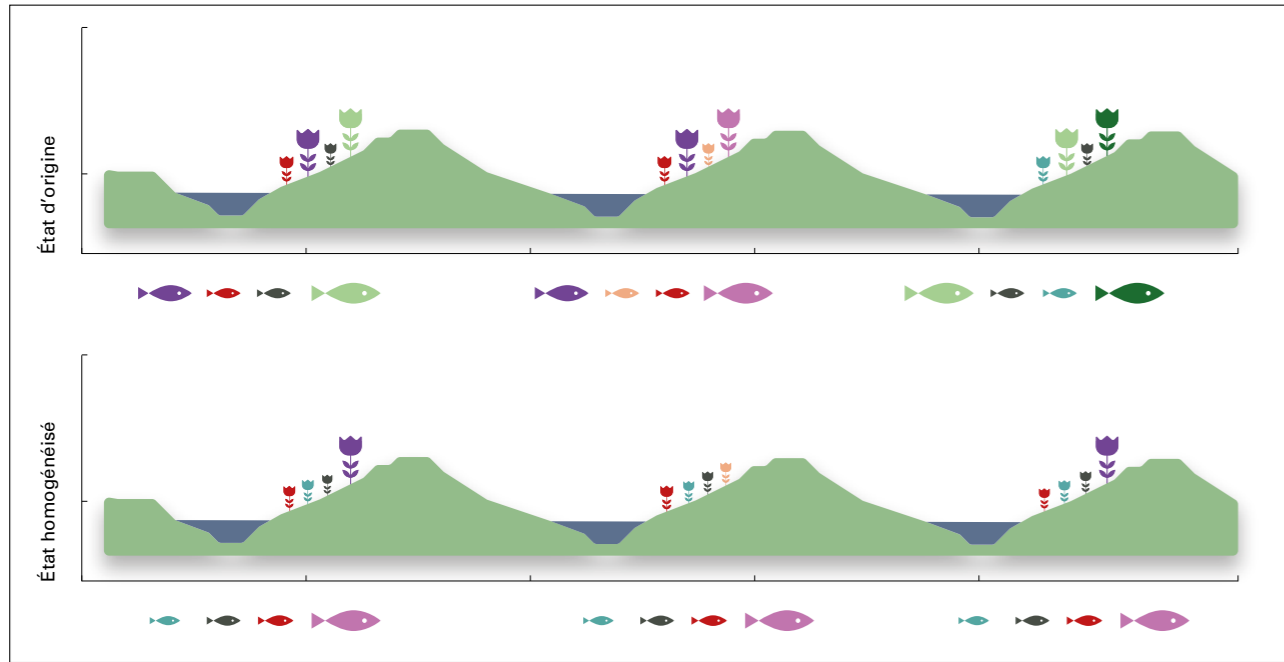


Fig. 21 : L'homogénéisation peut concerner aussi bien la diversité en espèces que la variabilité des caractères des espèces. Dans la figure, la diversité en espèces est représentée par différentes couleurs et la diversité des caractères par différentes tailles. L'homogénéisation des espèces est particulièrement marquée dans les milieux aquatiques tandis qu'elle concerne surtout les caractères en milieu terrestre. Dans notre exemple, l'homogénéisation qui s'est produite dans les milieux aquatiques a fait que le même cortège d'espèces se retrouve dans tous les cours d'eau de la région. Illustration: VISIMON STUDIO

Un changement d'état d'esprit aux effets positifs déjà perceptibles

Depuis le début du siècle, des efforts sont entrepris pour annuler, au moins par endroit, les dérives dues aux anciens modes de pensée (figure 22). Ils ont déjà permis d'améliorer la situation des eaux suisses à bien des égards.

> Les zones humides d'importance nationale restantes, comme les zones alluviales et les marais, sont protégées par la loi et sont de plus en plus souvent gérées de manière conforme à leur situation géographique et, au besoin, assainies. Malgré cette protection, la qualité des marais ne s'est toutefois maintenue ou améliorée que par endroit et ne s'est stabilisée à grande échelle qu'à un niveau très bas.

> La qualité de l'eau, longtemps médiocre, s'est fortement améliorée depuis les années 1970. Mais le problème de la pollution par les pesticides perdure, notamment en raison du drainage agricole qui relie directement le milieu aquatique et les terres cultivées.



Fig. 22 : Ces dernières années, beaucoup de nouvelles mares ont été aménagées en Suisse. Avec des effets positifs sur la biodiversité. Photo Beat Schaffner

> De nouvelles mares ont été aménagées un peu partout avec des effets positifs (chapitre 4).
> De plus en plus de ruisseaux sont remis à ciel ouvert, les fleuves et rivières

autrefois canalisés se voient octroyer plus d'espace et sont mieux connectés avec le milieu terrestre (chapitre 6).
Mais il reste encore beaucoup à faire. Nous devons encore relever le grand

défi du dérèglement climatique et celui du respect de la biodiversité dans le développement des énergies renouvelables, le développement des villes et l'affectation des terres.

L'influence du dérèglement climatique

Les changements climatiques d'origine anthropique modifient divers facteurs écologiques qui ont une influence sur la survie, la distribution et l'activité des animaux, végétaux et micro-organismes. Les événements extrêmes comme les

sécheresses, les canicules, les tempêtes et les inondations voient leur fréquence et leur intensité augmenter et peuvent avoir un impact direct sur la biodiversité, notamment en détruisant les habitats. Les effets indirects sont plus difficiles à

mettre en évidence. Les modifications du régime des températures et des précipitations peuvent ainsi produire des décalages dans les écosystèmes, qui peuvent impacter différentes formes d'interactions (encarts 6, 7 et 8).

Encart 6

Les réseaux trophiques bleus et verts ne sont pas organisés et structurés de la même façon

Pour comprendre l'effet global des modifications environnementales dans un écosystème, il faut considérer les interactions entre les différentes espèces. Cela suppose de connaître les espèces présentes et de savoir comment et pourquoi elles s'influencent mutuellement. Grâce aux très nombreuses données collectées dans les programmes de monitoring de la biodiversité, les biologistes ont pu reconstruire les réseaux trophiques potentiels

de plus de 1000 sites répartis dans toute la Suisse. Toutes les liaisons potentielles entre les espèces d'un cortège donné ont alors été déterminées : par exemple, les relations de prédation entre une espèce de poisson et tous les animaux dont elle peut éventuellement se nourrir, comme les insectes aquatiques.

Les résultats montrent pour la première fois que les réseaux trophiques bleus et verts n'ont pas la même organisation

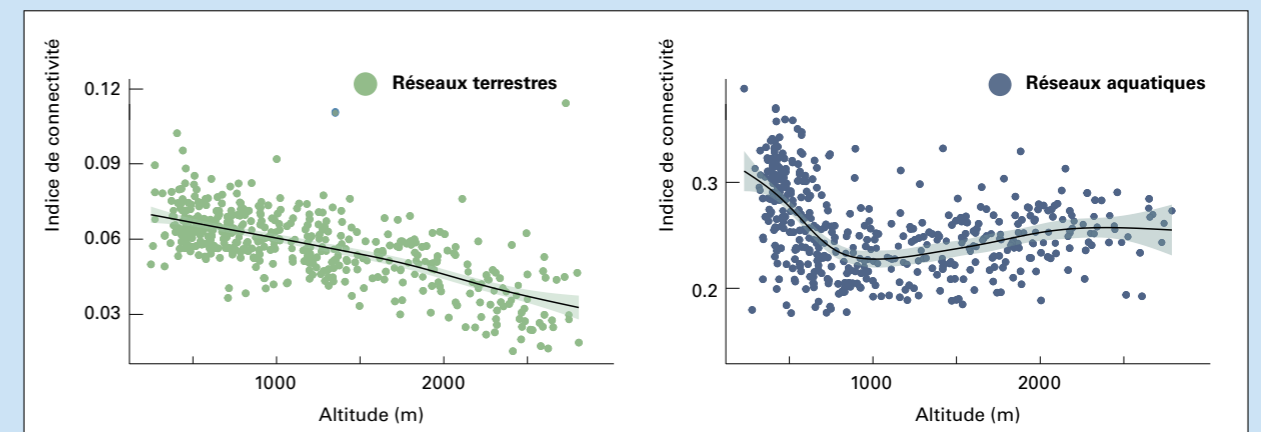


Fig. 23 : Évolution de l'indice de connectivité des réseaux trophiques aquatiques et terrestres en fonction de l'altitude. Cet indice compris entre 0 et 1 décrit la complexité des interactions entre espèces et donc le niveau de connectivité interne du réseau. En milieu terrestre, l'indice de connectivité diminue progressivement avec l'altitude. En milieu aquatique, il commence également par diminuer avec l'altitude mais se stabilise ensuite à un niveau assez constant. D'après Ho et al. 2022, modifié.

architecturale et que leurs propriétés structurelles et écologiques évoluent différemment le long des gradients d'altitude (figure 23). Cela permet de faire des prévisions intéressantes, car ce gradient peut servir d'indicateur des réactions potentielles des réseaux trophiques aux changements climatiques. D'autre part, les réseaux trophiques bleus et verts réagissent différemment aux changements d'affectation des

terres. Une seule modification des conditions environnementales peut avoir des effets distincts sur les communautés terrestres et aquatiques, ce qui rend très complexe son effet global sur la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème. Par conséquent, les stratégies de gestion appliquées aux milieux terrestres peuvent avoir des effets en cascade inversés dans les systèmes aquatiques.

Ho H.C., Brodersen J., Gossner M.M., Graham C.H., Kaeser S., Reji Chacko M., Seehausen O., Zimmermann N.E., Pellissier L., Altermatt F. (2022): Blue and green food webs respond differently to elevation and land use. *Nature Communications* 13, 6415. doi.org/10.1038/s41467-022-34132-9

Ho H.C., Pellissier L., Altermatt F. (2023): Die Klimaerwärmung bedroht die biologische Vielfalt und intensive landwirtschaftliche Nutzung kann dies zusätzlich verschärfen. *N+L Inside* 2023/1, 20–23.

Encart 7

Les systèmes bleus et verts ne réagissent pas de manière synchronisée

Le dérèglement climatique induit des changements dans la phénologie, c'est-à-dire au niveau des phénomènes périodiques qui suivent le rythme des saisons. Quelles sont les implications pour le système bleu-vert? Observe-t-on des tendances générales ou des différences notables? Pour répondre à ces questions de manière globale, des scientifiques ont exploité les données collectées ces vingt dernières années par les satellites d'observation environnementale avec une nouvelle méthode pour déterminer les phénomènes phénologiques qui se sont déroulés dans 4264 lacs et leurs bassins versants répartis dans toutes les régions du monde.

Les résultats montrent que la phénologie du phytoplancton des lacs réagit plus fortement aux changements climatiques que celle de la végétation des bassins environnants. Cela peut entraîner des décalages dans la phénologie des milieux bleus et des milieux verts. Toutefois, leur sens et leur ampleur peuvent fortement varier d'une région à l'autre. Cette information est importante car d'une part, le phytoplancton des lacs et la végétation terrestre sont des « producteurs primaires » et constituent à ce titre la base des réseaux trophiques. D'autre part, les écosystèmes terrestres et d'eau douce sont étroitement liés par les cycles biogéochimiques et les espèces qui vivent dans les deux écosystèmes.



Fig. 24 : Le changement climatique entraîne un décalage entre les événements périodiques saisonniers qui se déroulent dans les écosystèmes aquatiques et terrestres. Photo Beat Schaffner

Encart 8

Le menu n'est plus ce qu'il était

Avec le dérèglement climatique, la synchronisation des calendriers ne va plus de soi dans le système bleu-vert. La hausse des températures a d'ores et déjà un effet sur les périodes de vol et d'activité des insectes. Beaucoup d'espèces profitent du climat plus doux au printemps et émergent ou éclosent en avance. Les insectes aquatiques émergent ainsi en moyenne une semaine plus tôt que dans les années 1990; chez les insectes terrestres, la différence est déjà de presque deux semaines.

Pour les oiseaux à nidification précoce et pour leurs nichées, c'est peut-être une bonne nouvelle. Mais pour les espèces migratrices à nidification tardive, dont les effectifs sont déjà en forte chute, cela implique une nourriture moins abondante (figure 25) et de moindre qualité (figure 13). Pour elles, le moment de la nidification et la période d'abondance des insectes ne coïncident plus. Cet exemple montre qu'un découplage au niveau des flux bleu-vert peut avoir un impact négatif sur la biodiversité terrestre, en l'occurrence sur la densité de population des passereaux.

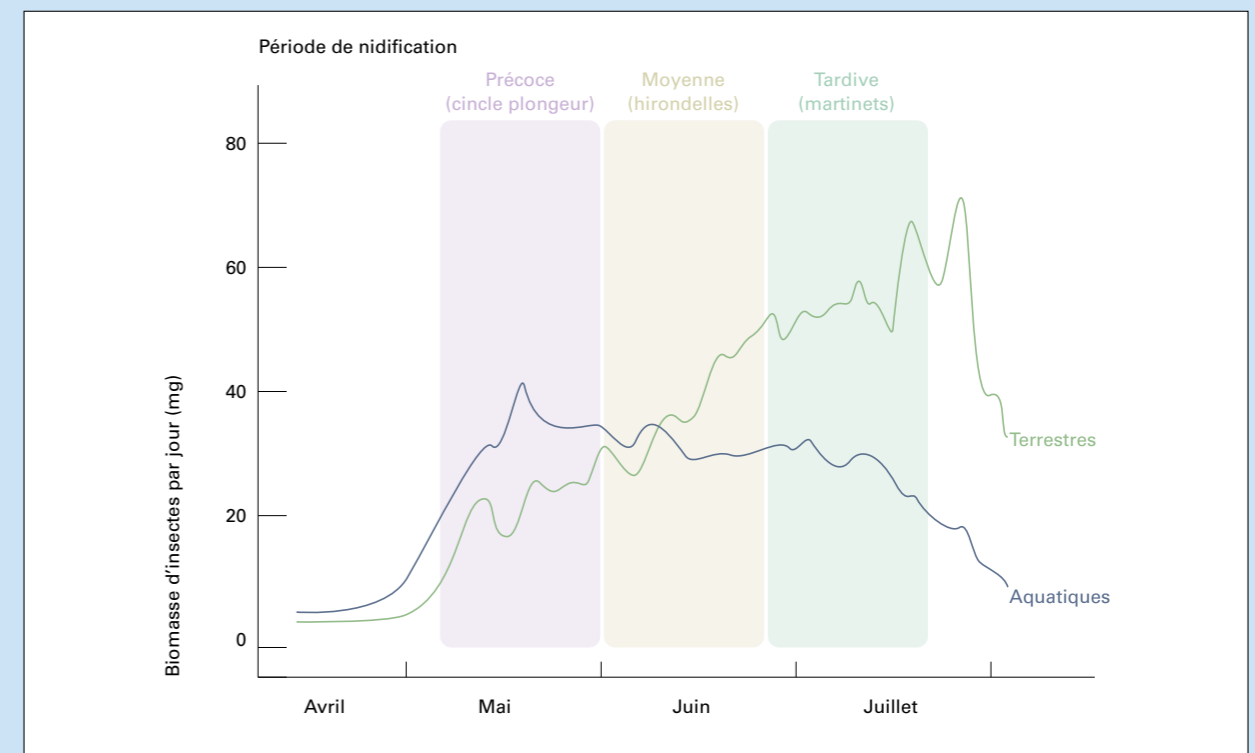


Fig. 25 : Évolution de la biomasse journalière d'insectes aquatiques (en bleu) et terrestres (en vert) au cours de la période de nidification des oiseaux. Les courbes correspondent à la moyenne de valeurs relevées entre 1989 et 2014 en Amérique du Nord. D'après Shipley et al. 2022, modifié.

Shipley J.R., Twining C.W., Mathieu-Resuge M., Parmar T.P., Kainz M., Martin-Creuzburg D., Weber C., Winkler D.W., Graham C.H., Matthews B. (2022): Climate change shifts the timing of nutritional flux from aquatic insects. *Current Biology* 32, 1–8. doi.org/10.1016/j.cub.2022.01.057

Twining C.W., Weber C., Kowarik C., Gossner M.M., Graham C.H., Shipley J.R., Matthews B. (2022): Zum Fressen gern: Unsere Gewässer aus der Vogelperspektive. *Wasser Energie Luft* 114/2, 68–74.

Changements dans la diversité des insectes

Sur le Plateau suisse et dans une grande partie de l'Europe, la diversité et l'abondance des insectes ont fortement diminué au cours du siècle dernier en raison de la dégradation, et même de la destruction de leurs habitats. Parce qu'ils remplissent des fonctions essentielles dans les écosystèmes (pollinisation, fragmentation de la matière organique, base de l'alimentation, etc.), ils sont au cœur de nombreuses études depuis le début de ce siècle. Il est cependant difficile de disposer de jeux de données collectées de façon standardisée et de les interpréter correctement. Pour le moment, l'image de la situation est contrastée. Alors que la disparition des insectes semble se poursuivre dans certaines parties du monde et dans certains pays, d'autres régions présentent une stabilisation du phénomène voire même une tendance à la hausse des effectifs, même si elle part d'un niveau très bas. Une telle tendance positive s'observe aussi dans une certaine mesure en Suisse, où les jeux de données sont excellents. Les programmes de monitoring menés depuis de longues années au niveau cantonal et fédéral permettent notamment d'évaluer l'évolution de la diversité des insectes aquatiques. Ces programmes

enregistrent la présence des invertébrés qui vivent au fond des cours d'eau, c'est-à-dire des larves de divers insectes mais aussi des moules, des escargots, des crustacés et des sangsues. Il est souvent difficile de déterminer précisément chaque espèce, si bien que les inventaires se basent souvent sur une détermination au niveau de la famille.

Modifications de la biodiversité dans le milieu aquatique

Chez les invertébrés aquatiques, les monitorings cantonaux montrent que, sur la plupart des sites, la diversité de familles d'insectes est soit stable soit de nouveau en augmentation depuis les années 1990 (figure 26, lignes de couleur). Cela s'explique par l'amélioration de la qualité de l'eau suite à la construction des stations d'épuration dans les années 1960. Les données du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) et du programme d'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) confirment cette tendance (figure 26, lignes noire et grise): le nombre moyen de macroinvertébrés par station de surveillance a augmenté entre 2010 (ou 2011) et 2019. Ce phénomène a été ob-

servé dans toute l'Europe: après avoir été au plus bas dans les années 1970 à 1990, la biodiversité des familles aquatiques, encore très faible, semble se redresser. Il convient cependant de noter que ces monitorings recensent surtout les espèces les plus fréquentes; chez les espèces rares et spécialisées, les effectifs sont, pour la plupart, toujours en baisse et beaucoup sont menacées.

Gebert F., Bollmann K., Siber R., Schuwirth N. (2022): Zeitliche Trends von Makroinvertebraten. Kantonale und nationale Monitoringdaten im Vergleich. *Aqua & Gas* 102/10, 76–82.

Les espèces aimant la chaleur font pencher la balance

On ne peut que spéculer sur les raisons de cette tendance récemment observée. En effet, les différentes espèces d'une même famille ont des exigences et propriétés écologiques très variées. Une plus grande abondance de familles ne signifie donc pas automatiquement que l'état écologique du cours d'eau s'est

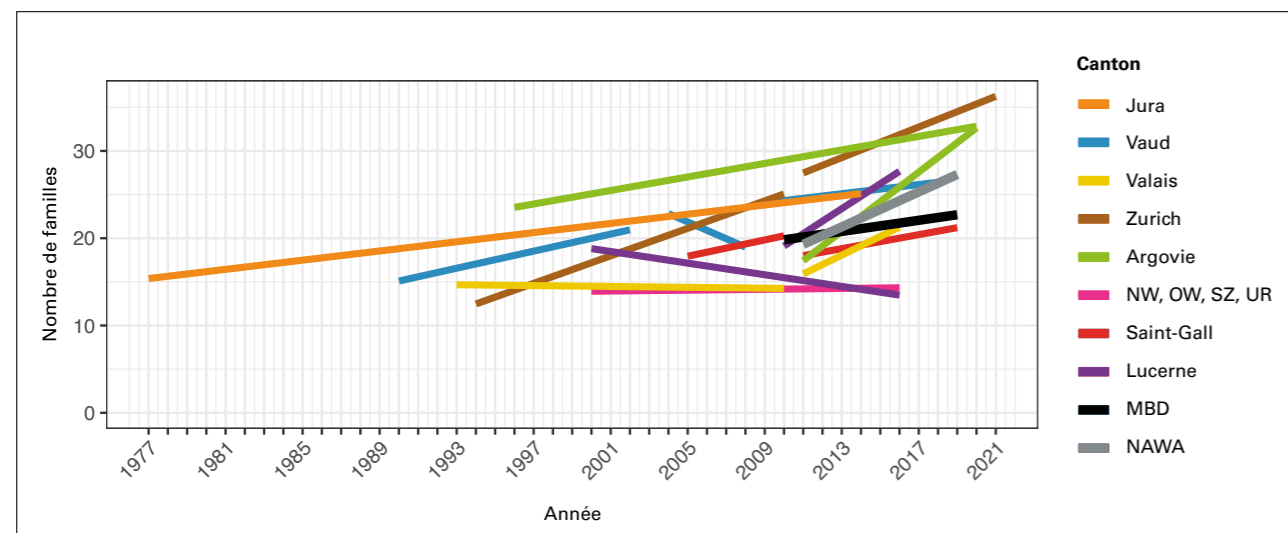


Fig. 26: Évolution de la diversité des insectes aquatiques illustrée par le nombre moyen de familles recensées sur les stations d'observation des programmes de monitoring. Données de 11 programmes cantonaux et de deux programmes nationaux (MBD et NAWA) de monitoring. Il peut y avoir plusieurs lignes par canton si des méthodes différentes ont été employées. Les lignes ont été calculées avec des modèles linéaires généralisés. D'après Gebert et al. 2022, modifié.

amélioré. Une augmentation locale de la diversité de familles peut au contraire indiquer que certaines familles s'étendent géographiquement, ce qui serait le signe d'une homogénéisation indésirable de la faune. Pour vérifier cette hypothèse, il faut disposer de données sur la nature des espèces présentes.

Le MBD fournit ce genre de données en se basant sur une détermination à l'espèce des trois ordres d'insectes que sont les éphémères, les plécoptères et les trichoptères. À l'échelle de la Suisse, une stabilisation ou une légère tendance ascendante s'observe également à ce niveau de précision sur les vingt dernières années. Étant donné que les espèces plus abondantes sont surtout celles qui apprécient la chaleur, on peut supposer une influence déterminante du dérèglement climatique: les espèces adaptées à la chaleur semblent avoir profité du réchauffement des eaux de 1,5°C qui s'est produit au cours des deux dernières décennies. On observe également une plus forte abondance des espèces tolérantes aux pesticides. Ni les espèces d'eau froide ni celles sensibles aux pesticides ne sont concernées par cette tendance positive.

L'augmentation de la diversité spécifique s'observe principalement à moyenne altitude suite à la présence accrue d'espèces capables de s'accommoder de conditions plus chaudes qui sont probablement devenues plus fréquentes ou sont remontées en altitude. Le futur dira si cette tendance se confirme. Les nouvelles données du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) donnent à penser que les espèces caractéristiques des eaux froides des torrents tendent à être moins répandues. Or ce sont des espèces dont la conservation à l'échelle planétaire dépend fortement de la Suisse. Si toutes ces évolutions se poursuivent, les communautés connaîtront une homogénéisation croissante (encart 5). Cependant, étant donné que les inventaires standardisés ne comptabilisent pas les espèces rares, spécifiquement adaptées à certains habitats, ces tendances à la hausse ne concernent que les espèces au moins assez fréquentes. Les programmes des Listes rouges, qui étudient sélectivement les effectifs des espèces en danger ou menacées d'extinction (chez les éphémères, les plécoptères, les trichoptères, les libellules, les

batraciens, les poissons, etc.) montrent que le risque de disparition reste le même pour beaucoup de ces espèces, voire augmente.

Gebert F., Obrist M.K., Siber R., Altermatt F., Bollmann K., Schuwirth N. (2022): Recent trends in stream macroinvertebrates: warm-adapted and pesticide-tolerant taxa increase in richness. *Biology Letters* 18, 20210513. doi.org/10.1098/rsbl.2021.0513

Des modifications également en milieu terrestre

En parallèle des écosystèmes aquatiques, les milieux terrestres ont également vu leur diversité d'insectes augmenter depuis le début du siècle suite à l'expansion des espèces aimant la chaleur au niveau local. Pour le savoir, les biologistes ont analysé des données de diversité, d'abondance et de biomasse collectées de 2000 à 2007 sur 42 sites répartis sur toute la Suisse. Ils ont observé chez tous les groupes d'organismes considérés que, sur cette période, ces paramètres avaient tendance à être stables ou à augmenter (figure 28).

Cette récente tendance à la hausse est cependant partie d'un niveau très bas et peut être attribuée, comme chez les insectes aquatiques, à l'augmentation des températures liée aux changements climatiques. Les scientifiques font remarquer qu'une intensification de ce réchauffement, associée à une multiplication des épisodes de sécheresse, aurait probablement un effet négatif sur la diversité, l'abondance et la biomasse des insectes. Dans le contexte du dérèglement climatique, il est important de prendre des mesures à l'échelle du paysage pour préserver et encourager les populations d'insectes. Pour que des communautés stables et résilientes puissent s'établir dans les conditions actuelles et futures, il faut que des populations mères suffisamment grandes existent et que l'infrastructure écologique soit intacte (chapitres 5 et 6).

Gebert F., Bollmann K., Schuwirth N., Duelli P., Weber D., Obrist M.K. (2024): Similar temporal patterns in insect richness, abundance and biomass across major habitat types. *Insect Conservation and Diversity* 17, 139–154. doi.org/10.1111/icad.12700



Fig. 27: Larves de trichoptères dans leur fourreau agrippées au fond d'un cours d'eau en Suisse. Les trichoptères et autres insectes aquatiques sont très sensibles aux modifications de la qualité de l'eau et de sa température. Photo Michel Roggo

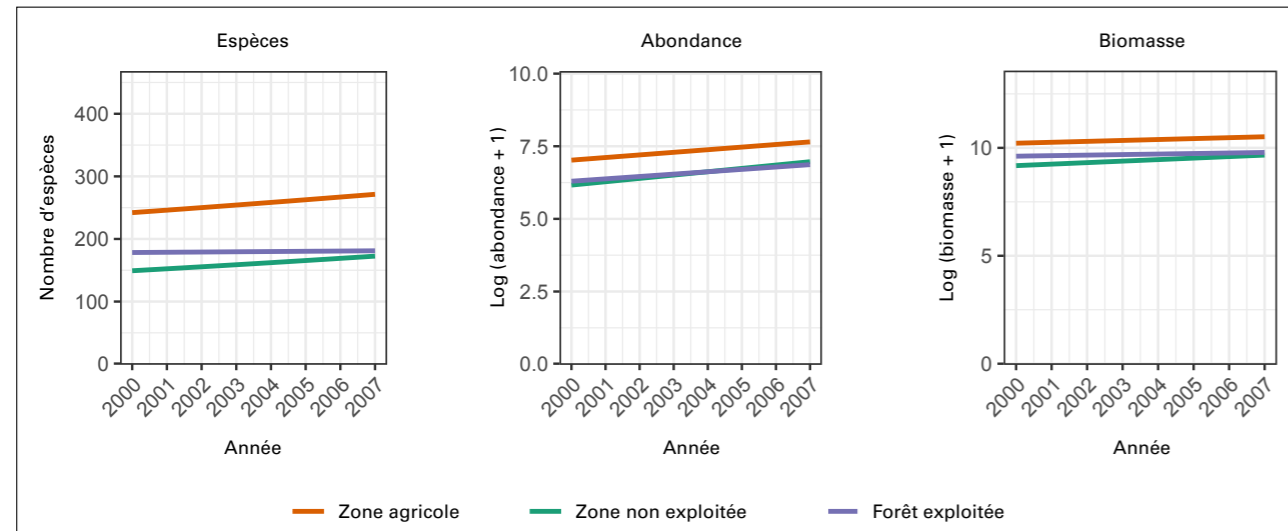


Fig. 28: Évolution de la biodiversité des insectes terrestres dans trois types de paysages en Suisse. Origine des données : Rapid Biodiversity Assessment (RBA) Switzerland. D'après Gebert et al. 2024, modifié

Tendance générale

La représentation croissante des espèces aimant la chaleur, dites thermophiles, dans les communautés, telle qu'elle s'observe en Suisse, est un phénomène mondial. Des données sur les modifications de la biodiversité ont été collectées dans toutes les parties du monde et exploitées. Elles couvrent 6201 communautés terrestres de plantes vasculaires, d'oiseaux, d'insectes et de mammifères ainsi que 7123 communautés aquatiques de poissons, d'insectes, de phytoplancton et de zooplancton. Pour chaque communauté, une liste d'espèces était disponible pour deux moments distants de 5 à 38 ans entre 1980 et 2019.

Un patron très net se dégage : les espèces thermophiles sont de plus en plus fréquentes tandis que celles adaptées au froid se raréfient. En revanche, aucune différence significative n'apparaît entre milieux terrestres et milieux d'eau douce. La rapidité de cette thermophilisation en réponse au réchauffement climatique n'est cependant pas la même

dans ces écosystèmes bleus et verts. Les communautés changent plus vite en milieu terrestre.

On ne sait pas encore exactement pourquoi il en est ainsi. Les différentes caractéristiques des espèces pourraient jouer un rôle. Il est ainsi possible que le degré de spécialisation à certains domaines de température diffère entre les deux types d'écosystèmes.

Dans les écosystèmes terrestres, l'intensité des modifications dépend de la diversité en espèces. Les communautés terrestres diversifiées réagissent plus lentement au réchauffement que celles pauvres en espèces. Cela ne signifie cependant pas que ces communautés ne se trouveront pas, elles aussi, en difficulté à un certain moment, mais que ce phénomène peut prendre plus de temps. En eau douce, les biologistes ont observé une tendance similaire, quoique moins prononcée. Les communautés diversifiées y sont également plus résistantes mais la différence par rapport aux communautés pauvres en espèces est moins contrastée.

Ce genre d'études permet de mieux comprendre comment les communautés biotiques réagissent au dérèglement climatique et de savoir pourquoi elles réagissent différemment. C'est en connaissant ces raisons qu'il sera possible de développer de meilleures stratégies pour la préservation et la gestion des écosystèmes et d'identifier les espèces particulièrement vulnérables au risque d'extinction locale.

Khaliq I., Rixen C., Zellweger F., Graham C.H., Gossner M.M., McFadden I.R., Antão L., Brodersen J., Ghosh S., Pomati F., Seehausen O., Roth T., Sattler T., Supp S.R., Riaz M., Zimmermann N.E., Matthews B., Narwani A. (2024): Warming underpins community turnover in temperate freshwater and terrestrial communities. *Nature Communications* 15, 1921 (9 pp.). doi.org/10.1038/s41467-024-46282-z

À retenir

- > Le dérèglement climatique entraîne une désynchronisation des écosystèmes bleus et verts, ce qui peut avoir un impact négatif sur certaines interrelations.
- > Les espèces thermophiles sont de plus en plus fréquentes en milieu terrestre comme en milieu aquatique. Il est encore impossible de savoir exactement ce que cette évolution implique pour la biodiversité.

Chapitre 4

Une belle réussite entre bleu et vert

La campagne a besoin de retrouver davantage d'eau et d'interactions entre bleu et vert. Il reste beaucoup à faire. Mais il y a aussi de bonnes nouvelles : les mesures ciblées fonctionnent et il est possible d'inverser la tendance. Par exemple, l'aménagement de centaines de mares et étangs dans le canton d'Argovie a permis aux populations de presque toutes les espèces d'amphibiens de se stabiliser et même parfois de progresser.

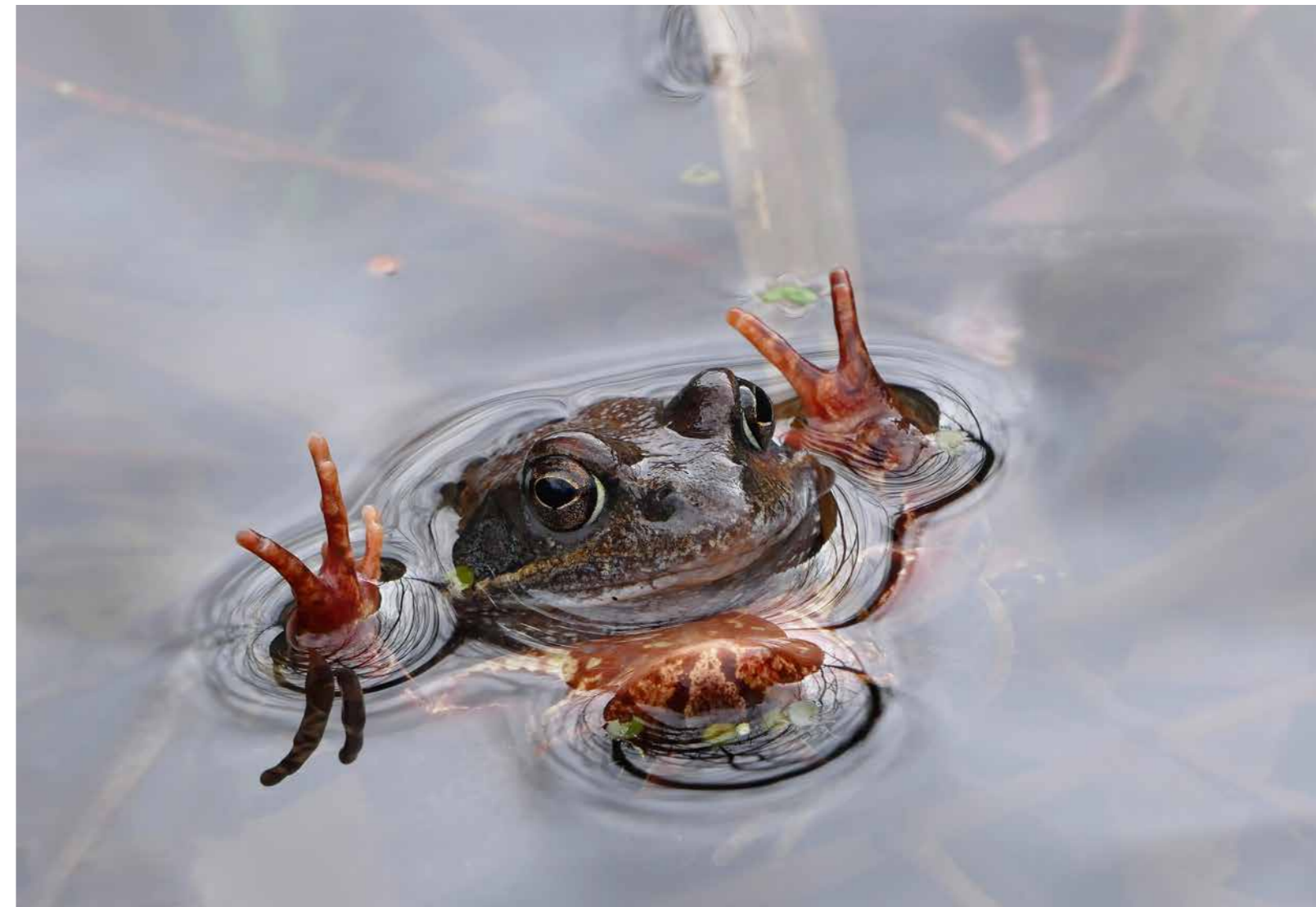


Fig. 29: Grenouille rousse à la saison des amours. Photo Beat Schaffner

Au départ, une baisse dramatique des effectifs

Les amphibiens se déplacent au gré des saisons entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Pour que leur survie soit assurée durablement, les deux types d'habitats doivent être intacts. Or, la qualité écologique des habitats étant généralement mauvaise dans les zones de basse altitude suisses, leur situation est souvent des plus précaires.

Le drainage et la fragmentation du paysage (chapitre 3) et l'intensification de l'agriculture ont gravement affecté les amphibiens. En 2005, la liste rouge des espèces menacées révélait une baisse dramatique des effectifs : près de la moitié des populations recensées depuis les années 1980 ont dû être déclarées disparues et 70 % des 20 espèces indigènes

ont été jugées menacées. Le verdict était donc clair : sans une action immédiate, la diversité des espèces d'amphibiens était condamnée. Aujourd'hui, des années plus tard, le dépouillement d'un jeu de données exceptionnel a montré qu'en misant sur la bonne stratégie, il était possible de stopper l'érosion de la biodiversité et même d'inverser la tendance.

Intervention immédiate : le pari gagnant

Dans le canton d'Argovie, le service responsable en matière de protection de la nature a élaboré un plan ciblé pour la préservation et la promotion des espèces d'amphibiens et de leurs populations.

Moor H., Holderegger R., Bergamini A., Schmidt B.R., Vorburger C. (2023): Weiherbau stoppt Abwärtstrend bei Amphibien. *Aqua Viva*, 65/3, 8–11.

Alors que certaines menaces, comme les rejets de pesticides dans les habitats naturels, les maladies ou les obstacles à la migration sont difficiles à écarter, le problème de la perte des mares et étangs pouvait être résolu assez simplement : par l'aménagement de plans d'eau pour la reproduction. Ainsi fut fait : environ 400 avaient déjà été créés en 2019. Étant donné que les différentes espèces d'amphibiens ne privilégient pas les mêmes plans d'eau pour se reproduire, ceux aménagés ont été de diffé-

rents types, allant de la petite mare qui s'assèche en fin d'été, et se trouve donc libre de prédateurs au printemps suivant, à l'étang d'une certaine taille (figure 30). De nombreux partenaires ont pu être acquis au projet, si bien que les milieux créés ont été très divers : il s'en trouve aussi bien dans les prés et les champs que dans les gravières, à l'orée des bois, dans les forêts, le long des voies ferrées ou sous les lignes à haute tension.



Fig. 30 : Assemblage de mares récemment aménagées dans le canton d'Argovie. La grande étendue d'eau se divise en plusieurs compartiments de tailles et de profondeurs différentes généreusement exposés au soleil. Photo Service conseil IBN

Une inversion de tendance déjà perceptible

Pour évaluer l'efficacité des mesures prises, un monitoring a été lancé dans les 400 habitats nouvellement créés et les quelque 450 sites de reproduction déjà existants. Grâce au professionnalisme de la direction du projet et à l'engagement d'un grand nombre de bénévoles, une véritable mine de données a été rassemblée puis exploitée par les scientifiques. En utilisant des modèles statistiques prenant en compte la probabilité qu'une espèce soit passée inaperçue lors d'un relevé de terrain, les biologistes ont évalué l'évolution des populations d'amphibiens. Les résultats sont encourageants : les nouveaux habitats ont été adoptés par la totalité des 12 espèces de batraciens des étangs recensées dans le canton d'Argovie. Chez dix de ces espèces, cela s'est traduit par une hausse parfois importante des signalements de présence. Ainsi, dans la vallée de la Reuss, la rainette arboricole a été observée dans quatre fois plus de sites en 2019 qu'en 1999 (figure 31, ligne noire).

Grâce aux 400 nouveaux plans d'eau, l'offre en sites de reproduction pour les amphibiens s'est fortement densifiée dans le canton et le degré de connexion des sites jusque là isolés a été amélioré. Beaucoup de sites déjà existants mais désertés en 1999 ont ainsi été recolonisés (comme chez la rainette : figure 31, ligne jaune).

Moor H., Bergamini A., Vorburger C., Holderegger R., Bühler C., Egger S., Schmidt B.R. (2022): Bending the curve: Simple but massive conservation action leads to landscape-scale recovery of amphibians. *PNAS* 119. doi.org/10.1073/pnas.2123070119

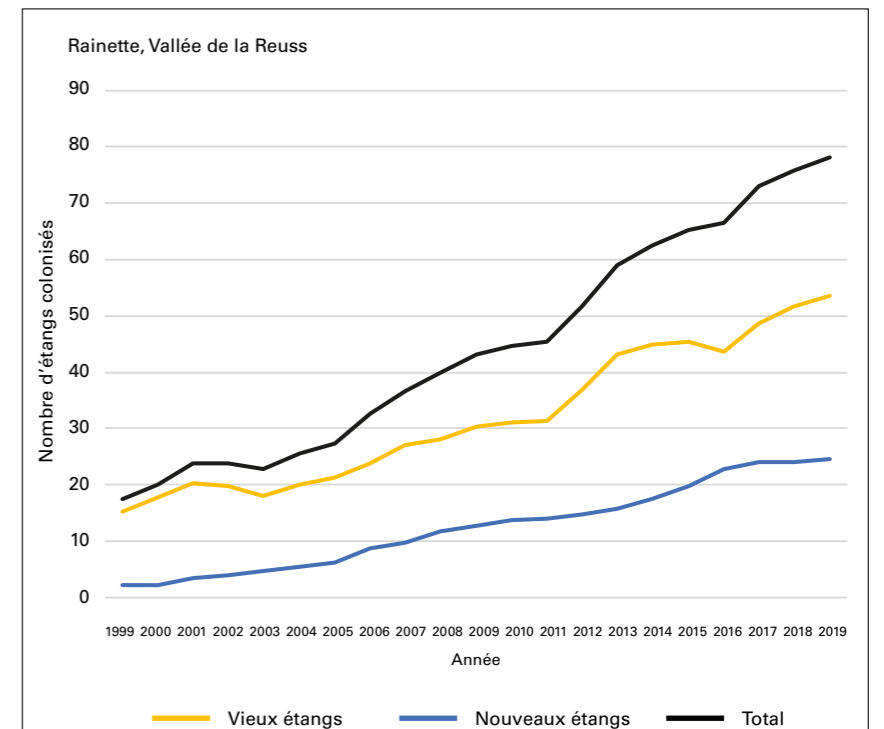


Fig. 31 : Évolution du nombre de mares colonisées par la rainette arboricole (photo) dans la partie argovienne de la vallée de la Reuss entre 1999 et 2019. D'après Moor et al. 2022, modifié. Photo Andreas Meyer

La disparition progressive des amphibiens enrayée

Pour certaines espèces, les nouvelles mares sont de véritables bouées de sauvetage. En 2019, le sonneur à ventre jaune était observé presque deux fois plus souvent dans les nouveaux plans d'eau que dans les anciens. Dans les anciennes mares, les signalements ont chuté de plus de 50 % (figure 32, ligne jaune). En tant qu'espèce pionnière, le sonneur à ventre jaune colonise très rapidement les nouvelles mares qu'il préfère petites, bien ensoleillées et pauvres en végétation. Dans l'ensemble, le nombre de sites fréquentés par cette espèce a nettement augmenté grâce aux nouveaux aménagements. Seules deux espèces de batraciens présentant des populations en baisse depuis des décennies n'ont quasiment pas profité des nouvelles mares : l'alyte accoucheur et le crapaud calamite. Il s'agit de deux spécialistes que l'on ne rencontre plus que très rarement aujourd'hui. Chez l'alyte accoucheur, le nombre de signalements s'est tout de même stabilisé, mais les effectifs de crapaud calamite ont malheureusement poursuivi leur chute en Argovie. Ce crapaud a en effet besoin pour se reproduire de grandes étendues d'eau peu profonde qui s'assèchent régulièrement en fin d'été. Or la rareté de ces milieux particuliers reste un facteur limitant, même en Argovie.

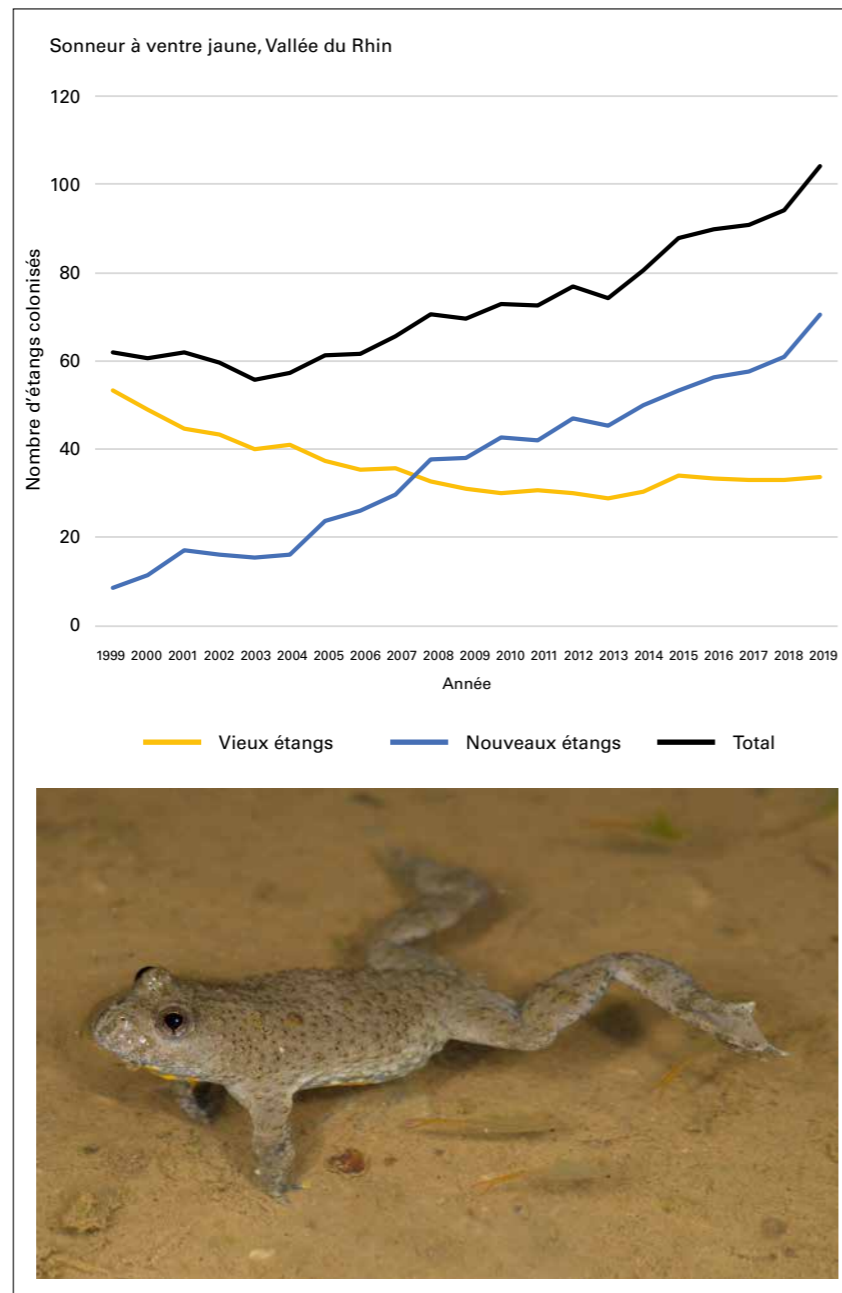


Fig. 32 : Évolution du nombre de mares colonisées par le sonneur à ventre jaune (photo) dans la partie argovienne de la vallée du Rhin entre 1999 et 2019. Les effectifs n'ont augmenté que grâce aux nouvelles mares. D'après Moor et al. 2022, modifié. Photo Andreas Meyer

Un savoir précieux pour le terrain

Le projet de recherche et les données de monitoring du canton d'Argovie nous enseignent la raison du succès de tels programmes. Ainsi, la densité de distribution des mares est décisive : de deux à

quatre mares par kilomètre carré sont nécessaires à la présence durable de la plupart des espèces. Autrement dit : chaque population ne doit pas être éloignée de plus de 500 mètres de celle qui lui est

la plus proche. Étant donné que les espèces ont différentes préférences en matière d'habitat, il faut que chaque kilomètre carré comporte différents types de mares en nombre suffisant pour soutenir plusieurs espèces.

En plus des amphibiens, les nouveaux étangs sont profitables à beaucoup d'autres groupes d'espèces comme les libellules ou les plantes des marais (figure 33). Les mares et étangs sont de véritables creusets de biodiversité aquatique et sont par ailleurs très fréquentés par une grande variété d'espèces terrestres comme les oiseaux et les chauves-souris.



Fig. 33 : En plus des amphibiens, les nouveaux étangs profitent aussi à de nombreux autres groupes d'espèces comme les libellules. Photo Beat Schaffner

Moor H., Bergamini A., Vorburger C., Holderegger R., Bühler C., Bircher N., Schmidt B. (2024). Building pondscapes for amphibian metapopulations. *Conservation Biology* e14165. doi.org/10.1111/cobi.14281

Poursuivre les efforts et les étendre à d'autres territoires

Le programme de protection des amphibiens du canton d'Argovie doit son succès à la rapidité et la ténacité avec laquelle les responsables ont réagi à la chute des populations observée dans les années 1980 et 1990. L'aménagement de nouvelles mares a permis d'encourager la biodiversité, même dans les espaces très sollicités par les activités humaines comme les grandes cultures.

Des efforts ont également été fournis dans d'autres cantons pour protéger les amphibiens, ce qui a conduit à des améliorations locales dans toute la Suisse. Les résultats de cet engagement se reflètent déjà dans la nouvelle Liste rouge de 2023. Le recul de plusieurs espèces s'est également ralenti à l'échelle nationale, ce qui a permis de réviser à la baisse leur statut de menace par rapport à 2005.

Si les efforts sont poursuivis et si les programmes comme celui du canton d'Argovie deviennent monnaie courante, il est tout à fait possible que cette tendance positive se maintienne et se généralise.

À retenir

- > Si des conditions favorables sont établies et que des décisions appropriées sont prises concernant les mesures à appliquer, il est possible d'enrayer l'érosion de la biodiversité. Les programmes de monitoring attestent du succès durable des mesures de renaturation.
- > Une grande variété de plans d'eau différents permet de favoriser un grand nombre d'espèces d'amphibiens présentant différentes exigences en matière d'habitat.

Chapitre 5

Les villes intelligentes misent sur les infrastructures vertes et bleues

Mêlant l'utile à l'agréable, la création d'un réseau de milieux semi-naturels dans l'espace urbain est l'une des réponses les plus intelligentes aux grands défis de notre époque comme le dérèglement climatique et le déclin de la biodiversité. Seules conditions : la conception résolument multifonctionnelle de ces infrastructures vertes et bleues et l'engagement commun des acteurs et actrices des différents domaines de la société.



Fig. 34 : Bassin de rétention des eaux de grande valeur écologique dans l'espace urbain (Parco Casarico, Sorengo TI). Photo Igor Ponti

Stocker l'eau au lieu de l'évacuer

Les villes sont constituées d'immenses quantités de béton, de pierres et de bitume. Une grande partie de leur surface est imperméabilisée et l'eau ne peut s'y infiltrer, si bien que l'eau de pluie est évacuée le plus rapidement possible par un système de canalisations souterraines. Empruntant les égouts, elle ne s'infiltrer pas vers les nappes phréatiques mais se précipite vers les lacs et rivières (directement ou en passant par une station d'épuration) et rejoint la mer en quelques jours ou quelques semaines.

L'extension et la densification des surfaces urbanisées posent un certain nombre de problèmes qui se trouvent aggravés par le dérèglement climatique :
 > L'imperméabilisation des surfaces accroît le risque d'inondations dues au ruissellement et aux refoulements

d'égout. D'après les modèles climatiques, la fréquence et l'intensité des pluies torrentielles devraient fortement augmenter dans les décennies à venir. Les systèmes actuels d'évacuation des eaux sont dépassés par ces nouvelles conditions et il est inévitable de les y adapter, que ce soit de façon traditionnelle ou par l'innovation.

> Ces dernières années ont été marquées par une multiplication des records de chaleur. Or le béton et le bitume emmagasinent la chaleur et l'énergie du soleil. Les villes et agglomérations se transforment ainsi en véritables fournaies dans lesquelles la qualité de vie est fortement dégradée. Ces îlots de chaleur sont une véritable menace de santé publique pour la partie la plus fragile de la population. Pour

l'heure, nos villes et agglomérations ne sont pas conçues de manière à nous offrir des conditions de vie agréables dans un climat plus chaud.

> La raréfaction et la dispersion croissante des espaces verts impliquent une perte de surfaces d'infiltration tout autant que de biodiversité. La crise nationale de la biodiversité et ses effets négatifs sur les processus écologiques et les services écosystémiques sont ainsi aggravés.
 > L'évacuation immédiate des eaux pluviales souvent polluées induit des crues inhabituelles dans les cours d'eau à l'intérieur et à l'extérieur des villes même lors de précipitations d'intensité moyenne, ce qui peut nuire aux écosystèmes aquatiques.

Le concept de ville éponge

La solution est des plus simples : rétablir en ville un cycle de l'eau semi-naturel pour rendre l'espace urbain plus riche en biodiversité, plus sûr et plus agréable, ainsi que plus résilient face aux aléas climatiques (figure 34) et créer ainsi un microclimat plus clément en assurant l'infiltration et l'évaporation de l'eau.

Pour y parvenir, il suffit de revaloriser écologiquement les espaces verts et les milieux aquatiques ou d'en créer de nouveaux. Grâce à une bonne planification, un réseau écologique peut même être reconstitué (encart 9). Combiné à des

aménagement techniques intelligents (des citernes enterrées, par exemple), un tel réseau permet à l'eau de séjourner plus longtemps dans l'espace urbain sans y représenter de danger, d'où le nom de « ville éponge » donné à ce concept. Plusieurs exemples de réalisations pionnières en Suisse et à l'étranger démontrent déjà l'efficacité et l'applicabilité de ce principe.

La ville éponge permet d'adresser simultanément plusieurs enjeux comme l'adaptation aux changements climatiques, la prévention des risques natu-

rels, la préservation de la biodiversité et de la qualité de vie. À cela s'ajoutent une meilleure qualité de l'eau et de l'air et la création d'espaces récréatifs de proximité qui contribuent à sensibiliser la population au problème et à la valeur de la biodiversité.

Perrelet K., Moretti M., Dietzel A., Maurer M., Cook L. (2023) : Villes éponges – pour et avec la biodiversité. Hotspot 48, 22–23.

Un stockage efficace de l'eau

Les essais et observations venant du monde entier montrent que les infrastructures vertes et bleues captent l'eau de pluie, la stockent puis la restituent de manière contrôlée. Les quantités évacuées dans les égouts diminuent, la qualité de l'eau se déversant dans le milieu naturel augmente et les nappes d'eau souterraines se rechargent. Il y a donc tout à gagner à reproduire la nature dans la ville. Les infrastructures vertes et bleues ne se limitent pas aux parcs et jardins. Elles comptent aussi les toits verts, les revêtements poreux, les bassins de rétention plantés, les fossés d'infiltration, les étangs de rétention, les cuvettes et dépressions dans les parcs et autres terrains dotés de végétation. De même, les murs végétalisés et les arbres isolés peuvent également ralentir et limiter

l'écoulement de l'eau par leur importante surface foliaire. Les différents éléments ne contribuent pas tous de manière équivalente à ces services. Alors que les petits espaces comme les toits verts et les cuvettes de rétention plantées agissent surtout sur la qualité de l'eau en retenant les polluants, les grands éléments comme les zones humides urbaines et les étangs d'eau pluviale ont également un effet quantitatif en retenant les masses d'eau des pluies torrentielles et en les restituant ensuite progressivement. Si leur substrat est suffisamment profond, les toits verts ont aussi un effet d'éponge et interceptent les faibles précipitations avant qu'elles n'atteignent les égouts. Pour que les infrastructures vertes et bleues soient efficaces, il est important

qu'elles intègrent le facteur Biodiversité. En effet, les communautés et réseaux trophiques diversifiés sont plus stables et plus résistants et nécessitent donc moins d'entretien. Le système racinaire des communautés végétales diversifiées et la diversité de la faune du sol améliorent aussi la gestion de l'eau. Ces aspects biologiques sont encore trop peu pris en compte, ce qui entraîne un manque de cohérence et d'exploitation des synergies entre objectifs de génie civil et préoccupations écologiques. Pour remédier à cette situation, il importe de conjuguer les talents et les savoirs en matière d'urbanisme et d'écologie. Les infrastructures vertes et bleues doivent être conçues pour et avec la biodiversité.

Climatisation naturelle

Les infrastructures vertes et bleues peuvent considérablement atténuer la chaleur dans les villes. Les mécanismes de refroidissement qui entrent en jeu sont l'évaporation à partir des sols, de la végétation et des plans d'eau, ainsi que la réduction du stockage de chaleur dans les murs, les toitures et les places par le

développement d'ombrage ou par végétalisation. Dans les parcs urbains diversifiés et bien structurés, la température de l'air peut être abaissée de 7°C. Les grands plans d'eau à rives végétalisées peuvent réduire la température de 5°C. Suivant les vents et la taille des éléments semi-naturels,

cet effet refroidissant peut se ressentir jusqu'à une centaine de mètres de distance. Les toits et murs végétalisés ont l'avantage supplémentaire de rafraîchir directement l'air à l'intérieur des bâtiments. Il est particulièrement pertinent de combiner végétation et plans d'eau. De tels assemblages d'habitats sont non seu-



Fig. 35: Dans l'espace urbain, l'eau est un élément paysager à effet régulateur face aux aléas climatiques. L'effet refroidissant de l'évaporation permet notamment d'atténuer les pics de chaleur. Cet étang de deux hectares est un élément marquant de l'Opfikerpark dans le quartier de Glattpark. Photo Francine van den Brandeler

lement des climatiseurs très efficaces mais aussi des lieux privilégiés pour profiter de la nature, se ressourcer et s'adonner à des activités de loisir. Qui plus est, ils sont très favorables à la biodiversité, ce qui, à son tour, a un effet positif sur les autres services écosystémiques. Ainsi, la diversité de la végétation accroît l'hétérogénéité des feuilles et des houppiers, ce qui améliore la circulation de l'air, l'om-

brage, l'évaporation, le refroidissement, la qualité de l'air et l'absorption du bruit. Les modèles microclimatiques permettent de représenter l'effet des infrastructures vertes et bleues sur la dynamique des températures en milieu urbain. L'action bénéfique des espaces verts déjà présents a pu être démontrée pour plusieurs grandes villes suisses.

Bach P.M., Probst N., Maurer M. (2021): Urbane Strategien zur Hitze-minderung. Wie wirksam sind blau-grüne Infrastrukturen? Aqua & Gas 2021/10, 20–25.

Encart 9

Infrastructures vertes et bleues et infrastructure écologique

L'infrastructure écologique est un projet national de réseau dynamique de surfaces importantes pour la biodiversité fournissant également d'autres services écosystémiques. Elle est constituée de zones nodales et de zones relais qui doivent être de qualité et en quantité suffisantes et doivent être disposées de manière adéquate dans l'espace. Dans sa Stratégie Biodiversité Suisse, le Conseil fédéral a décidé la création d'une telle infrastructure écologique.

Les infrastructures vertes et bleues des villes et agglomérations sont des sous-unités de l'infrastructure écologique. Elles demandent une planification très particulière des différents éléments aquatiques et terrestres ainsi que des connexions ciblées avec le milieu environnant.

Un havre de biodiversité

Les monitorings et les relevés effectués localement montrent que les villes et les villages peuvent abriter une étonnante diversité d'espèces animales et végétales – à condition de leur accorder suffisamment d'espace et d'habitats verts et bleus variés et de qualité (encart 10). Le milieu urbain peut même servir de refuge à des espèces ayant perdu leur habitat naturel dans les cours d'eau, les champs ou les forêts (comme les vieux arbres citadins pour les coléoptères se nourrissant de bois mort ou moribond, par exemple).

L'ADN environnemental pour mieux cerner la biodiversité

Pour déterminer les espèces présentes dans les communautés de manière rapide et efficace tout en détectant la biodiversité cachée, des biologistes ont utilisé la nouvelle technologie de l'ADN environnemental à Zurich. Elle se base sur le fait que les êtres vivants laissent des traces génétiques un peu partout

dans leur environnement à travers leurs excréments, leur pollen, leurs particules de peau, leur mucus, etc. Les scientifiques prélèvent des échantillons d'eau, de sol et d'air, en extraient le matériel

génétique puis le séquencent et comparent le résultat aux séquences de référence des bases de données. L'étude a mis à jour une étonnante diversité d'arthropodes (insectes, crustacés,



Fig. 36: Les infrastructures vertes et bleues atténuent la chaleur dans les villes (Chriesbach, Dübendorf). Photo Giulia Donati

araignées, etc.). Mais elle a aussi révélé de grandes disparités au niveau de la biodiversité locale. Longtemps cantonnées à un rôle décoratif, beaucoup de pelouses contribuent ainsi très peu à la biodiversité. L'étude a montré que lorsque les pelouses étaient entretenues de manière extensive dans le respect de la biodiversité, la diversité d'espèces était très élevée aussi bien dans le milieu terrestre que dans les milieux aquatiques adjacents.

Garantir la qualité écologique

Pour être sources de biodiversité, les habitats aquatiques et terrestres doivent être variés, connectés, de bonne qualité écologique et suffisamment étendus. Ainsi, le substrat doit être suffisamment profond sur les toitures végétalisées pour qu'une flore diversifiée s'y plante

et qu'elles jouent un rôle d'éponge notable. Il est également important que les toits plats offrent une certaine complexité de structure (pierres, vieux bois, substrat irrégulier, etc.). Certains éléments techniques peuvent y contribuer. Par exemple, les panneaux solaires structurent le milieu en créant des zones d'ombre, des emplacements humides et des espaces non tondus.

En même temps, il faut aussi veiller à désamorcer les pièges mortels. Des milliers de batraciens meurent ainsi chaque année dans les caves et bouches d'égout. De même, les bassins techniques de rétention des eaux doivent, eux aussi, être systématiquement équipés de rampes pour permettre aux amphibiens et petits mammifères de s'en échapper. De manière générale, il est important que les éléments bleus, verts et bleu-vert soient

bien connectés entre eux afin que les animaux puissent se déplacer sans danger. Avec le temps, les infrastructures vertes et bleues peuvent se dégrader sous l'effet de l'érosion, de l'accumulation de sédiments, de polluants, de déchets, etc. Leur entretien doit donc impérativement être prévu dès le début, notamment du point de vue budgétaire, et être constamment à l'esprit des responsables et de la société. C'est à cette condition que leurs performances peuvent être garanties sur la durée. Il importe alors que la biodiversité ne soit pas seulement protégée, mais également encouragée et surveillée (monitoring). Car c'est en étant riches en biodiversité que les infrastructures vertes et bleues concourent au mieux à la gestion des eaux pluviales, à l'amélioration de la qualité de l'eau et à l'atténuation des vagues de chaleur.

Condition sine qua non : la mise en commun des forces vives

En mettant en évidence les synergies liées aux usages multifonctionnels du précieux sol urbain, il est possible de convaincre davantage d'acteurs et d'actrices de la société, ce qui permet de développer les infrastructures vertes et bleues ou de les réaliser à plus grande échelle. Pour l'heure, l'inadéquation ou l'absence de réglementations, la faible sensibilisation des responsables et des parties prenantes pertinentes, ainsi que le manque de ressources, font encore obstacle à la maximisation de la multifonctionnalité des surfaces (verdisse-

ment des toitures, protection contre les inondations, etc.).

Pour armer l'espace urbain pour le futur, il faut l'engagement commun de l'ensemble des protagonistes : ingénieurs et ingénieurs, écologues, urbanistes, spécialistes du développement du trafic et des transports, spécialistes de l'assainissement et de la protection contre les inondations, particuliers, propriétaires fonciers, propriétaires d'importants portefeuilles immobiliers (caisses de pension, assurances,...) et bien d'autres. L'objectif est de planifier et de réaliser

des solutions intégrées et globales (chapitre 6). Toutefois, il ne faut pas oublier qu'il n'existe généralement pas de solution unique et que toute planification doit être adaptée au contexte local.

Smith V., Cook L.M., Oppliger S. (2023) : Umsetzung blau-grüner Infrastruktur weltweit. Was kann die Schweiz daraus lernen? Aqua & Gas 2023/9, 16–24.

Encart 10

Les éléments bleus sont indispensables à la biodiversité urbaine

Dans toutes les villes suisses, les ruisseaux ont été enterrés au cours des 150 dernières années. Ne serait-ce qu'à Zurich, près de 80 kilomètres sont passés sous terre entre 1850 et 1980. Avec ces ruisseaux, de nombreuses espèces aquatiques et terrestres ont perdu des habitats précieux. La surcharge des réseaux d'égouts et la crise de la biodiversité ont maintenant fait évoluer les mentalités. Ces 35 dernières années, 16 kilomètres de ruisseau ont ainsi été remis à ciel ouvert.

Avantages écologiques et économiques

Comme le montre une étude menée à Zurich, les ruisseaux revitalisés accueillent à nouveau une flore diversifiée. Même si aucune espèce végétale menacée n'a été recensée dans l'eau ou sur les rives, il est encourageant de constater que les néophytes invasives n'étaient présentes que ponctuellement et de façon dispersée. Le mérite en revient certainement à la lutte efficace menée par le service des espaces verts de la Ville de Zurich (Grün Stadt Zürich).

La diversité en espèces varie fortement d'une portion de ruisseau à l'autre. Le nombre d'espèces végétales est négativement influencé par un très fort ombrage, une grande richesse nutritive du sol et une part importante de surfaces imperméabilisées dans un rayon de 500 mètres (le degré élevé d'imperméabilisation est probablement le signe d'une mauvaise connexion des cours d'eau avec le milieu environnant).

La remise à ciel ouvert a également un avantage économique : la quantité d'eau n'atteignant plus les stations d'épuration a ainsi été estimée à 220–320 litres d'eau par seconde. Et comme les canalisations, souvent en mauvais état, dans lesquelles s'écouaient les ruisseaux n'avaient plus à être remplacées, la Ville a pu économiser 16 millions de francs.

Un bénéfice également pour les habitats terrestres

L'analyse de nombreuses données collectées par Grün Stadt Zürich entre 2008 et 2017 dans ses espaces verts a démontré toute l'importance des milieux aquatiques pour la biodiversité totale de la ville. Les nombreux nouveaux ruisseaux et étangs et les habitats bleu-vert qui leur sont associés profitent non seulement aux espèces semi-aquatiques comme les libellules et les amphibiens, mais aussi à de nombreux oiseaux, papillons et sauterelles.

Les facteurs liés à l'eau jouent donc apparemment un rôle clé dans la distribution de nombreuses espèces. Cela souligne la nécessité de préserver et de restaurer les habitats bleus dans les villes et d'y en créer de nouveaux.

Schnorf H., Bergamini A., Cook L., Moretti M. (2022) : Revitalisierte Bäche leisten einen Beitrag zur städtischen Pflanzenvielfalt. N+L Inside 2022/4, 35–39.



Fig. 37 : La remise à ciel ouvert de l'Hirzenbach à Schwamendingen a duré de 1987 à 1992 et a complètement transformé le paysage urbain. Là où s'étendait autrefois une chaussée (à gauche) coule maintenant l'Hirzenbach libéré de son carcan. Tout d'abord bordé d'une végétation éparse (au milieu), il est aujourd'hui entouré d'un peuplement dense d'arbres et de buissons (à droite). Photos de gauche et du milieu AWEL Zürich ; photo de droite Hektor Schnorf

Concevoir l'infrastructure écologique de façon stratégique

L'existence d'un bon réseau d'habitats verts et bleus s'étendant sur tout le territoire national est essentielle à la sauvegarde et à la promotion d'une biodiversité riche et résiliente (figure 38). Une telle trame permet aux espèces animales de profiter des ressources disponibles à différents endroits et à différents moments et d'effectuer leurs migrations saisonnières entre zones d'hivernage et zones de reproduction. De plus, elle favorise les échanges de matériel génétique entre populations, la colonisation de nouveaux habitats et la migration ou dispersion des espèces à grande échelle en réponse au changement climatique.

Malheureusement, cet idéal ne correspond pas encore à la réalité, notamment en ville où l'omniprésence des surfaces imperméabilisées et des voies de forte

circulation fait obstacle à la formation d'un tel réseau et compromet la qualité de ses connexions. Il faut alors une planification soignée et prévoyante pour mettre en place une infrastructure écologique viable et fortifier peu à peu la biodiversité.

Donati G.F.A., Bolliger J., Psomas A., Maurer M., Bach P.M. (2022): Reconciling cities with nature: Identifying local Blue-Green Infrastructure interventions for regional biodiversity enhancement. *Journal of Environmental Management* 316, 115254. doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115254

Précieux corridors écologiques

À partir de nombreuses données sur la distribution actuelle de dix espèces d'amphibiens et sur l'affectation et la couverture des sols, une équipe de recherche a effectué une analyse du réseau écologique dans les cantons d'Argovie et de Zurich et localisé les habitats et corridors de migration potentiels. Les amphibiens sont d'excellents indicateurs du degré

Donati G.F.A., Bolliger J., Psomas A., Maurer M., Bach P.M. (2021): Blau-grüne Infrastruktur: Eine Möglichkeit zur Förderung der biologischen Vielfalt in vom Menschen geprägten Landschaften? *N+L Inside* 2021/4, 41–44.

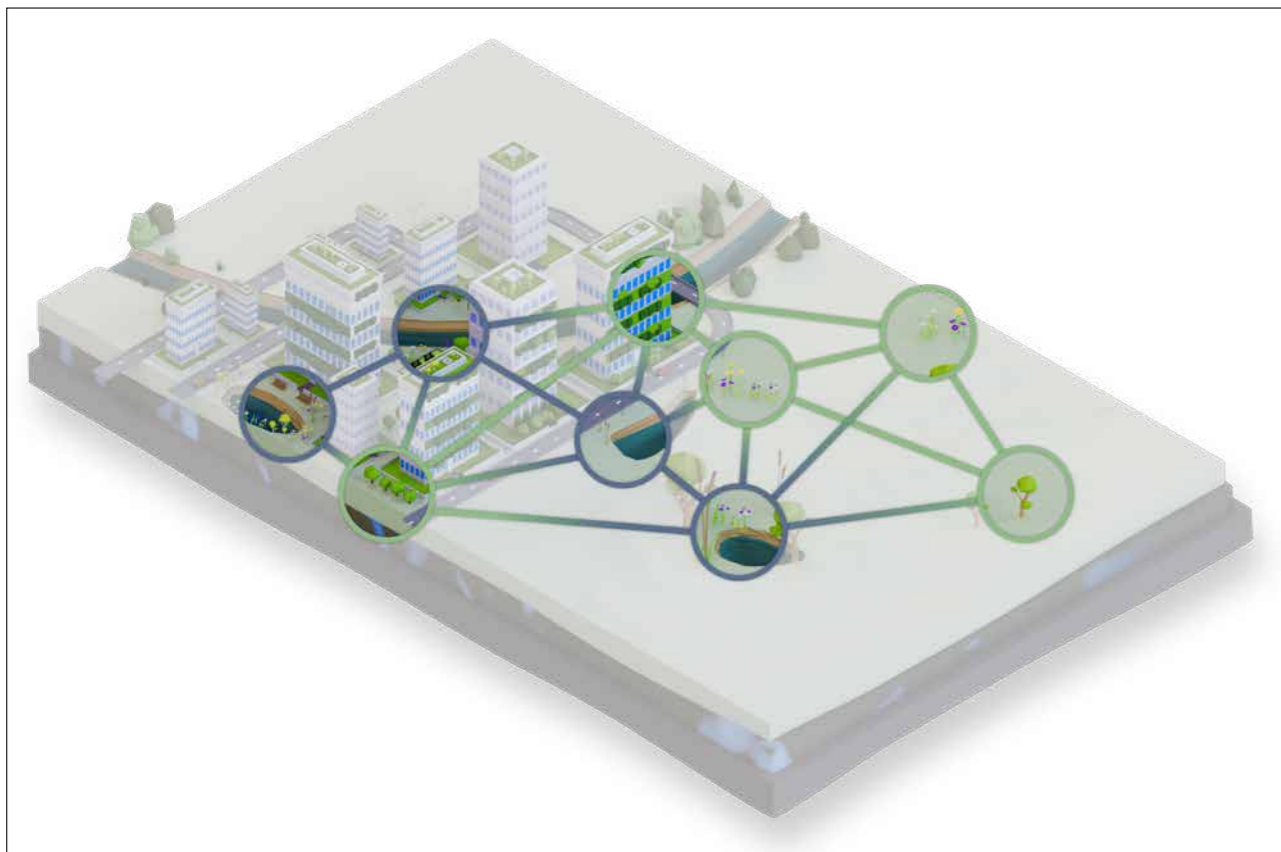


Fig. 38: Représentation schématique d'une infrastructure écologique composée d'éléments verts et bleus sur le Plateau suisse. Elle intègre des milieux naturels tels que les forêts, les rivières, les ruisseaux et les parcs, des milieux de transition comme les rives et les zones humides et de nombreuses surfaces agricoles, mais aussi des éléments d'un nouveau genre comme les jardins verticaux et les lagunes d'épuration. Illustration: VISIMON STUDIO

de connectivité des réseaux écologiques puisqu'ils se déplacent entre le milieu terrestre et aquatique pour effectuer leur cycle biologique et sont donc entièrement dépendants de connexions ininterrompues entre ces espaces.

L'étude montre que les zones de lisière des forêts, les bois humides, les champs à forte humidité du sol et les rives constituent des corridors privilégiés. En milieu urbain, les corridors pour amphibiens couvrent 11 % des espaces verts (jardins, parcs, cimetières, terrains de sport, etc.) et 3 % des surfaces imperméabilisées.

Priorisation et mesures

Pour améliorer les connexions pour les amphibiens, les scientifiques ont évalué comment une infrastructure écologique viable, constituée de réservoirs de biodiversité (zones nodales) et de corridors biologiques (zones relais), devrait être conçue et où il conviendrait de préserver les habitats ou de les revaloriser en priorité. Pour le milieu urbain, une telle amélioration impliquerait notamment d'aménager des passages à petite faune dans certaines rues et de repenser l'intensité d'utilisation des surfaces dégagées.

Dans l'ensemble, l'étude montre que, pour préserver durablement la diversité des amphibiens, il ne suffit pas d'aménager des éléments d'infrastructure écologique au gré du hasard et des opportunités. Il faut qu'ils soient soigneusement planifiés de façon stratégique sur la base d'une collaboration constructive entre les différents protagonistes, en suivant une configuration variable selon les endroits (chapitre 6, figure 39).

À retenir

- > Dans les villes, les infrastructures vertes et bleues sont des atouts face à plusieurs grands défis de notre époque (adaptation au changement climatique, prévention des inondations et des risques naturels, protection de la biodiversité, préservation de la qualité de vie, etc.). L'important est de fédérer les différents acteurs et actrices de la société et de conjuguer les savoir-faire en matière d'ingénierie, d'écologie et d'urbanisme.
- > Il faut développer des concepts de ville éponge pour chaque quartier et chaque commune et les mettre en œuvre. L'aspect biodiversité doit être pris en compte à chaque étape. L'important est de profiter des synergies en favorisant les approches multifonctionnelles sur les précieuses surfaces urbaines.
- > Pour préserver durablement la biodiversité, il ne suffit pas d'aménager les éléments d'infrastructure écologique au gré du hasard et des opportunités.

Chapitre 6

Penser et créer ensemble l'infrastructure écologique

La Suisse a besoin de réseaux de bonne qualité reliant des zones de grande valeur écologique et comportant aussi bien des éléments aquatiques que des éléments terrestres. Il faut pour cela une analyse écologique qui indique comment les habitats doivent être distribués dans l'espace, de quelle taille ils doivent être et en quel nombre. Mais cela ne suffit pas. Les habitats étant fortement influencés par les activités humaines, il faut aussi réaliser, en parallèle, une analyse des parties prenantes afin d'identifier les acteurs et actrices responsables des différents habitats considérés. Cette double-approche permet d'identifier les lacunes et les synergies dans l'action commune afin de mettre en place une infrastructure écologique efficace.

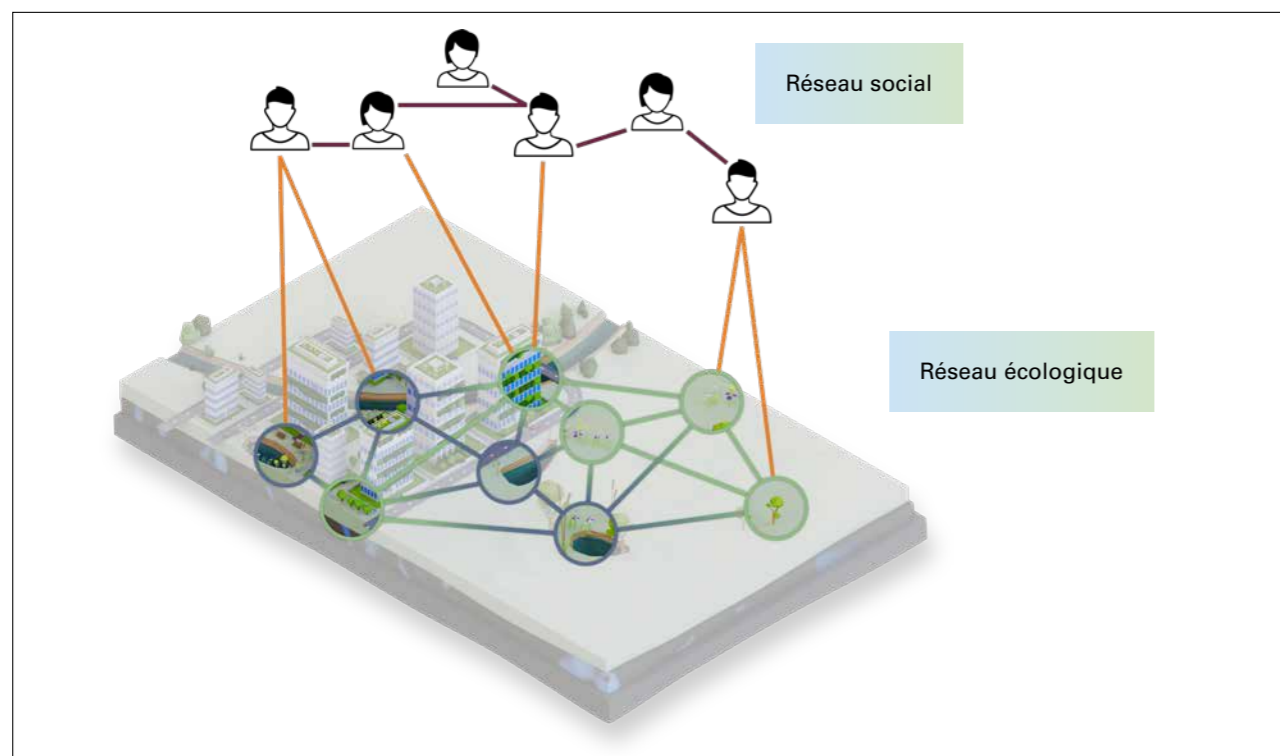


Fig. 39: Exemple de réseau socio-écologique : à chaque connexion entre deux nœuds du réseau écologique (cf. Fig. 38) correspond une collaboration entre deux ou plusieurs protagonistes du réseau social. Les nœuds d'un réseau social non altéré comportent différents acteurs et actrices qui agissent au niveau des différents éléments du réseau écologique et y sont déterminants pour la qualité de l'habitat. D'après Donati et al. 2023, modifié ; Illustration: VISIMON STUDIO

La diversité des influences

Au premier abord, les responsabilités relatives aux différents habitats sont clairement réparties : les gestionnaires des forêts entretiennent les lisières, les propriétaires s'occupent des toitures végétalisées, le service des espaces verts gère les parcs, la société de gestion d'établissement entretient les pelouses des immeubles de bureau, l'entreprise d'électricité gère les surfaces sous les lignes à haute tension, les responsables de la protection contre les crues entretiennent les surfaces d'infiltration, les personnes en charge de l'environnement s'occupent des

espaces de grande valeur écologique, les greenkeepers entretiennent les pelouses extensives du golf, les responsables de l'aménagement des cours d'eau gèrent la rivière, les agriculteurs et agricultrices s'occupent des prés et champs, etc. Or une étude d'envergure réalisée dans huit régions du Plateau suisse (cantons d'Argovie et de Zurich) a montré que la plupart des surfaces semi-naturelles pouvant être ou étant déjà intégrées à l'infrastructure écologique étaient directement ou indirectement influencées par plusieurs personnes physiques ou

morales de secteurs très différents. Par exemple, la qualité d'une lisière de forêt ne dépend pas uniquement de l'exploitation sylvicole mais aussi de la fréquentation pour les loisirs, du golf voisin ou des terres agricoles adjacentes. L'agriculteur a-t-il laissé une bande herbeuse assez large en bordure de la forêt ou a-t-il étendu son champ de maïs jusqu'à elle ? Les roughs sont-ils gérés dans le souci de la biodiversité ? Selon les réponses, la biodiversité peut être affectée ou favorisée.

Une démarche coordonnée

Pour la sauvegarde et la promotion de la biodiversité sur une surface donnée en lisière de forêt, il serait judicieux que les personnes en charge de la sylviculture, de l'agriculture et des loisirs discutent entre elles de leur manière respective d'utiliser le sol (figure 39). Si, au contraire, les exploitants, usagers et propriétaires ne coordonnent pas leurs activités ou ne s'informent pas mutuellement mais agissent indépendamment les uns des autres, il se peut que l'élément d'infrastructure bleu-vert soit géré de manière inefficace, contradictoire et conflictuelle au grand détriment de la

biodiversité (figure 40). Pour donner un exemple concret, il serait judicieux que l'agriculteur n'entreprenne pas de faucher son pré juste au moment où les jeunes grenouilles quittent la mare pour regagner la forêt.

La mise en place d'une bonne infrastructure écologique ne peut être efficace que si toutes les parties prenantes (dont les propriétaires des terrains et du bâti) coordonnent leurs activités, travaillent main dans la main et communiquent activement – et ce, non seulement de manière ponctuelle mais aussi d'étape en étape, tout au long des processus. Ainsi,

en complément de l'analyse écologique (chapitre 5), une analyse des parties prenantes peut être décisive pour le succès de cette démarche. En milieu urbain notamment, il reste encore beaucoup à faire en ce sens (encart 11).

Donati G., van den Brandeler F., Bolliger J., Fischer M. (2023) : Une infrastructure bleue et verte efficace requiert des protagonistes connectés. Hotspot 48, 17–19.

Identifier les problèmes et les solutions

Pour leur analyse des parties prenantes, les scientifiques ont invité les personnes interrogées dans le sondage à participer à des ateliers. L'association de golf, diverses associations de protection de la nature, plusieurs sociétés de conseil en écologie, des associations de jardins familiaux, différentes communes, les pouvoirs publics (Grün Stadt Zürich, par exemple), les secteurs sylvicole et agricole, divers architectes et paysagistes, les urbanistes et le secteur du bâtiment étaient notamment représentés. Toutes ces personnes, chacune à leur manière,

sont importantes pour la mise en place et l'entretien de l'infrastructure écologique. L'objectif était de sensibiliser à l'étendue du sujet, d'encourager à porter un regard commun sur les interdépendances écologiques et sociales et d'initier de nouvelles collaborations entre les protagonistes.

Ces rencontres ont été couronnées de succès grâce à la grande diversité des personnes présentes et à l'atmosphère détendue propice aux échanges spontanés. Ainsi, « Markus » et non « le service X du canton de Zurich » y a rencontré

« Marguerite » et non « l'union des paysans zurichois ». Les protagonistes ont pu entrer spontanément en contact et échanger sur les problèmes et solutions sans avoir à surmonter l'obstacle habituel de l'étiquette à respecter en représentant officiellement leur organisation.

Les ateliers ont permis d'identifier différents problèmes et de proposer des solutions au niveau de la planification, de la conception et de la réalisation de l'infrastructure écologique :

Problème**Solution****Pensée sectorielle**

Les différents groupes d'intérêts ont différentes visions des choses, différentes priorités et différents objectifs en matière d'utilisation et de préservation des ressources naturelles. Ils ont par ailleurs différentes manières de communiquer et de travailler. Ils considèrent d'abord leurs propres objectifs et responsabilités sans discuter ou collaborer suffisamment avec d'autres domaines.

La solution peut venir d'un dialogue durable, de l'établissement de rapports de confiance, d'une médiation, de la recherche de consensus, de processus décisionnels participatifs et de plans de gestion durable. L'important est de dialoguer, de partager le savoir, de développer des objectifs communs et de maintenir la communication.

Insuffisance des ressources financières et personnelles

Suite à un manque de ressources, il se peut que la création d'éléments verts ou bleus soit ralentie ou retardée et leur entretien négligé. Cela va souvent de pair avec une faible considération accordée à la biodiversité. La biodiversité n'est pas intégrée de prime abord dans la planification et la mise en œuvre. Le manque de ressources rend aussi la coordination plus difficile.

Il faut toujours insister sur le fait que la prise en compte de la biodiversité dans toutes les décisions concernant les usages est également bénéfique à la population humaine (amélioration de la qualité de l'air, réduction du bruit, réduction du risque d'inondations, régulation du climat, etc.). Investir dans la biodiversité est donc rentable du point de vue de l'environnement et de la résilience face aux changements climatiques. Il faut mettre l'accent sur l'éducation et la sensibilisation pour faire changer les points de vue.

Manque de volonté politique

Les décideurs politiques jouent un rôle primordial dans la création d'un contexte favorable. Sans règles claires et mécanismes d'application adaptés, la protection des espèces et des habitats est vouée à l'échec. La volonté politique est d'autre part étroitement liée à l'octroi des ressources financières nécessaires.

Pour promouvoir l'infrastructure écologique, il faut un soutien fort et une volonté d'action affirmée de la part des politiques. Cet aval peut être obtenu par un travail de sensibilisation des décideurs politiques et par la participation de la population aux prises de décision. Il est important de définir des règles claires et d'adapter les lois au besoin (ex. loi sur la biodiversité de canton de Genève).

Réticence à changer de pratiques

Pour qu'une infrastructure écologique puisse se mettre en place, il faut souvent que les pratiques habituelles dans la nature et l'intensité de l'utilisation des espaces verts et des milieux aquatiques soient abandonnées et remplacées par de nouvelles. Les personnes concernées sont souvent réticentes à un tel changement de pratiques ou ne sont pas en capacité de le réaliser.

L'établissement d'un dialogue constructif sans culpabilisation, l'éducation, la sensibilisation, les incitations, la participation aux prises de décision et l'intégration des aspects écologiques dans les modèles économiques peuvent contribuer à résoudre le problème.

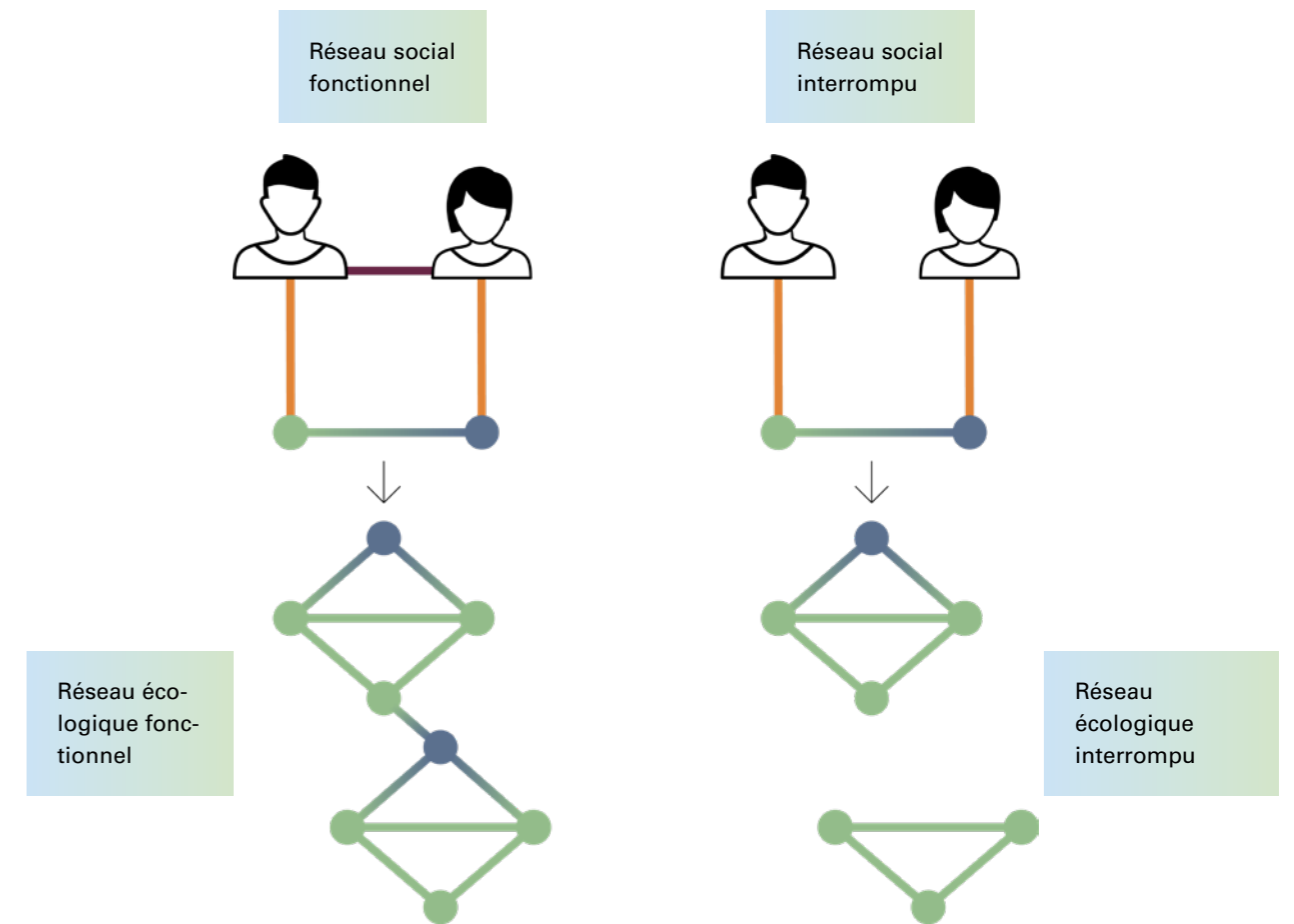


Fig. 40: Le réseau socio-écologique se compose d'une série de sous-structures distinctes. La figure présente des exemples de sous-structure fermée (à gauche : tous les protagonistes et tous les habitats sont connectés) et de sous-structure ouverte (à droite : manque de connexion entre les protagonistes et connexions existantes dans le réseau écologique). La sous-structure fermée suggère une bonne coordination, la sous-structure ouverte suggère des lacunes dans le flux d'informations ou dans la coordination. Ces dernières peuvent se traduire par des lacunes dans le réseau écologique suite à la non-prise en compte de l'importance de certains éléments connecteurs ou au non-respect de la biodiversité dans la gestion de certains éléments. D'après Donati et al. 2023, modifié.

Encart 11

Du retard à rattraper en milieu urbain

En milieu urbain, en particulier, la coordination entre les différents protagonistes laisse à désirer. Pour l'heure, les opérations d'aménagement d'éléments sur les bâtiments, le long des rues ou pour réguler l'eau sont généralement menées de manière isolée les unes des autres.

Les toits verts, les façades végétalisées et les espaces de rétention des eaux sont des milieux assez récents en ville et leur petite surface fait que leur potentiel écologique n'appa-

raît pas toujours clairement ou se trouve souvent sous-estimé. De plus, les parties prenantes à coordonner ayant une influence sur ces surfaces sont nombreuses. Or ces éléments d'infrastructure écologique, plutôt petits mais très répandus dans l'espace urbain, sont d'une grande importance écologique car ils structurent l'ensemble du réseau et contribuent à le pérenniser.



Fig. 41 : Si la perméabilité de l'espace urbain n'est pas assurée, tout le potentiel de l'infrastructure écologique est affecté au niveau régional. Lors de la mise en place des infrastructures vertes et bleues, il est donc important de penser à leurs connexions avec l'extérieur de la ville. Photo Francine van den Brandeler

Encart 12

La biodiversité n'est pas (encore) un programme politique coordonné

Toute une série de documents nous informent de la vie politique suisse : procès-verbaux des sessions du Conseil national et du Conseil des États, postulats et interpellations, textes de loi et arrêts du Tribunal fédéral, rapports et expertises... Une équipe de recherche a exploré cette mine d'informations pour y trouver toutes les citations de biodiversité. Au total, 440 000 documents ont été scrutés avec plus d'une centaine de mots-clés et combinaisons de mots se rapportant à la biodiversité, comme par exemple « diversité spécifique », « tourbières », « loup », « espèces invasives »

ou encore « passe à poissons ». Les documents couvrent la période 1999–2018 et concernent tous les domaines du politique : agriculture, transports, environnement, énergie, milieux aquatiques, santé, etc.

Une compartimentation sectorielle de la pensée

Seuls 1,6 % des documents présentaient une référence à la biodiversité. Sans surprise, les questions de biodiversité apparaissaient principalement dans les documents ayant trait à l'agriculture et à l'environnement (figure 42). Dans

beaucoup d'autres domaines, pourtant importants pour ces questions, comme l'aménagement du territoire, les transports, l'énergie, l'économie ou encore la santé, la biodiversité n'est quasiment pas mentionnée. Étant donné que la sauvegarde et la promotion de la biodiversité exigent des mesures coordonnées dans un large éventail de domaines politiques, ce constat est alarmant.

Point positif, la plupart des politiques s'intéressent au moins une fois à la biodiversité au cours de leur mandat. Mais en fin de compte, comme pour tous les sujets politiques, seul un petit nombre de personnes se consacrent entière-

ment à cette question ; c'est à elles que l'on doit la plupart des documents relatifs à la biodiversité et ce sont elles qui défendent le sujet et le font apparaître dans les autres domaines politiques. Cette analyse montre à quel point il est important que des personnes soucieuses de la biodiversité soient représentées au Parlement.

On est encore loin du mainstreaming

En politique, on parle de « mainstreaming » quand un sujet se voit intégré dans tous les domaines des politiques publiques. Malgré la Stratégie Biodiversité Suisse, la place ac-

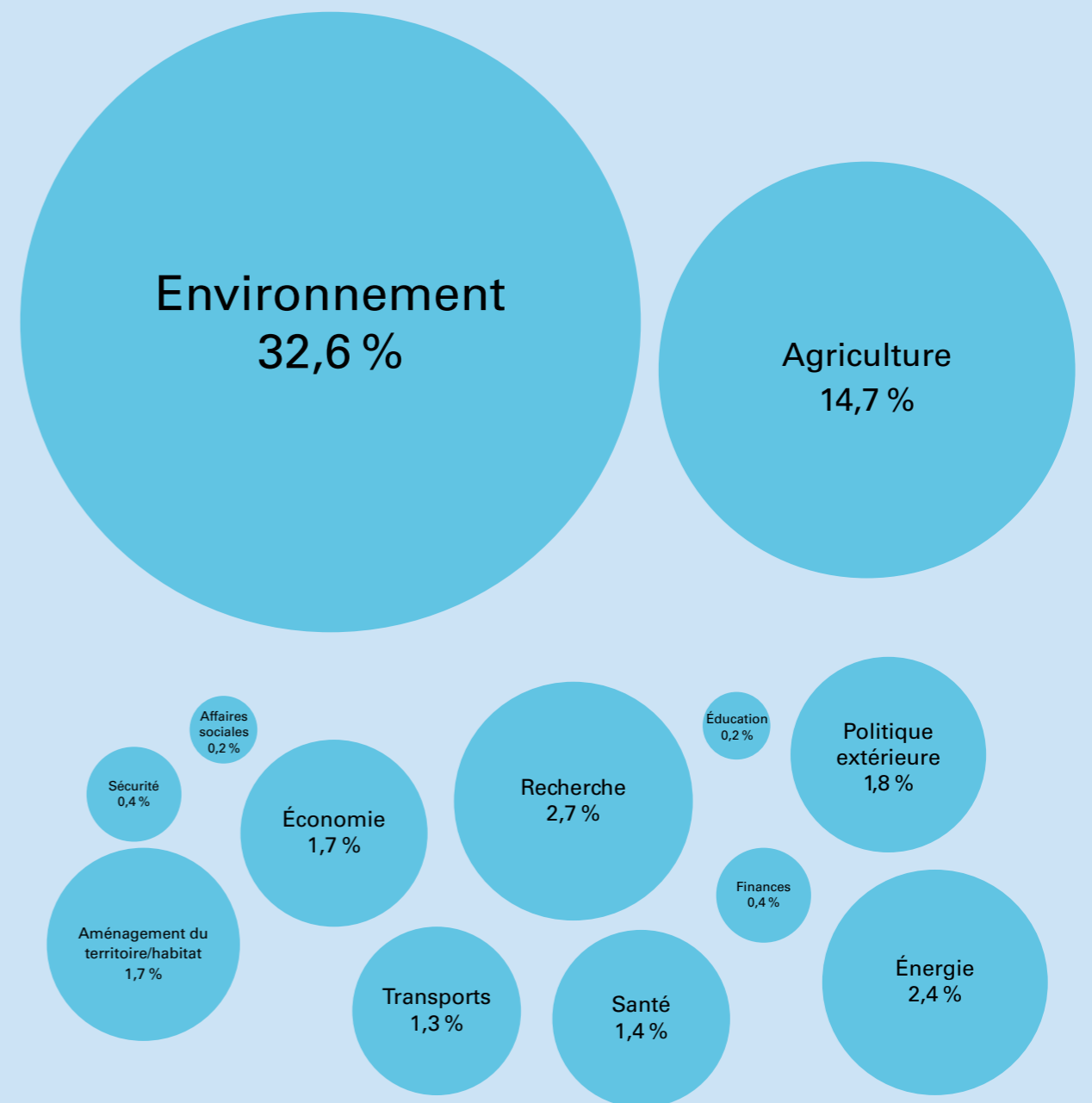


Fig. 42 : Attention relative accordée aux questions de biodiversité par le Parlement et le Conseil fédéral en fonction des domaines politiques (1999–2018). Alors que 14,7 % des documents de politique agricole présentaient une référence à la biodiversité, ils n'étaient que 2,4 % dans le domaine de l'énergie et 1,7 % dans celui de l'aménagement du territoire. D'après Reber et al. 2023, modifié.

cordée à la biodiversité s'est peu améliorée depuis 2012 : au cours des deux décennies étudiées, la part de documents s'y rapportant de près ou de loin est restée très faible. En Suisse, le mainstreaming est donc encore loin d'être une réalité pour la biodiversité. Contrairement aux guerres, aux inondations ou aux primes d'assurance maladie, elle domine rarement l'actualité. Elle a du mal à retenir l'attention face aux sujets concurrents car, de par son caractère discret et progressif, elle ne fait jamais les grands titres des journaux. En même temps, les questions de biodiversité sont traitées de manière fragmentée, dans une multitude d'initiatives abordées isolément.

Qui plus est, le rôle de la biodiversité s'amenuise au cours des différentes phases du processus politique : elle est ainsi généralement moins présente dans les textes de loi que dans la phase d'élaboration des politiques, ce qui est probablement dû au fait qu'on la réduit souvent à quelques espèces ou habitats bien spécifiques. Et même si le Parlement débat de temps en temps de mesures de protection

de la biodiversité, les termes correspondants n'apparaissent quasiment jamais dans les textes.

La biodiversité en tant que programme politique

L'étude montre cependant aussi une tendance positive dans la mesure où, dernièrement, le concept de « biodiversité » est plus souvent employé dans les documents politiques. C'est encourageant car un label « biodiversité » fort peut favoriser la cohérence entre les mesures et le regroupement des parties prenantes. Les thèmes fragmentés peuvent alors être rassemblés dans un agenda politique coordonné. Il serait important d'engager cette démarche car elle permettrait aux parties prenantes de s'inspirer les unes des autres, de prendre position sur un sujet commun (même dans la controverse), de se reconnaître en tant que partenaires ou qu'adversaires – et, finalement, de communiquer réellement, de façon constructive. Cela devrait conférer davantage de poids à la politique sur la biodiversité et l'aider à s'élever au rang de secteur politique à part entière.

Reber U., Fischer M., Ingold K., Kienast F., Hersperger A., Grütter R. (2021) : Les multiples visages de la politique biodiversitaire. *Hotspot* 44, 9.

Fischer M., Reber U. (2022) : Im Schatten des politischen Fokus. *aqua viva* 2022/4, 30–31.

Reber U., Ingold K., Fischer M. (2023) : The role of actors' issue and sector specialization for policy integration in the parliamentary arena: an analysis of Swiss biodiversity policy using text as data. *Policy Sciences* 56, 95–114. doi.org/10.1007/s11077-022-09490-2

Reber U., Fischer M., Ingold K., Kienast F., Hersperger A.M., Grütter R., Benz R. (2022) : Integrating biodiversity: a longitudinal and cross-sectoral analysis of Swiss politics. *Policy Sciences* 55, 311–335. doi.org/10.1007/s11077-022-09456-4

Savoir et processus participatifs favorisent l'acceptation de la revitalisation des cours d'eau par la population

Véritables veines du paysage, les fleuves et rivières non corsetés, ayant gardé ou retrouvé un caractère naturel important, sont des milieux vivants et attrayants qui remplissent des fonctions essentielles. La situation des cours d'eau suisses est donc particulièrement inquiétante : au to-

tal, ils sont artificialisés ou même enterrés sur près d'un quart de leur longueur. Dans la région fortement exploitée du Plateau, cette part atteint presque 50%. L'urgence d'agir a été reconnue : la loi sur la protection des eaux révisée en 2011 exige que les cours d'eau suisses soient

remis dans un état semi-naturel. Selon les sondages, la majorité de la population soutient ce projet. Le but est de restaurer des milieux aquatiques semi-naturels avec leurs biotopes, leur faune et leur flore caractéristiques. Un quart des cours d'eau fortement artificialisés ou en mauvais état



Fig. 43 : Des ateliers pour des discussions passionnées. Photo Marius Fankhauser

doivent ainsi être renaturés. Ces quelque 4000 kilomètres de cours d'eau doivent être revitalisés « en tenant compte des bénéfices de ces interventions pour la nature et le paysage, ainsi que de leurs répercussions économiques ». Le programme a toutefois déjà pris du retard.

Faire participer la population dès le début

Bien que de plus en plus de tronçons soient libérés de leur corset et reconnectés avec les terres environnantes, l'objectif est encore loin d'être atteint. Bien souvent, les projets, pourtant bien conçus et déjà avancés, ne passent pas le cap des urnes au niveau communal. Le problème : la population n'a pas été intégrée au processus de planification et n'a été informée du projet qu'au dernier moment avant de voter.

La population prise au dépourvu se laisse alors convaincre de voter non par différents groupes d'intérêts bien intégrés dans le tissu local (mais opposés au projet) qui bénéficient d'un fort niveau de confiance. Ces groupes de pression parviennent à leurs fins parce que la population est peu informée sur la diversité naturelle des cours d'eau. Les arguments sont constamment les mêmes : le projet est trop cher et grève le budget com-

munal, il est inutile car le ruisseau est (prétendument) en bon état, il demande de sacrifier des terres nécessaires à la production de denrées alimentaires, etc. Lors du vote, les choix sont déjà faits – ce qui sonne le glas du projet.

Facteur aggravant, les cours d'eau et la biodiversité sont des biens communs qui, même s'ils rendent des services écosystémiques incontestables à l'échelle locale et régionale, n'ont pas de valeur monétaire directe. Ils ont donc peu d'importance par rapport aux intérêts défendus directement et activement dans l'opinion. Pour faire apparaître l'importance des cours d'eau, il est essentiel de transmettre les connaissances et informations nécessaires à la communauté locale dans un discours transparent et égalitaire.

Faire apparaître les besoins d'action

Il est donc primordial que la population soit intégrée dès le début dans la planification du projet et la prise de décision. Des scientifiques ont montré comment cela pouvait s'envisager et avec quel bénéfice à partir de deux exemples de revitalisation fluviale, l'une dans les Grisons (Bever) et l'autre en Argovie (Magden) (figure 43).

Dans un premier temps, il a été demandé aux habitantes et habitants d'estimer

l'état des fleuves et rivières dans leur région et en Suisse et de décrire leurs attentes vis-à-vis des cours d'eau. Pour cela, 3600 questionnaires ont été envoyés à la population.

Les réponses de 570 personnes ont révélé des faits intéressants : il est tout d'abord apparu qu'elles avaient conscience de la complexité des interrelations dans la nature et de l'importance de la biodiversité pour ces processus écologiques. Mais l'enquête a également révélé que la qualité biologique des cours d'eau locaux était surestimée, que l'importance des cours d'eau pour la biodiversité locale était sous-estimée et que l'importance de la sauvegarde de la biodiversité pour la population humaine était jugée faible. La majorité des personnes interrogées ont certes indiqué être généralement favorables à la revitalisation des cours d'eau mais l'importance de ce soutien était plus faible lorsque le projet devait être réalisé dans un voisinage immédiat.

Une compréhension commune pour des actions communes

Dans un deuxième temps, les personnes ayant participé au sondage ont été conviées à un atelier. L'objectif était de leur transmettre des informations scientifiques sur les cours d'eau et d'initier des

discussions dans lesquelles elles pourraient exprimer leur opinion personnelle et faire part de leurs connaissances sur le cours d'eau à revitaliser. Le but était de développer une compréhension commune du problème.

Les 62 personnes qui ont participé aux deux ateliers ont vivement discuté d'une grande variété de sujets, allant de l'état du cours d'eau au supplément de valeur d'un cours d'eau revitalisé (en particulier face au dérèglement climatique) en passant par la canalisation du public. Mais ces discussions et les informations des spécialistes ont-elles abouti?

Une enquête post-atelier a montré que la manière dont les cours d'eau et les revitalisations étaient perçus avait effectivement changé à la suite de ces échanges. Les personnes qui y avaient participé avaient conscience de l'érosion de la biodiversité dans les cours d'eau et des problèmes qui en découlent. Elles avaient également davantage tendance à s'identifier à « leur » ruisseau. Bien que les rives soient généralement privées, le cours d'eau était davantage perçu comme un bien public – le sentiment de propriété et de droit de décision vis-à-vis du ruisseau était fortement accru.

Les résultats et enseignements de l'étude serviront de base à un guide pratique. Il formulera pour les projets futurs des recommandations pour une intégration optimale de la population dans les processus de revitalisation. Il contiendra des conseils précis sur la manière d'organiser un atelier et des contenus à transmettre et sera complété de questionnaires et de transparents pour les présentations.

À retenir

- > En Suisse, le mainstreaming est encore loin d'être une réalité pour la biodiversité.
- > Pour fonctionner, les réseaux écologiques ont besoin de réseaux sociaux efficaces qui relient les acteurs et actrices les plus divers de la société. Pour chaque élément de l'infrastructure écologique, il convient d'identifier les parties prenantes et de les inciter à collaborer.
- > La participation de la population à la planification des projets de revitalisation des cours d'eau contribue à une perception plus positive de ces initiatives.



Fig. 44: Revitalisé, le Magdenerbach dans le canton d'Argovie est prêt à revivre. Photo Marius Fankhauser

Chapitre 7

Perspectives

L'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » de l'Eawag et du WSL a permis...

... de mettre en lumière et d'étudier plus en détail les relations déjà connues entre milieux verts et bleus et d'en faire apparaître de nouvelles;

... de chercher et de trouver des solutions aux questions relatives à la crise de la biodiversité à l'interface entre terre et eau;

... de renforcer la recherche interdisciplinaire sur la biodiversité au sein du domaine des EPF et au-delà;

... de former un grand nombre de jeunes chercheuses et chercheurs dans le domaine de la biodiversité bleu-vert. Une partie de ces jeunes spécialistes va rejoindre le milieu professionnel et employer ces nouvelles connaissances dans la planification et la mise en œuvre de mesures adéquates pour sauvegarder la biodiversité.

Les résultats de la recherche n'ont pas été uniquement publiés dans des revues scientifiques mais également dans des organes de publication conçus pour le terrain (encart 13).

La présente brochure a été élaborée pour la clôture officielle de l'initiative de recherche en septembre 2024. Elle n'a pu rendre compte de tous les résultats de recherche car de nombreuses études sont encore en cours et certains résultats n'ont pas encore été publiés. Ainsi, début 2024, certains projets importants en étaient encore au stade de l'interprétation (encart 14). Tous les résultats, toutes les publications et toutes les synthèses de l'initiative sont mis en ligne en continu sur les sites de l'Eawag et du WSL:

- > www.eawag.ch/bgb
- > www.wsl.ch/bgb

Encart 13

Pour l'enseignement et la pratique

L'un des objectifs de l'initiative de recherche était de faire percevoir les interactions entre les milieux aquatiques et terrestres pour promouvoir une vision intégrée des phénomènes, notamment dans l'enseignement. Le livre « Biodiversität zwischen Wasser und Land » montre très concrètement comment les écosystèmes « bleus » et « verts » sont reliés entre eux. Au gré de huit excursions, il présente des interrelations parfois surprenantes mais toujours essentielles entre milieux aquatiques et terrestres.

Le livre véhicule une vision globale et intégrée des paysages, des biotopes, de la biodiversité, des ressources naturelles et des effets des activités humaines. Il s'adresse principalement aux personnes étudiant la biologie, les sciences de l'environnement et de la biodiversité et les disciplines apparentées, aux membres du corps enseignant, aux responsables d'excursions et à un public averti. Mais il intéressera également les personnes travaillant dans le domaine politique, administratif ou économique qui souhaitent mieux comprendre les questions écologiques et l'impact des activités anthropiques sur la biodiversité.

Altermatt F., Gusewell S., Holderegger R. (2024): Biodiversität zwischen Wasser und Land. Exkursionen zu Gewässern, Mooren und Auen in der Schweiz. Haupt Verlag.



Encart 14

Le rôle des communes

L'un des derniers projets lancés dans le cadre de l'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » porte sur la promotion de la biodiversité dans l'espace urbain à l'échelle communale. En effet, ce sont les communes qui en fin de compte sont responsables de la réalisation concrète des mesures. L'aménagement du territoire joue alors un rôle clé : intervenant à l'interface entre les usages, les secteurs d'activité et les domaines politiques dont il doit coordonner les intérêts, il constitue un outil de choix pour favoriser la biodiversité et préserver les services écosystémiques. Si elles l'utilisent dans le bon sens, les communes disposent avec lui d'un levier d'action important pour créer des habitats, pour les connecter et les protéger et pour valoriser les milieux dans une perspective écologique.

Dans le cadre de ce projet, les scientifiques analysent le processus de révision des plans d'affectation du sol. Ils et elles cherchent à savoir si les communes appliquent des standards favorables à la biodiversité dans la réglementation communale en matière de construction et de zonation, et si oui, lesquels. Elles peuvent par exemple formuler des exigences en matière de création et de connexion des espaces verts, d'aménagement semi-naturel de l'espace, de plantation d'essences locales, de protection des arbres, de création d'espaces d'infiltration naturelle ou encore de promotion des espaces aquatiques. Les facteurs qui facilitent

ou empêchent l'intégration des standards favorables à la biodiversité dans les différentes phases du processus politique sont alors déterminés. Les résultats donneront lieu à des recommandations à l'intention des parties prenantes formulées sous la forme d'exemples de « bonnes pratiques ». Les premiers entretiens avec différents groupes d'intérêts dans les communes ont montré que, de l'avis des personnes interrogées, le manque de ressources humaines et financières est le principal obstacle à l'encouragement de la biodiversité au niveau communal. Elles estiment que les lois de niveau supra communal sont insuffisantes ou trop vagues pour permettre une politique communale efficace pour la biodiversité. De même, le manque de mécanismes d'application efficaces pour ces lois est perçu comme un obstacle.

En même temps, différentes approches se dégagent pour favoriser la biodiversité en milieu urbain. De l'avis des personnes interrogées, une vision commune pour un avenir viable, des consignes claires et un soutien affirmé de la part du canton et un ancrage de la biodiversité dans les plans et lois communales seraient favorables. Elles estiment aussi qu'il serait utile d'exploiter les synergies entre les différents domaines politiques, de faire preuve de plus d'audace et de disposer de bonnes connaissances en matière de gestion et d'entretien.



Fig. 45 : L'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » a permis de chercher et de trouver des solutions aux questions relatives à la crise de la biodiversité à l'interface entre terre et eau. Photo Beat Schaffner

Les chercheuses et chercheurs de l'initiative « Blue-Green Biodiversity » de l'Eawag et du WSL

Achermann-Sidler Michelle (Eawag)
 Altermatt Florian (Eawag)
 Bach Peter (Eawag)
 Baity-Jesi Marco (Eawag)
 Bergamini Ariel (WSL)
 Bolliger Janine (WSL)
 Bollmann Kurt (WSL)
 Brockerhoff Eckehard (WSL)
 Brosse Morgane (Eawag/WSL)
 Brun Philipp (WSL)
 Buchecker Matthias (WSL)
 Capitani Leonardo (WSL/Eawag)
 Contzen Nadja (Eawag)
 Cook Lauren (Eawag)
 Dietzel Andreas (Eawag/WSL)
 Ding Wenna (WSL/Eawag)
 Donati Giulia (Eawag/WSL)
 Drost Bastiaan (WSL/Eawag)
 Fankhauser Marius (WSL/Eawag)
 Fink Sabine (WSL)
 Fischer Manuel (Eawag)
 Gebert Friederike (WSL/Eawag)
 Ghosh Shyamolina (WSL/Eawag)
 Gossner Martin (WSL)
 Graham Catherine (WSL)
 Güsewell Sabine (Eawag/WSL)


Hering Janet (Eawag)
 Hersperger Anna (WSL)
 Ho Hsi-Cheng (Eawag/WSL)
 Hobi Martina (WSL)
 Hoffmann Sabine (Eawag)
 Holderegger Rolf (WSL)
 Ilić Maja (WSL/Eawag)
 Janssen Elisabeth (Eawag)
 Jardim de Queiroz Luiz (Eawag/WSL)
 Khaliq Imran (Eawag/WSL)
 Kienast Felix (WSL)
 Lever Jelle (Eawag/WSL)
 Lham Dechen (Eawag/WSL)
 Logar Ivana (Eawag)
 Marti Roman (Eawag)
 Matthews Blake (Eawag)
 Maurer Max (Eawag)
 McFadden Ian (WSL/Eawag)
 Moor Helen (WSL/Eawag)
 Moretti Marco (WSL)
 Moser Valentin (WSL/Eawag)
 Narwani Anita (Eawag)
 Odermatt Daniel (Eawag)
 Oester Rebecca (Eawag)
 Ogundipe Oluwadamilola (WSL/Eawag)
 Oliveira Juliana (WSL/Eawag)

Pellissier Loïc (WSL)
 Perrelet Kilian (Eawag/WSL)
 Pittino Francesca (WSL/Eawag)
 Pomati Francesco (Eawag)
 Reber Ueli (WSL/Eawag)
 Risch Anita (WSL)
 Rixen Christian (WSL)
 Roth Lucie (WSL)
 Roza Caio (WSL)
 Schmidt Benedikt (Infofauna Karch)
 Schnorf Hektor (WSL)
 Schubert Carsten (Eawag)
 Schuwirth Nele (Eawag)
 Schwab Stephanie (WSL/Eawag)
 Seehausen Ole (Eawag)
 Sendek Agnieszka (WSL/Eawag)
 Shipley Ryan (Eawag/WSL)
 Steffen Konrad † (WSL)
 Thierfelder Jana (Eawag/WSL)
 Twining Cornelia (Eawag)
 Vitasse Yann (WSL)
 van den Brandeler Francine (Eawag)
 Vorburger Christoph (Eawag)
 Wong Mark (WSL/Eawag)
 Zimmermann Niklaus (WSL)

Nous tenons à remercier toutes les coautrices et tous les coauteurs non cités ainsi que tous les autres partenaires qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'initiative de recherche BGB.



Fig. 46 : Scientifiques de l'initiative de recherche « Blue-Green Biodiversity » lors d'une rencontre au printemps 2024. Photo Lucas Gobatti



Pensés ensemble,
le vert et le bleu
font plus que la
somme des deux.

La collaboration étroite entre les scientifiques de l'Eawag et du WSL a permis de traiter les questions d'ordre écologique et sociétal de manière intégrée.

Les milieux aquatiques et terrestres sont étroitement liés. Les modifications dans un domaine ont des effets dans l'autre.

Pour fonctionner, les réseaux écologiques ont besoin de réseaux sociaux viables réunissant une grande diversité d'actrices et d'acteurs de la société.

Les changements climatiques entraînent une certaine désynchronisation des systèmes bleus et verts.

L'érosion de la biodiversité peut être enravée si un contexte favorable est créé et si des mesures adéquates sont prises.

En ville, les infrastructures vertes et bleues offrent une solution à plusieurs grands problèmes écologiques et sociétaux de notre époque.