

N° 300
AUTOMNE 2024

arpea mag
Le magazine romand
de l'environnement

**TOUTE REPRODUCTION OU
DIFFUSION DOIT FAIRE L'OBJET D'UNE
DEMANDE ÉCRITE À L'ARPEA**

ÉCOSYSTÈMES, BIODIVERSITÉ ET CLIMAT : COMMENT ANTICIPER, S'ADAPTER ET ACCOMPAGNER LE CHANGEMENT ?

Femmes et environnement : Laure-Emmanuelle Perret : experte de la technologie solaire et de l'innovation durable • Construire en terre : un matériau de construction qui garantit le confort en contribuant à un environnement sain

ASSOCIATION ROMANDE POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT



ASSOCIATION ROMANDE POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

www.arpea.ch

Fondée en 1944, l'ARPEA est une association sans but lucratif dont l'objectif est la protection de l'environnement dans son ensemble. Elle poursuit les buts statutaires suivants :

- œuvrer pour la protection de l'environnement ;
- soutenir des études sur les relations entre l'homme et son environnement, les êtres vivants et leurs biotopes ;
- lutter contre l'érosion de la biodiversité ;
- promouvoir des moyens de lutte contre la pollution ;
- promouvoir la transition énergétique ;
- lutter contre les effets du changement climatique ;
- former des professionnel-le-s aux thèmes susmentionnés ;
- informer ses membres, les collectivités, les privés et le public sur ces thèmes.

Elle se veut une plateforme d'échange et de discussion. Pour atteindre ces objectifs, l'ARPEA

- organise régulièrement des forums pour favoriser ;
la diffusion des informations et le dialogue entre praticiens ;
- publie une revue trimestrielle, l'arpeamag
(membre de l'Union suisse de la presse spécialisée) ;
- organise un cours pour les contrôleur-euse-s des émissions des installations de chauffage
au terme duquel le Certificat ARPEA peut être décerné (cours chauffage) ;
- organise un cours pour les exploitant-e-s de réseaux de chauffage à distance ;
- collabore avec le Groupe romand pour la formation des exploitant-e-s
de stations d'épuration (FES) au cours pour les exploitant-e-s de stations d'épuration ;
- organise annuellement le Prix ARPEA afin de récompenser des travaux de diplôme
remarquables en lien avec l'environnement.

L'ARPEA est forte de près de 650 membres collectifs et individuels représentant différents milieux engagés professionnellement dans la protection de l'environnement : communes, cantons, Confédération, entreprises, bureaux d'études, écoles, associations, etc.

Quiconque en fait la demande peut devenir membre de l'association et recevoir l'arpeamag. Plus d'informations sur www.arpea.ch.

COPRÉSIDENTE DE L'ARPEA :

Nadia Christinet
Association Suisse des Infrastructures
Communales ASIC

Félix Schmidt
CSD Ingénieurs

presidence@arpea.ch

RÉDACTION ET PUBLICITÉ :

Leïla Rölli
redaction@arpea.ch

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL :

Michael Posse
info@arpea.ch
Tél. 032 504 19 84
Mercredis, jeudis et vendredis matins

IMPRESSION :

Imprimerie Pressor SA Tél. 032 421 19 19
2800 Delémont info@pressor.ch

*Reproduction autorisée avec mention de la source
et envoi d'un justificatif*

4 ÉDITORIAL de Nadia Christinet
Coprésidente de l'ARPEA

6 AGENDA

8 ACTUALITÉS

10 DOSSIER : biodiversité et changement climatique

10 | Introduction

11 | Biodiversité et climat : actions transversales et investissements urgents

17 | Gestion des milieux urbains – Arborisation

21 | L'infrastructure écologique sur le canton de Genève

27 | Sols et agriculture : comment concilier production et biodiversité ?

35 | Les milieux aquatiques à l'aube des changements climatiques :
voyage entre menaces et solutions

43 | L'importance de plantations expérimentales pour la gestion de la forêt
dans un contexte de changement climatique

49 | Faire vivre les paysages face aux changements climatiques

55 | Biodiversité et services écosystémiques en montagne

63 | L'usage durable de l'eau : le droit à l'épreuve des changements environnementaux

64 FEMMES ET ENVIRONNEMENT

Laure-Emmanuelle Perret : experte de la technologie solaire
et de l'innovation durable

70 LE REGARD DE MARGAUX

Le Machaon

72 RUBRIQUE CULTURELLE

75 CONSTRUIRE EN TERRE

Un matériau qui garantit le confort en contribuant à un environnement sain



Voici le 300^e numéro de notre arpeamag ! Anciennement bulletin, lieu de partage des expériences dans les domaines de l'eau, de l'air, puis plus largement de l'environnement, il est aujourd'hui un véritable espace d'échange. Pour notre 80^e anniversaire, c'est le thème de la biodiversité qui se trouve au cœur de nos réflexions : écosystèmes, biodiversité et climat : anticiper, s'adapter, accompagner le changement.

Notre forum du 6 juin dernier a mis en lumière les différentes disciplines de recherche, d'analyses et de perspectives qui nous permettent d'explorer les services écosystémiques issus de la biodiversité en montagne, les évolutions de nos paysages avec une hausse de 4°C, et d'imaginer des projets concrets à l'échelle des communes intégrant ces informations.

Cet été a une fois de plus démontré que les périodes de chaleur prolongées, sans répit nocturne, rendent d'autant plus urgent le besoin d'aménagements naturels en zones urbaines, à la fois pour le bien-être des habitants et pour soutenir les réseaux nécessaires aux insectes et à la petite faune qui favorisent la biodiversité. La Confédération a d'ailleurs publié le document « Biodiversité et qualité paysagère en zone urbaine », soulignant l'importance de ces aménagements. Parallèlement, des techniques comme la construction en terre permettent de réduire l'usage de matériaux à forte empreinte carbone tout en offrant un habitat plus sain pour l'environnement, comme le montrent les travaux de Roman Schirmer et Sten Rettby.

Isaac Newton disait que les hommes construisent trop de murs et pas assez de ponts. En réponse à cette citation, chaque intervenant-e à ce forum — qu'il ou elle soit scientifique, ingénieur-e, agronome ou juriste — contribue à sa manière à la mise en œuvre de la transition écologique. L'ARPEA construit des ponts entre les disciplines à travers ses forums, ses publications, et entre les générations via ses formations (cours de chauffage, cours CAD). Un exemple parmi d'autres, dans la rubrique « Femmes et Environnement », Laure-Emmanuelle Perret montre comment il est possible de concilier installation de panneaux photovoltaïques et respect du patrimoine.

Chaque action, chaque projet, qu'il soit mené à l'échelle communale ou urbaine, s'inscrit dans cette réflexion collective indispensable sur la préservation de la biodiversité et la meilleure intégration de la nature dans notre quotidien. Toutefois, au-delà des actions concrètes, il est tout aussi essentiel de s'interroger sur les comportements individuels et collectifs qui façonnent notre relation avec l'environnement.

Alors, comment changer de comportement ? L'ouvrage « Soigner l'esprit, guérir la Terre » ouvre une voie ! Michel Maxime Egger y explique que le frein aux changements de comportements trouve son origine à la fin du néolithique, lorsque l'être humain s'est coupé de son interdépendance avec la nature. Cet ouvrage aborde les perspectives psychologiques de Sigmund Freud, où le « moi » se limite au corps, tandis que Carl Gustav Jung considère la nature comme partie intégrante du « moi », dans une approche holistique qui fait de l'homme un élément de la nature, en résonance avec les modes de vie des peuples premiers.

Joanna Macy, écopsychologue et pionnière du « travail qui relie », propose une démarche concrète pour se reconnecter à soi-même et à la Terre. Son approche, qui s'appuie sur la gratitude, la reconnaissance de notre responsabilité, un changement de perception et un engagement pour l'avenir, nous invite à trouver la paix intérieure nécessaire pour transformer nos comportements. Que cette prise de conscience nous ouvre de nouvelles perspectives pour avancer sur le chemin de la transition écologique !

Bonne lecture !

Nadia Christinet, Coprésidente de l'ARPEA

Encore deux visites anniversaires se tiendront cet automne. Il sera question d'énergie et de micropolluant. Les visites auront lieu à l'intérieur et seront suivies d'un apéritif convivial. L'occasion de rencontrer des membres de l'ARPEA et du comité ! La **participation est libre mais l'inscription requise** sur www.arpea.ch/agenda/. On vous attend nombreux-ses !



BLUEARK CONFERENCE | Jeudi 21 novembre 2024 | Le Châble (VS)

Pour la deuxième fois, l'ARPEA se joint au VSA pour l'organisation d'une session thématique lors de la BlueArk Conference. L'année dernière, près de 300 personnes ont pris part à cet événement incontournable pour les professionnel-le-s de l'eau.

Pour cette édition, nous aborderons le concept de ville éponge d'un point de vue pratique et appliqué, autant en milieu urbain que rural. Les autres sessions thématiques aborderont les problématiques suivantes :

- Accès à l'eau : quels outils ? Quelles priorités ?
- Les nouveaux défis de la qualité de l'eau
- Modernisation des infrastructures hydroélectriques pour plus de durabilité et de résilience
- Le numérique pour une gestion d'eau durable
- Solutions innovantes pour la gestion de l'eau



Moins de bétail victime du loup en Suisse en 2024

Les derniers chiffres des cantons du Valais et des Grisons révèlent une diminution du nombre d'animaux de rente tués par les loups en 2024, malgré une légère augmentation de la population lupine. Le Valais a enregistré une baisse de 15% des attaques par rapport à la même période l'année précédente, tandis que les Grisons ont constaté une réduction de 35%. Cette tendance à la baisse avait déjà été observée en 2023, avant l'introduction de la régulation préventive des loups, indiquant que la protection des troupeaux reste efficace.

En Suisse, avec plus de 35 meutes de loups, la population continue de croître légèrement. Cependant, le nombre d'attaques sur les animaux de rente diminue pour la deuxième année consécutive. Cette baisse est principalement attribuée à une amélioration des mesures de protection des troupeaux, car il n'y a pas de corrélation directe entre la régulation des meutes et la réduction des dommages. Les données montrent que même une régulation intensive ne peut pas réduire durablement les attaques si les animaux de rente ne sont pas protégés.

Les loups solitaires posent plus de problèmes que les meutes. En Valais, quelques loups solitaires ont causé presque autant de dégâts que toutes les meutes réunies. Dans le canton de Vaud, plus de la moitié des attaques ont été attribuées à un seul loup solitaire, tandis que les meutes du Jura ont été responsables d'une minorité d'incidents. Ce cas démontre le potentiel de nuisance élevé des loups solitaires et souligne l'importance de la protection des troupeaux, même lorsque des mesures de régulation par tir sont en place, car ces tirs sont difficiles à exécuter systématiquement.



La protection des troupeaux demeure l'alpha et l'oméga de la coexistence avec le canidé, à condition qu'elle soit appliquée partout. Photo : Loup gris © Gary Kramer

Sources : <https://www.pronatura.ch/fr/2024/moins-de-betail-victime-du-loup-en-2024-aussi>

Plus de 1300 espèces d'arbres en ville : un risque pour les forêts suisses ?

Une récente étude de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a révélé que les villes suisses abritent plus de 1300 espèces d'arbres, contre seulement 76 dans les forêts. Cette diversité urbaine, largement composée d'espèces non-indigènes, pourrait faciliter l'introduction et la propagation des ravageurs forestiers vers les zones boisées.



Le capricorne asiatique peut infester de nombreuses espèces d'arbres feuillus. © Kyle T. Ramirez

L'expert en protection forestière Benno Augustinus explique que les ravageurs et maladies trouvent en milieu urbain une grande variété d'hôtes potentiels, augmentant ainsi le risque de transmission vers les forêts environnantes. Ce phénomène est exacerbé par le commerce international, qui introduit de nombreuses espèces envahissantes dans les zones urbaines.

Les résultats de l'étude soulignent l'importance de surveiller les arbres en ville pour détecter précocement les ravageurs et prévenir leur diffusion. Pour cela, une collaboration renforcée entre les gestionnaires des espaces verts urbains et les forestiers est essentielle. Cette approche concertée permettrait de mieux protéger les forêts suisses contre les menaces croissantes des ravageurs et de préserver la biodiversité.

Sources : <https://www.wsl.ch/fr/news/plus-de-1300-especes-darbres-vivent-en-ville-sont-elles-des-portes-dentree-pour-les-ravageurs-forestiers/>

Le Conseil fédéral lance une consultation sur l'exploitation des centrales de réserve en cas de pénurie d'électricité



Le Conseil fédéral a initié une consultation sur l'ordonnance relative à l'exploitation des centrales de réserve pour faire face à une éventuelle pénurie d'électricité. Cette consultation, lancée lors de la séance du 21 août 2024, se déroulera jusqu'au 21 novembre 2024.

L'ordonnance vise à encadrer l'utilisation des centrales de réserve comme mesure d'intervention en cas de crise énergétique. Si une pénurie d'électricité est déclarée ou imminente, le Conseil fédéral pourrait décider de mettre en service ces centrales pour éviter ou retarder des mesures de gestion plus strictes qui pourraient avoir des conséquences significatives sur la population et l'économie. Ces mesures incluent le contingentement des gros consommateurs et les délestages électriques.

L'exploitation des centrales de réserve pourrait être combinée avec d'autres mesures de gestion de la consommation, comme des restrictions ou des interdictions d'utilisation de l'énergie électrique. L'ordonnance permettrait d'utiliser ces centrales de manière proactive, indépendamment de l'équilibre du marché de l'électricité, afin de garantir un approvisionnement suffisant en cas de pénurie imminente.

Le Conseil fédéral a décidé de mener cette consultation pour recueillir les avis des entreprises, des cantons et de la population avant de mettre en œuvre l'ordonnance, qui ne serait appliquée qu'en cas de pénurie d'électricité déclarée ou imminente.

Communication DEFR

Sources : <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-102133.html>

Le Conseil fédéral intensifie la lutte contre les résistances aux antibiotiques

Face à l'augmentation mondiale des bactéries résistantes aux antibiotiques, le Conseil fédéral a adopté un nouveau plan d'action, One Health StAR 2024-2027, pour renforcer la lutte contre ce phénomène. Ce plan, lancé dans le cadre de la Stratégie Antibiorésistance Suisse (StAR), vise à préserver l'efficacité des antibiotiques pour l'humain et l'animal, en définissant des objectifs nationaux et en promouvant des approches innovantes.

Le plan One Health StAR 2024-2027 adopte une approche coordonnée et multisectorielle, impliquant les domaines de la santé humaine, vétérinaire et de l'environnement. Sa mise en œuvre sera assurée par plusieurs offices fédéraux, en collaboration avec les cantons et d'autres acteurs. Les mesures prévues incluent

la détection précoce des résistances, la réduction de l'utilisation des antibiotiques en médecine vétérinaire, et la minimisation de la présence d'antibiotiques dans l'environnement.



Le plan d'action se concentre sur six priorités, incluant le dépistage systématique des résistances lors de l'admission de patient·e·s à risque dans les hôpitaux, et l'établissement de systèmes de référence pour encourager une utilisation appropriée des antibiotiques. Il prévoit également des initiatives pour limiter la dispersion des antibiotiques dans les eaux usées et soutenir le développement de nouveaux antibiotiques.

Les résultats de la mise en œuvre du plan seront évalués en 2027. Depuis le lancement de la Stratégie Antibiorésistance Suisse en 2016, la consommation d'antibiotiques a déjà diminué, avec une baisse de 30% des antibiotiques critiques en médecine humaine et de 77% en médecine vétérinaire. Malgré ces progrès, la lutte contre les résistances aux antibiotiques reste essentielle, compte tenu des défis persistants à l'échelle internationale.

Sources : <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-101620.html>

Dossier spécial : Biodiversité et changement climatique

Face aux bouleversements climatiques actuels, la biodiversité — qui constitue la base même de la vie sur Terre — est de plus en plus fragilisée. En Suisse, cette richesse naturelle unique est gravement menacée : près de la moitié de nos milieux naturels sont en péril, et plus d'un tiers des espèces évaluées figurent désormais sur la liste des espèces menacées. La biodiversité, avec sa diversité d'habitats, d'espèces et de gènes, est essentielle au bon fonctionnement des écosystèmes, fournissant des services indispensables tels que la pollinisation, la purification de l'eau et la régulation climatique. Sa préservation est donc cruciale, non seulement pour l'équilibre écologique, mais aussi pour notre qualité de vie et celle des générations à venir.

Le forum ARPEA du 6 juin dernier, consacré aux écosystèmes et à la biodiversité, a été l'occasion de discuter des défis que posent les changements climatiques et d'explorer les solutions pour préserver nos paysages et leur diversité biologique. La matinée a été dédiée à l'analyse de l'état actuel des connaissances, en abordant des questions comme la préservation des infrastructures critiques et la connexion des zones écologiquement sensibles. L'après-midi s'est concentrée sur des stratégies d'action à différents niveaux — que ce soit au sein des communes, des entreprises, ou des territoires — avec une attention particulière portée aux milieux urbains, agricoles, aquatiques, et forestiers.

Dans ce dossier, vous trouverez les contributions des différent-e-s intervenantes et intervenants de ce forum, qui offrent des perspectives variées et des pistes concrètes pour agir en faveur de la biodiversité face aux changements climatiques. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers ces expert-e-s pour leur précieuse participation et leur engagement qui enrichissent notre compréhension des enjeux et nous incitent à agir collectivement pour la sauvegarde de notre patrimoine naturel.

Nous vous souhaitons bonne lecture ainsi qu'un bel automne !

Pour revoir les interventions de ce forum, rendez-vous sur notre plateforme en ligne : www.arpea.ch/replay.

SOUTIEN



Biodiversité et climat : actions transversales et investissements urgents

Dorothea Hug Peter

SCNAT – Forum Biodiversité Suisse

La biodiversité ne se limite pas aux parcs protégés, elle est aussi liée à nos choix quotidiens. Pour inverser le déclin de la biodiversité, des actions transversales et des investissements audacieux, qui intègrent la conservation et la promotion de la biodiversité ainsi que la transformation de nos modes de vie, sont nécessaires.

Quand on parle de promotion de la biodiversité, l'image qui vient souvent à l'esprit est celle d'une aire protégée, d'un parc national ou, pour les initié·e·s, des surfaces de promotion de la biodiversité dans les zones agricoles. Mais qui pense à la biodiversité en achetant son croissant du matin ou en souscrivant une assurance-vie? Pourtant, pour inverser la tendance du déclin de la biodiversité, les mesures de protection de la nature ne

suffisent pas. La science, les accords internationaux et la stratégie nationale pour la biodiversité s'accordent sur ce point. Il est temps de vivre cette réalité et d'allouer les ressources nécessaires pour relever ce défi. Le Forum Biodiversité Suisse travaille à l'intersection entre la recherche, la politique et la pratique. Cet article donne quelques pistes pour des mesures administratives et politiques **qui vont dans le bon sens**.



LE PLAN POUR LA BIODIVERSITÉ

Pour la vie sur terre

Illustration 1 : Symbole du nouveau cadre mondial pour la biodiversité. Il capture l'essence de la beauté naturelle, composée de 23 éléments distincts. Chaque élément représente l'un des cibles, formant un tout unifié qui reflète l'interconnexion, illustrant la nécessité d'une action mondiale. Le logo symbolise notre lien avec toutes les formes de vie sur la planète et la beauté complexe qui nous entoure.

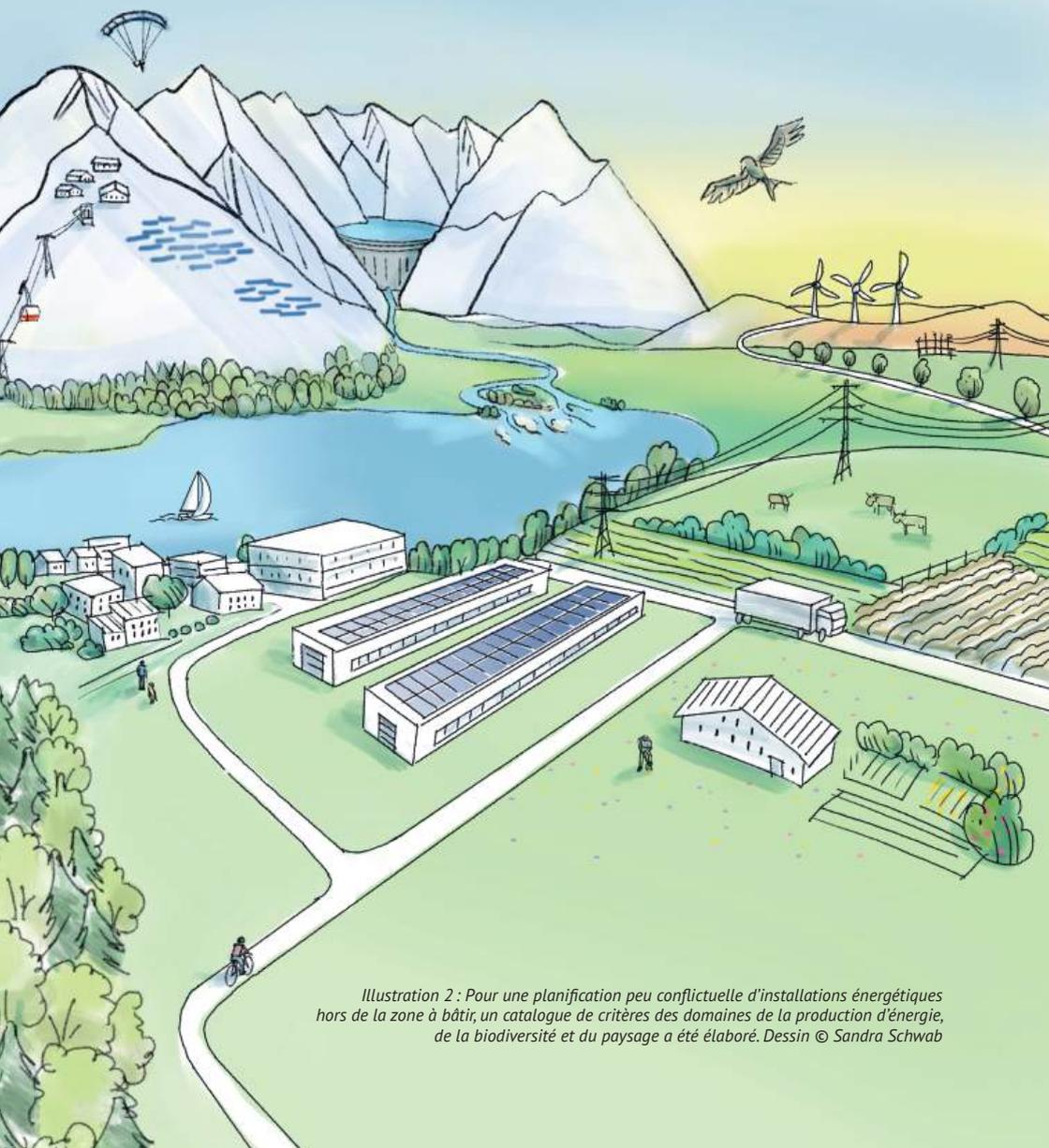


Illustration 2 : Pour une planification peu conflictuelle d'installations énergétiques hors de la zone à bâtir, un catalogue de critères des domaines de la production d'énergie, de la biodiversité et du paysage a été élaboré. Dessin © Sandra Schwab

Repenser nos systèmes face aux défis imbriqués du climat et de la biodiversité

La fiche d'information de la SCNAT «Aborder conjointement le changement climatique et la perte de la biodiversité» (Ismail et al., 2021) met en évidence l'interconnexion profonde entre le changement climatique et la perte de biodiversité. Les moteurs de ces deux crises sont souvent les mêmes: le changement d'affectation des sols, la production, le commerce et la consommation non durables. De plus, le changement climatique constitue en soi une menace pour la biodiversité.

Il est donc impossible de traiter efficacement la perte de biodiversité sans prendre en compte le changement climatique, et vice versa. Les travaux de Leclère et al. (2020) démontrent clairement que pour inverser la tendance du déclin de la biodiversité terrestre, nous avons besoin d'une approche intégrée. Cette stratégie doit englober la conservation, la restauration des écosystèmes, mais surtout une transformation profonde de nos systèmes alimentaires et de nos modes de consommation. Nous sommes donc face à des systèmes complexes qui doivent évoluer, car notre mode de vie n'est pas durable.

Face à l'urgence de la situation, la communauté internationale a récemment adopté un nouveau cadre global pour la biodiversité, comprenant 23 cibles à atteindre d'ici 2030 (Convention on Biological Diversity, n.d.). Ces cibles sont réparties en trois catégories:

- ❶ Réduire les menaces pour la biodiversité (cibles 1 à 8)
- ❷ Répondre aux besoins des populations par l'utilisation durable et le partage des bénéfices (cibles 9 à 13)
- ❸ Outils et solutions pour la mise en œuvre et l'intégration dans tous les secteurs (cibles 14 à 23)

La largeur de ces cibles met en évidence qu'il ne s'agit pas juste d'augmenter les surfaces d'aires protégées, mais bien de cibler tous les secteurs. La cible 3, dédier 30% de la surface en priorité à la biodiversité est peut-être la plus connue de ce nouveau cadre, mais elle n'en est qu'une parmi 23.

Chacune de ces cibles représente un défi en soi, mais ensemble, elles forment une feuille de route complète pour la protection et la restauration de notre biodiversité mondiale.

Le Forum Biodiversité Suisse a comparé les cibles à la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS, (OFEV, 2012)). La plupart des cibles sont effectivement couvertes par la SBS ou d'autres politiques. Cependant, l'évaluation de l'efficacité du premier plan d'action de la SBS s'est avérée insuffisante (OFEV, 2023). Le plan d'action II pour les années 2025 à 2030 est attendu pour l'automne.

Zoom sur la cible 8 – changement climatique et biodiversité

Parmi les 23 cibles mondiales, la cible 8 mérite une attention particulière. Elle vise à "minimiser les impacts du changement climatique sur la biodiversité et renforcer la résilience". Cette cible est cruciale car elle reconnaît explicitement le lien intrinsèque entre le changement climatique et la perte de la biodiversité.

Elle préconise l'utilisation de solutions fondées sur la nature et d'approches écosystémiques, offrant ainsi un double avantage: ces solutions permettent de réduire les effets négatifs du changement climatique sur la biodiversité tout en favorisant les retombées positives des actions climatiques sur les écosystèmes. En Suisse, cette cible trouve un écho dans la SBS, qui comprend des objectifs tels que l'utilisation durable de la biodiversité, la création d'une infrastructure écologique et le développement de la biodiversité dans l'espace urbain.

Le deuxième point d'attention de la cible 8 est la demande de ne pas nuire à la biodiversité par les actions pour le climat.

En Suisse, ceci s'applique particulièrement au développement des énergies renouvelables. Bien que la transition énergétique soit essentielle pour lutter contre le changement climatique, elle ne devrait pas se faire au détriment de notre biodiversité.

L'Académie Suisse des Sciences propose des critères spécifiques qui ont été élaborés avec des expert·e·s et parties prenantes pour designer des zones avec un faible potentiel de conflit (Neu et al., 2024). Le but est de soutenir une planification globale et de concentrer les installations plutôt que de les disperser partout. Ces critères comprennent notamment :

- L'évitement des zones protégées, dignes de protection pour la biodiversité ou importantes pour la biodiversité future
- Une priorité pour les milieux naturels à régénération rapide
- La préservation des processus écologiques à grande échelle et des corridors de mise en réseau

Le rapport complet avec la liste des critères commentés peut être trouvé ici : <https://sap.scnat.ch/fr/id/Su6sK?embed=PxpEL>

La biodiversité dans l'adaptation au changement climatique – la biodiversité en ville

En 2021, la Suisse a adopté un plan d'adaptation au changement climatique intégrant des mesures en faveur de la biodiversité (Confédération Suisse, 2020). Ce plan prévoit des actions telles que le renforcement de l'infrastructure écologique, l'aménagement d'espaces verts urbains, et la protection d'écosystèmes vulnérables. Cependant, malgré l'ambition de ces projets, aucun financement supplémentaire n'a été alloué pour leur mise en œuvre, ce qui remet en question leur réalisation. Parmi les points cités, le développement de la biodiversité en ville a reçu une attention particulière ces dernières années. Le projet "Co-crée la biodiversité en milieu urbain" du Forum Biodiversité Suisse vise à enrichir nos villes

d'espaces verts plus naturels et interconnectés, tout en améliorant la qualité de vie des citoyen·e·s. En collaboration avec nos partenaires, nous nous efforçons de favoriser la biodiversité dans les zones résidentielles, les espaces de travail et les parcs publics.

Pour soutenir cet effort, deux outils innovants ont été développés :

- ❶ La toolbox en ligne "nature en milieu urbain": cette ressource précieuse regroupe des connaissances pratiques, des outils éprouvés et des sources d'inspiration pour promouvoir la biodiversité en milieu urbain. Elle offre aux planificateurs, aux gestionnaires immobiliers et aux animateurs de processus une riche collection de possibilités d'action concrètes, facilitant ainsi la mise en œuvre de projets favorables à la biodiversité. (<https://toolbox.siedlungsnatur.ch/fr/>)
- ❷ L'outil BioValues: cet instrument permet d'évaluer et d'optimiser les projets de construction à l'aide de valeurs caractéristiques facilement mesurables. Il aide à déterminer comment exploiter au mieux le potentiel de biodiversité d'un site et assurer sa préservation à long terme. Basées sur une méthodologie scientifique, ces valeurs caractéristiques s'intègrent aisément dans les processus de planification et de construction. De plus, elles facilitent un dialogue objectif entre les différents spécialistes, conduisant à des solutions largement soutenues. (<https://biovalues.siedlungsnatur.ch/fr/>)

Ces outils complémentaires permettent non seulement de promouvoir la biodiversité, mais aussi de transformer le tissu urbain en un environnement plus vivant et accueillant, où nature et communauté s'épanouissent ensemble. En fournissant des ressources pratiques et des méthodes d'évaluation objectives, ces initiatives contribuent à ancrer la biodiversité au cœur de la planification et du développement urbain.

Unir et amplifier nos efforts pour le climat et la biodiversité

La biodiversité possède une valeur intrinsèque et joue un rôle crucial sur notre qualité de vie, notre sécurité alimentaire et notre capacité d'adaptation aux changements globaux, ce qui en fait un enjeu sociétal majeur. La crise climatique est intimement liée à la perte de la biodiversité. Ces deux défis ne peuvent être traités isolément et nécessitent une approche transversale. Ces préoccupations devraient être intégrées dans tous les secteurs de la société. Des accords internationaux aux initiatives locales, en passant par les politiques nationales, nous disposons des outils nécessaires pour agir. Cependant, la mise en œuvre effective de ces stratégies requiert un investissement financier conséquent et un engagement politique fort. Il est primordial d'allouer des ressources adéquates et de mobiliser tous les acteurs de la société dans cet effort collectif.

Cette mobilisation n'est pas seulement souhaitable, elle est vitale pour notre avenir commun. Comme le souligne Katharine Hayhoe, une communicatrice renommée dans le domaine du climat, "il ne s'agit pas seulement de sauver la planète, mais de nous sauver nous-mêmes". Cette réflexion s'applique d'autant plus à la biodiversité : en protégeant la diversité du vivant, nous assurons notre propre survie et celle des générations futures.

Références

GBF – Biodiversity Plan for Life on Earth: <https://www.cbd.int/gbf/targets>

Confédération Suisse. (2020). *Adaptation aux changements climatiques en Suisse. Plan d'action 2020–2025* (p. 164). <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--publikationen-und-studien/publikationen-klima/anpassung-klimawandel-schweiz-aktionsplan-2020-2025.html>

Convention on Biological Diversity. (n.d.). *2030 Targets (with Guidance Notes)*. <https://www.cbd.int/gbf/targets>

Ismail, S. A., Geschke, J., Kohli, M., Spehn, E., Inderwildi, O., Santos, M. J., Guntern, J., Seneviratne, S. I., Pauli, D., Altermatt, F., & Fischer, M. (2021). *Aborder conjointement le changement climatique et la perte de la biodiversité*. Académies suisses des sciences. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5145240>

Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M., Butchart, S. H. M., Chaudhary, A., De Palma, A., DeClerck, F. A. J., Di Marco, M., Doelman, J. C., Dürauer, M., Freeman, R., Harfoot, M., Hasegawa, T., Hellweg, S., Hilbers, J. P., Hill, S. L. L., Humpenöder, F., Jennings, N., Krisztin, T., ... Young, L. (2020). Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*, 585(7826), 551–556. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2705-y>

Neu, U., Ismail, S., & Reusser, L. (2024). *Planifier le développement des énergies renouvelables en tenant compte de la biodiversité et du paysage*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10927056>

OFEV. (2012). *Stratégie Biodiversité Suisse*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-biodiversitaet/biodiversitaet--publikationen/publikationen-biodiversitaet/strategie-biodiversitaet-schweiz.html>

OFEV. (2023). *Impact du Plan d'action Stratégie Biodiversité Suisse*.

Pour de plus amples informations :

dorothea.hug@scnat.ch
www.biodiversity.ch
<https://www.cbd.int/gbf/targets>



Votre eau, notre métier

WABAG Technique de l'Eau devient HFS Aqua

Nous sommes votre partenaire suisse de confiance pour le traitement de l'eau potable et des eaux usées. Nous sommes à votre écoute pour vous proposer des solutions sur mesure adaptées à vos besoins.

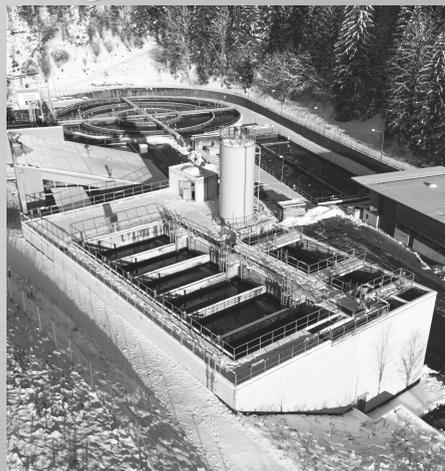
Traitement de l'eau potable

- Systèmes multi-barrières
- Ultrafiltration
- Ozonation & AOP
- Adsorption sur charbon actif (CAG & CAP)
- Élimination fer, manganèse et arsenic



Traitement des eaux usées

- MBR
- Boues granulaires aérobiees
- Biofiltration
- SBR
- Lit fluidisé
- Élimination des micropolluants



Gestion des milieux urbains

Arborisation

Michaël Rosselet

Ville de Lausanne – Service des Parcs et Domaines

L'arborisation est au cœur des enjeux en milieu urbain. Le changement climatique appelle un développement de cette arborisation, tout en constituant un obstacle à son épanouissement. Il s'agit de résoudre cette équation.

Plus que jamais, l'arborisation occupe une place centrale dans les préoccupations du public. Fort des émotions qu'il suscite, l'arbre est l'étendard de la nature en ville. Au-delà du facteur émotionnel, il joue un rôle essentiel, factuel, pour que les agglomérations soient viables et résilientes face au changement climatique et à l'effondrement de la biodiversité. Réunir les conditions nécessaires à la conservation et au développement de l'arborisation urbaine représente un défi qu'il s'agit de relever. Alors que le besoin d'arbres se fait de plus en plus important, les contraintes qu'imposent les infrastructures et les difficultés induites par l'évolution du climat se font de plus en plus fortes. Il n'y a pas de réponse simple, voire simpliste à ce défi. Le choix des espèces d'arbres et les conditions dans lesquelles ils sont plantés figurent parmi ces réponses.

Contexte

L'arborisation constitue un élément clé de l'adaptation climatique en milieu urbain. A l'échelle planétaire, en plus de son rôle dans l'adaptation au changement climatique, l'afforestation contribue à la captation du CO₂. A l'échelle des agglomérations urbaines, même si la capacité des arbres à stocker du carbone

demeure, elle reste très modeste. Pour cette raison, c'est surtout pour sa capacité à modérer les effets du changement climatique dans l'environnement bâti que l'arbre est plébiscité.

L'ombre qu'apporte la couronne des arbres permet d'abaisser la température de 5° à 8°. Le rafraîchissement est obtenu par la conjonction de cet ombrage avec l'évapotranspiration. Des milliers de litres d'eau transitent par l'arbre, absorbés par les racines et évapotranspirés dans l'atmosphère. Par ce processus, les arbres renforcent l'abaissement des températures au-delà de l'ombre qu'ils projettent au point de générer des courants thermiques locaux.

Les modélisations effectuées à Lausanne confirment que l'accroissement de la couverture de canopée à hauteur de 40% de la surface du territoire urbain induit un confort thermique significativement supérieur.

Le climat attendu sur le plateau suisse pour 2070 sera similaire à celui des Balkans, du Texas ou du Sichuan aujourd'hui si l'on prend en compte le scénario réaliste d'un RCP 8.5¹. Au-delà de la hausse des températures attendues pour la 2^e partie du XXI^e siècle, l'îlot de chaleur urbain génère une élévation des températures de l'ordre de 6° à 8° par rapport à la campagne environnante. Les bienfaits

¹ https://www.nccs.admin.ch/dam/nccs/de/dokumente/website/klima/CH2018_Technical_Report_v2.pdf.download.pdf/CH2018_Technical_Report_v2.pdf

induits par l'arborisation du milieu bâti sont donc essentiels pour y permettre la conservation d'une qualité de vie suffisante².

L'indice de canopée est devenu l'unité de mesure de l'arborisation des villes. Il se calcule grâce à des relevés LiDAR³ et photogrammétriques en mesurant la surface occupée par le feuillage des arbres. Le pourcentage de couverture de canopée de 40% évoqué plus haut constitue un consensus en matière d'objectif pour permettre d'atteindre le rafraîchissement escompté⁴. Il se traduit par des cibles et des horizons divers dans de nombreuses agglomérations. Quelques exemples : Montréal, 26% en 2025 ; Lyon, 30% en 2030 ; Londres, 30% en 2035 ; Barcelone, 30% en 2037 ; Lausanne, avec son Objectif Canopée, vise 30% en 2040.

Besoins de l'arbre en milieu bâti

Même dans des milieux naturels, l'arborisation souffre du changement climatique et de pathogènes locaux ou introduits. Affaiblis, les arbres sont vulnérables. En milieu bâti,

le développement d'arbres permettant la création d'une canopée généreuse représente un défi d'autant plus grand.

Les rues et places constituent des environnements minéraux où les besoins de rafraîchissement sont essentiels. Cependant, elles sont peu propices au développement d'arbres généreux et rafraîchissants. Leur sous-sol ne réunit pas les conditions de plantation appropriées. Un sol fertile doit donc souvent être reconstitué (augmentation de l'espace plantable, mélange terre-pierre, fosses de Stockholm, etc.). Un dialogue doit être entrepris avec les spécialistes de la route et des réseaux, pour concilier arbres et infrastructures. Des ressources existent pour mettre en place les conditions techniques permettant la réussite des plantations⁵.

Les critères de sélections et leurs limites

Nos essences locales sont mises à mal par les étés caniculaires et les longues périodes de sécheresse. Epicéas, charmes, érables, tilleuls sont sur le déclin dans les villes.

Il est donc essentiel de retenir la résilience face au changement climatique dans les critères de choix des arbres. Associée à des conditions de plantation favorables, cela leur permettra de jouer le rôle d'atténuateurs climatique parmi les services écosystémiques qu'on attend d'eux. Leur contribution à la biodiversité est aussi l'un des critères essentiels à prendre en compte, même dans un milieu fortement anthropique, la ville étant un réceptacle de la biodiversité grâce au paysage composite qu'elle offre.

D'autres critères de sélection s'imposent. Par exemple, les dimensions et la forme des arbres au regard du site qui doit les accueillir et de l'ombrage qu'on attend d'eux. Le caractère invasif de certaines espèces constitue un point d'attention, le principe de précaution



Illustration 1 : Bénéfices et besoins de l'arbre
(Source : Objectif canopée - Ville de Lausanne)

² Unasylva 250 - Forêts et Villes durables - Vol.69 2018/1 FAO

³ Light Detection And Ranging - télédétection par laser

⁴ http://www.carlyziter.com/uploads/5/3/4/6/53462323/ziter_et_alpnas2019_urbanheat.pdf

⁵ <https://www.tdag.org.uk/>

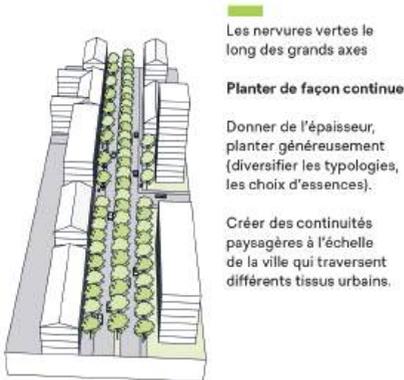


Illustration 2 : Typologie de plantation le long des grands axes (Source : Objectif canopée – Ville de Lausanne)

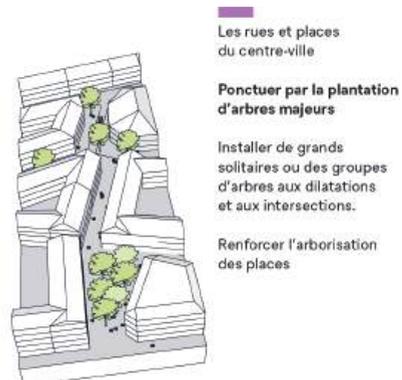


Illustration 3 : Typologie de plantation au centre-ville (Source : Objectif canopée – Ville de Lausanne)

devant prévaloir au regard de l'impact qu'il représente pour les milieux naturels dans et autour de la ville.

Au-delà de ces critères, d'autres éléments sont régulièrement évoqués pour justifier la sélection d'arbres « appropriés ». Les services écosystémiques sont assortis de disservices [NDLR: les fonctions d'un écosystème qui sont, ou sont perçues comme, négatives pour le bien-être humain]. Il s'agit d'appréhender l'arbre avec ses bienfaits et ses « nuisances ». Trop de vue masquée, trop de feuilles par terre, trop de fruits qui tachent, trop de COV⁶, trop de pollen... La tentation est grande de ne sélectionner que les arbres s'inscrivant dans une vision anthropique restreinte. Pour ne parler que des émissions de pollen, on lit que la plantation d'arbres femelles (dioïques) serait une solution aux problèmes d'allergies puisqu'ils n'en émettent pas⁷. On oublie que le choix d'arbres dioïques locaux est extrêmement limité, constitué d'à peine quelques espèces. De plus, il serait erroné de penser qu'un environnement aseptisé soit la solution à la prévalence des cas d'allergies. La dissémination pollinique se fait à une échelle

très large. Un massif forestier tel que celui du Jorat inonde l'agglomération lausannoise de ses pollens. Un milieu riche et diversifié est essentiel à la biodiversité, garant de la résilience du système et favorable à la santé à moyen et long terme⁸. Cette parenthèse met en évidence la difficulté d'établir des critères de sélection objectifs et adéquats.

L'arborisation urbaine doit prendre en compte les besoins des arbres eux-mêmes pour ne pas conduire à l'échec. Elle doit aussi favoriser la biodiversité tout en servant les objectifs attendus⁹. La prudence s'impose lorsqu'il s'agit d'attribuer les bons et les mauvais points, avec une vision manichéenne de l'arborisation, cette démarche conduisant à une vision étriquée des bénéfices espérés. Cela risque de confiner à des choix extrêmement limités, mettant en péril le projet même d'un développement diversifié et généreux de l'arborisation. Les diversifications spécifique et génétique sont essentielles. Si les seules quelques espèces ou clones sont sélectionnés, le risque qu'ils soient vulnérables à des phénomènes climatiques ou pathologiques est majeur.

⁶ Composés organiques volatiles

⁷ <https://www.claritin.com/diversitree>

⁸ <https://www.lausanne.ch/apps/actualites/Next/serve.php?id=8856> – (réponse de Municipalité de Lausanne à l'interpellation de Mme Caroline Alvarez et consorts : « Arbres urbains : des poumons de la ville pour tous les citoyens »)

⁹ Biodiversité et services écosystémiques des arbres urbains : état des connaissances – n+p, SWILD, approches paysages

L'adéquation climatique

Comme évoqué plus haut, le futur climat lausannois, tel qu'attendu dans la 2^e partie du XXI^e siècle, se rapprochera de celui des Balkans, de la mer Caspienne et/ou dans une moindre mesure de régions de l'ouest de la France et de l'Italie, si l'on prend en considération des régions européennes ou voisines.

Il est donc légitime de s'intéresser à l'arborisation présente dans ces régions. Certaines espèces du plateau suisse s'y trouvent aussi. D'autres espèces sont voisines des nôtres, d'un point de vue géographique, mais aussi d'un point de vue phylogénétique. Des arbres tels que le chêne de Hongrie, l'érable de Cappadoce, l'aune de Corse, l'érable de Montpellier, le hêtre d'Orient, le charme houblon ou le pin d'Alep, sont de bons candidats en raison des niches climatiques qu'ils occupent naturellement, mais aussi parce que leur proximité géographique et phylogénétique par rapport aux espèces locales les rendent intéressants pour la biodiversité.

Certaines espèces naturellement présentes en Suisse, mais issues d'écotypes de ces régions climatiques constituent un réservoir intéressant d'approvisionnement en vue de plantations résilientes face au changement climatique. Le postulat repose sur le fait que des espèces largement répandues en Europe ont développé des caractéristiques génétiques qui leur ont permis de s'adapter à des climats divers. Les aires de répartition de l'érable sycomore ou du pin sylvestre s'étendent du nord au sud de l'Europe. La volonté de planter des arbres indigènes issus d'écotypes balkaniques repose sur ce postulat. Cette démarche favorise la plantation d'espèces locales, avec tous les bénéfices qui en découlent du point de vue de la biodiversité, mais en y intégrant la notion d'adaptation au climat attendu en Suisse.

La traçabilité permettant de déterminer l'origine des plantes de pépinière est très difficile à obtenir. Une jeune plante peut avoir été élevée dans un pays, puis cultivée dans un

autre, avant de vivre ses dernières années de culture en Suisse romande, sans aucune garantie de provenance semencière. De nombreux végétaux sont multipliés par voie végétative, par greffage ou bouturage, ce qui est un frein à la diversité génétique et à la recherche de la provenance des pieds-mères.

Une étude prospective a été demandée par la Ville de Lausanne au bureau n+p¹⁰. Elle révèle que la palette des espèces recherchées se retrouve dans certaines régions des Balkans. Le projet vise la récolte de graines de ces espèces dans ces régions, au sein de peuplements naturels, afin de les mettre en culture ici. L'origine précise de chaque semis sera précisément déterminée et la traçabilité des plants obtenus clairement établie. La 1^{re} récolte permettra d'établir une filière d'approvisionnement qui sera mise à disposition d'autres collectivités partenaires et de pépiniéristes désireux-euses de mettre de tels arbres en culture. L'origine des graines et le mode de multiplication par semis, associés à une palette végétale variée, sera garante d'une grande diversité spécifique et génétique, nécessaire à l'obtention d'une arborisation résiliente.

Conclusion

Un arbre, ça pousse tout seul. Cet axiome se voit relativisé lorsqu'on parle d'arborisation urbaine au XXI^e siècle. Le climat impose une nécessité plus aigüe qu'auparavant, des exigences agronomiques essentielles et un choix d'espèces à reconsidérer. Réunir l'ensemble de ces paramètres relève de la quadrature du cercle. Il s'agit pourtant d'un défi à relever, ce qui se fera dans la concertation des praticien-ne-s de l'arbre, des planificatrices et planificateurs de la ville, des scientifiques, de toutes les personnes dont l'activité influencera l'arbre en ville de près ou de loin.

Pour de plus amples informations :

michael.rosselet@lausanne.ch
<https://www.lausanne.ch/vie-pratique/nature/patrimoine-arbore>

¹⁰ <https://npl.usp.ch/>

L'infrastructure écologique sur le canton de Genève

Nicolas Wyler & Noé Waller

Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève

L'identification de l'infrastructure écologique sur le canton de Genève s'appuie sur de nombreux indicateurs, dans le but de couvrir la nature multifonctionnelle de la biodiversité. En faisant recours au concept de la priorisation spatiale de la conservation, le territoire peut être hiérarchisé selon sa qualité écologique, permettant d'identifier ses meilleures surfaces.

L'infrastructure écologique (IE) est une mesure de conservation de la biodiversité qui s'inscrit au sein de la Stratégie Biodiversité Genève – 2030. Elle se définit comme un réseau stratégiquement planifié d'espaces naturels, semi-naturels et restaurés, qui contient des caractéristiques environnementales multifonctionnelles afin de fournir une large gamme de services écosystémiques, ainsi que de conserver de manière durable la biodiversité, dans le but de lui offrir le pouvoir de résilience.

L'identification de l'IE repose sur la sélection de la portion territoriale avec le plus haut potentiel estimé de qualité écologique. Cette identification se caractérise par le recours à de nombreux indicateurs de la biodiversité destinés à garantir sa multifonctionnalité, et regroupés en quatre piliers. Ces indicateurs sont ensuite importés dans un logiciel de priorisation spatiale, qui, grâce à un algorithme itératif, hiérarchise le territoire en attribuant un score unique à chacune de ses mailles. Les valeurs du score reflètent la compilation complexe des indicateurs, et caractérisent la variation de qualité écologique au sein du territoire. Ce sont les meilleures portions du territoire – les surfaces avec le score le plus élevé – qui sont retenues pour constituer l'IE.

Les piliers de la biodiversité

La nature multifonctionnelle de la biodiversité la contraint à être décrite à l'aide d'une multitude d'indicateurs. Afin de couvrir au mieux cette multifonctionnalité, nous avons réparti les indicateurs au sein de quatre piliers (Tab. 1). Chaque pilier décrit la biodiversité d'une manière spécifique et a une importance relative par rapport aux autres, en fonction des données qu'il contient. La somme des poids donnés à chaque indicateur dans un pilier montre son importance par rapport aux autres (Tab. 2):

- ❶ Le pilier *composition*, qui contient l'analyse de la distribution des espèces faunistiques et floristiques indigènes, ainsi qu'aux habitats naturels (pondération de 50%). Au sein de ce pilier, une pondération double est attribuée aux espèces et habitats menacés selon la Liste Rouge. Seules les espèces indigènes et habitats naturels et semi-naturels sont retenus pour l'analyse;
- ❷ Le pilier *structure*, qui décrit l'organisation spatiale du territoire et des éléments qui le constituent (pondération de 20%);

DOSSIER SPÉCIAL

- ③ Le pilier *fonction*, qui regroupe les indices de connectivité fonctionnelle et définit l'usage concret du paysage par la faune pour quatre espèces, plus la trame noire (pondération de 20%) ;
- ④ Le pilier *services écosystémiques*, qui comprend des services de régulation rendus par la nature et qui contribue au bien-être humain (pondération de 10%).

La richesse d'indicateurs dont bénéficie le canton de Genève repose majoritairement

sur la carte cantonale des milieux naturels. Elle est la base de la majorité des indicateurs (exceptée la trame noire, issue d'un survol aérien nocturne), et est mise à jour annuellement, dans le but de rester la plus fidèle possible à l'évolution constante du paysage genevois. C'est grâce à la connaissance précise des différentes catégories de milieux qui composent le territoire (n = 116) qu'il est possible de générer les nombreux indicateurs qui composent les quatre piliers.

Tableau 1 : Liste des indicateurs contenus au sein des quatre piliers. LR = Liste Rouge

Pilier composition 50%	Pilier structure 20%	Pilier fonction 20%	Pilier services écosystémiques 10%
583 espèces flore non LR	Fragmentation	4 cartes de zones de contraintes (cerf, chevreuil, lièvre, crapaud)	Surfaces en faveur des pollinisateurs
179 espèces de flore LR	Perméabilité	4 cartes de connectivité globale / corridors (cerf, chevreuil, lièvre, crapaud)	Stockage du carbone
18 espèces de faune non LR	Naturalité	Trame noire (hauteur = 1m, visibilité = 250m)	Régulation de la qualité de l'eau
9 espèces de faune LR	Diversité des milieux verts		Contrôle de l'érosion
41 habitats naturels non LR	Indicateur de zones centrales		Régulation du climat local & qualité d'air
17 habitats naturels LR			Régulation du microclimat
			Protection contre les mouvements de terrain
		Protection contre les crues	
			Cultures agricoles intéressantes pour la biodiversité

Tableau 2 : Nombre de couches et poids attribué pour les quatre différents piliers

		Poids/couche	Nbre couche	Poids/groupe	Poids/pilier
pilier composition	Espèces flore	0.026	583	25	100
	Espèces flore LR	0.054	179		
	Espèces faune	0.7	18	25	
	Espèces faune LR	1.4	9		
	Composition Habitats	0.66	41	50	
	Composition Habitats LR	1.32	17		
pilier structure	Structure	8	5	40	40
pilier fonction	Fonction	trame noire 8 autres 4	9	40	40
pilier services éco.	Services écosystémiques	2.22	9	20	20

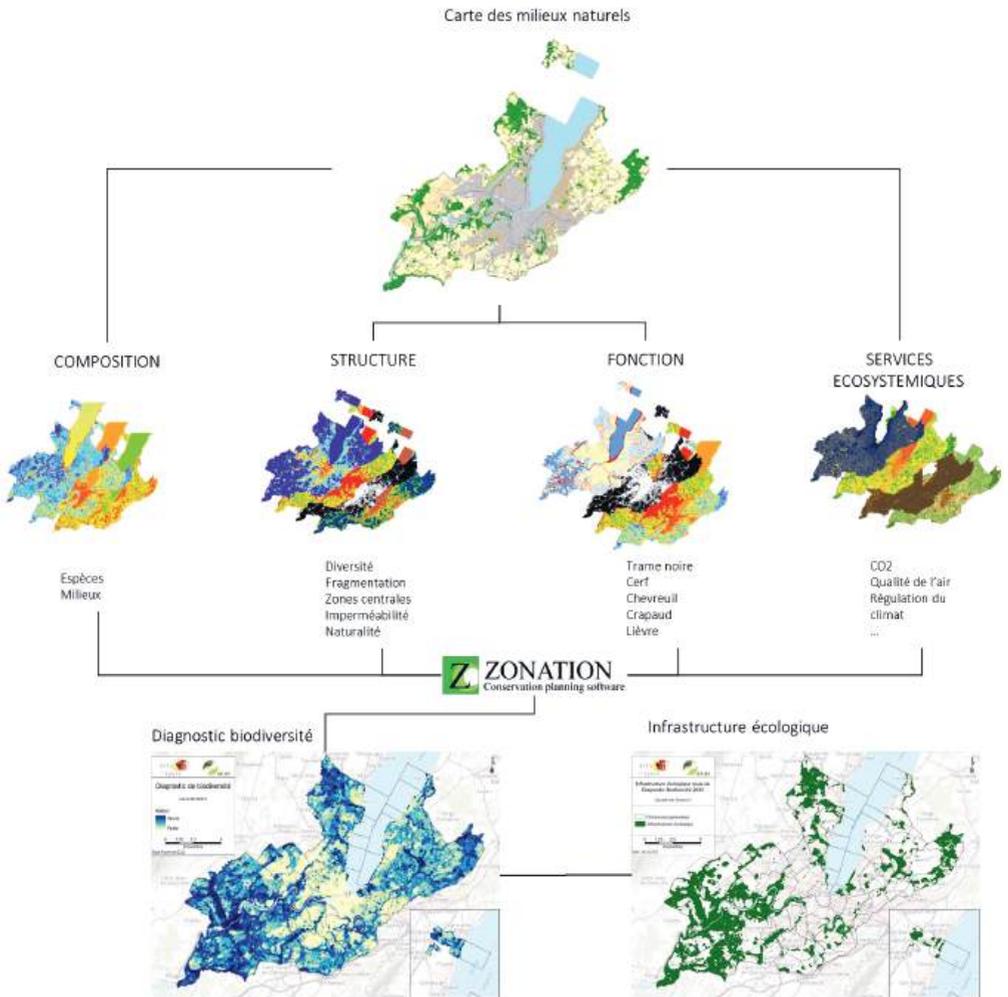


Figure 1 : Diagramme de l'identification de l'infrastructure écologique cantonale. La carte des milieux naturels est à l'origine des nombreux indicateurs intégrés dans le logiciel Zonation pour le calcul du diagnostic de biodiversité.

Le calcul de priorisation spatiale

Ce sont ces différents indicateurs qui permettent de définir le potentiel de qualité écologique; il est donc impératif que ceux-ci soient formatés de manière identique. Le territoire cantonal terrestre (hors Léman, Rhône et Arve) est découpé selon une matrice de cellules de 25 mètres de côté (format raster).

Chaque indicateur couvre cette matrice territoriale, en attribuant aux différentes cellules les valeurs variables de l'indice en question.

Afin de concentrer et de résumer les informations que l'ensemble des indicateurs traduit, la méthodologie fait appel au concept de priorisation spatiale de la conservation. Le concept repose sur l'allocation optimale et spatiale

des ressources dans le but de hiérarchiser les différents objets du territoire. Ce cadre théorique permet d'identifier quelles sont les structures territoriales à conserver en priorité, au travers des différentes données considérées.

Le calcul d'allocation spatiale des ressources correspond à une analyse multicritère, dans laquelle les indicateurs de biodiversité au sein des différents piliers sont pris en considération. Nous utilisons le logiciel de priorisation spatiale *Zonation 5* (Moilanen *et al.*, 2022) qui, grâce à un algorithme itératif, hiérarchise l'ensemble du territoire étudié. Ce logiciel génère un classement des priorités sur la totalité de la matrice territoriale, en attribuant une valeur unique à chaque cellule, qui traduit son importance relative par rapport aux autres cellules. Nous nommons *diagnostic de biodiversité* le classement hiérarchique couvrant des priorités sur le territoire. À partir du diagnostic de biodiversité, nous identifions les 30% des cellules avec les valeurs les plus élevées. Ces meilleurs 30% constituent l'IE (Fig. 1). Il s'agit de la portion territoriale avec le plus haut potentiel estimé de qualité écologique, ou, selon un autre

point de vue, la portion pour laquelle la perte en biodiversité serait la plus grande si celle-ci venait à disparaître, ou être perturbée.

L'identification de l'infrastructure écologique

Il n'est pas encore possible de mesurer de manière absolue la qualité écologique de l'IE identifiée. Il s'agit néanmoins, selon les données utilisées en entrée, du meilleur compromis afin de s'assurer de la multifonctionnalité de l'IE sur le territoire cantonal terrestre. Les grandes structures aquatiques, que sont le Léman, le Rhône et l'Arve, sont exclues de l'analyse, car elles possèdent une écologie qui leur est propre. L'IE permet donc d'identifier les surfaces terrestres sur lesquelles les efforts d'entretien et de restauration doivent se concentrer, et offre ainsi un squelette autour duquel d'autres projets écologiques et urbanistiques peuvent venir s'articuler (Fig. 2). Elle offre également une base concrète pour les plans directeurs du canton et des communes, les modifications de limites de zones, les plans localisés de quartiers, etc.

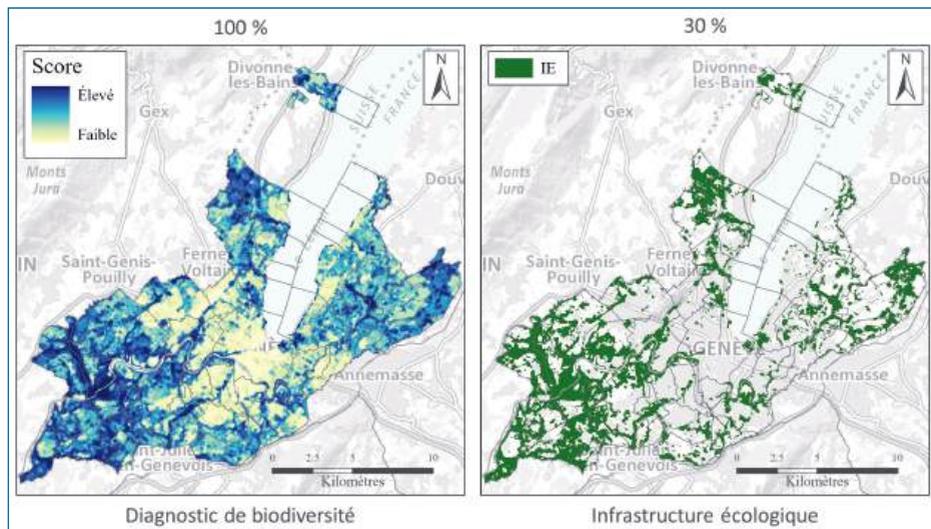


Figure 2 : À gauche, le diagnostic de biodiversité cantonal, issu de l'analyse de priorisation effectuée sur Zonation. À droite, l'infrastructure écologique cantonale, qui résulte de la sélection des meilleurs 30% du diagnostic de biodiversité.

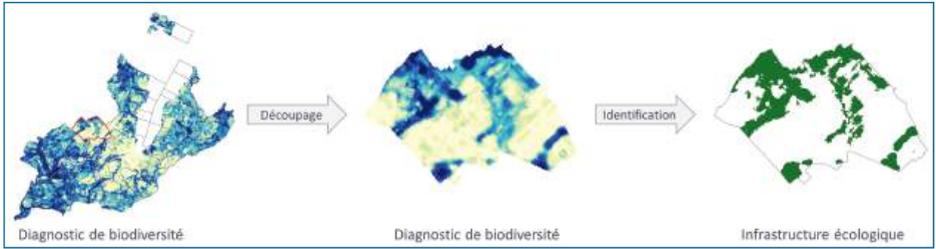


Figure 3 : La nature relative des valeurs attribuées lors de l'analyse de priorisation permet d'identifier les portions les plus intéressantes à partir d'un découpage de la carte du diagnostic de biodiversité initial. La figure illustre l'identification de l'IE communale de Meyrin.

Les grands objets naturels structurant du territoire genevois se retrouvent dans l'IE ; on distingue les cours d'eau, les grands massifs forestiers, les zones humides, etc. Concrètement, il s'agit des surfaces au sein desquelles la richesse en indicateurs est élevée, mais surtout diverse et donc multifonctionnelle.

Conclusion

Il est important de comprendre que l'identification de l'IE s'inscrit à l'échelle du canton de Genève. Ce sont les objets qui sont représentatifs de nombreux indicateurs à cette échelle territoriale qui sont les mieux classés dans le diagnostic. De la même manière, un objet écologiquement très spécifique, et donc représentatif que d'un nombre très restreint d'indicateurs, pourrait ne pas être identifié dans l'IE cantonale. Le diagnostic de biodiversité est une carte couvrante, dans laquelle chaque cellule du territoire cantonal terrestre possède une valeur relative qui exprime son potentiel de qualité écologique. La nature couvrante et relative du diagnostic permet de découper des portions du territoire, telle une commune, et d'identifier les meilleurs 30% à partir du jeu de valeurs résultant pour identifier l'IE respective à celle-ci (Fig. 3). Le changement d'échelle d'analyse permet l'identification d'objets écologiquement intéressants à la nouvelle échelle territoriale, ce qui permet d'étendre la pertinence de l'action de conservation au sein du continuum des processus écologiques.

Une proposition d'analyse de priorisation spatiale à l'échelle nationale est en cours avec le projet ValPar.CH. Avec l'aboutissement d'un tel projet, il sera possible d'élaborer des méthodes de combinaison afin d'identifier quels sont les objets territoriaux qui présentent un intérêt écologique de l'échelle locale à l'échelle nationale. Ces prises de connaissance permettent une gestion appropriée, une mise sous protection ou alors d'imaginer l'élaboration d'un système de compensation lors de conflit avec des nouveaux projets de grande envergure.

Références

Moilanen, A., Lehtinen, P., Kohonen, I., Virtanen, E., Jalkanen, J. and Kujala, H. 2022. Novel methods for spatial prioritization with applications in conservation, land use planning and ecological impact avoidance. *Methods in Ecology and Evolution*, early view. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13819>.

Pour de plus amples informations :

Nicolas.Wyler@geneve.ch

L'infrastructure écologique cantonale genevoise : <https://arcg.is/ozbCjq>

Projet ValPar.CH à l'échelle national : https://valpar.ch/index_fr.php?page=home_fr

techfina



TRAITEMENT DES EAUX ET DE L'AIR

- ÉPURATION DES EAUX COMMUNALES
- TRAITEMENT DES BOUES
- ÉPURATION DES EAUX INDUSTRIELLES
- TRAITEMENT DES REJETS GAZEUX OU ODORANTS
- TRAITEMENT DES MICROPOLLUANTS

Suisse Romande

Av. des grandes-Communes 8
CH-1213 Petit-Lancy
Tél : +41 22 879 80 00
info@techfina.ch

Suisse Alémanique

Schützenstr.32
CH-8400 Winterthur
Tél : +41 52 269 18 80
winterthur@techfina.ch

France

2 rue Augustin Fresnel
F-57000 Metz
Tél : +33 387 78 61 00
techfina-france@techfina.ch

CSDINGENIEURS+

INGÉNIEUX PAR NATURE



Revitalisation de la Petite Glâne

Un seul partenaire pour toute l'ingénierie

CSD offre toutes les compétences d'ingénierie pour l'environnement et l'eau, les infrastructures et les bâtiments, l'énergie et la géologie.



[csd.ch](https://www.csd.ch)

Sols et agriculture : comment concilier production et biodiversité ?

Pascal Boivin

Professeur Ordinaire, Sols et Substrats, HEPIA, HES-SO Genève

Remerciements à Alyssa Deluz, groupe Sols et Substrats HEPIA par sa relecture constructive.

La biodiversité de nos campagnes est l'œuvre de millénaires d'agriculture. Une autre agriculture, post seconde guerre mondiale, la détruit dramatiquement. La révolution agroécologique permet de reconstituer la synergie entre biodiversité et agriculture sur des bases nouvelles. Sa généralisation à grande échelle devient possible à condition de comprendre, et soutenir la coopération entre les acteurs plutôt que d'opposer ingénument agriculture et environnement.

Les méthodes de production agricole intensives détruisent la biodiversité¹, pourtant façonnée largement par les systèmes agraires antérieurs! Ces méthodes sont imposées au monde paysan par les modes de consommation, soit les acheteurs, transfor-

mateurs, distributeurs et consommateurs (la chaîne de valeur). La dégradation des ressources est au mieux freinée par les cadres de régulation publiques, notamment de protection de l'environnement, relativement impuissants face aux enjeux économiques.



Illustration 1 : Couvert végétal multi-espèces, mélange AgriGenève. © Nicolas Courtois

¹ Voir la tribune de Gilles Bœuf et Marc-André Selosse, *le Monde* du 21-08-2024

La prise de conscience de cette fuite en avant suscite différentes réactions antagonistes. L'une poussant à révolutionner les systèmes de culture à l'initiative d'agriculteurs, mais aussi de la chaîne de valeur, qui comprend de mieux en mieux le problème et s'organise pour permettre une transition agroécologique qui lui est indispensable. L'autre opposant les agriculteurs au public, en les chargeant de la responsabilité des impacts. Ce dernier mouvement, s'il paraît vertueux au béotien, génère des positions manichéennes qui ne feront que des perdants, étant autant des germes de conflit que des garanties d'échec pour la transition agroécologique.

Le propos de cet article est de montrer que la transition est en marche et maîtrisable, qu'elle a de grandes chances de porter ses fruits à condition que les acteurs de la

chaîne de valeur sortent des visions simplistes, pensée magique héritée de l'aire industrielle. La formation des acteurs, du décideur au consommateur, au fonctionnement des systèmes agro-environnementaux est nécessaire pour sortir de ce piège avec une feuille de route cohérente, partagée et efficace. Car le problème est systémique et demande à être compris comme tel. La restauration des sols, habitat et support de la biodiversité, est le socle de cette révolution. Conjuguer à nouveau biodiversité et agriculture est environnementalement nécessaire, techniquement possible et économiquement avantageux. Ne pas manquer ce rendez-vous fait appel à notre intelligence et notre capacité de coordination collective bien plus qu'à une foi infantile en de nouvelles technologies trop souvent invoquées.



Illustration 2 : Un profil de sol en cours de régénération à droite et son état initial à gauche. © Pascal Boivin

L'intensification agricole, aux dépens des sols et de la biodiversité

Le plan Marshall a cadré et financé l'intensification de l'agriculture (notamment par des prêts ciblés) au sortir de la 2^e guerre mondiale. Le but était de baisser le coût de l'alimentation de 75% à 25% du revenu des ménages pour permettre l'achat de biens de transformation, et de réduire la main d'œuvre agricole pour la réaffecter à la production de ces mêmes biens de transformation. L'objectif de coût a été atteint et dépassé, passant sous les 10%! Pour y parvenir les doctrines de production ont été la simplification des systèmes (spécialisation des fermes), la mécanisation, la fertilisation minérale, le recours à la sélection variétale, l'usage des pesticides de synthèse. La mécanisation en particulier a permis la réduction de main d'œuvre, donc l'agrandissement des surfaces des fermes et... leur raréfaction. Cette agriculture est minière à de multiples titres, basée sur la consommation de combustible fossile, d'engrais minéraux miniers et même du sol et de sa matière organique. Voulant rationaliser l'agriculture, elle a fait disparaître les structures paysagères et provoqué une gigantesque disparition de la biodiversité hébergée.

Alors que les succès sont rapidement apparus (des rendements multipliés par 10) (Boulaine, 1995), les mécanismes non vertueux se sont mis en route à bas bruit. Les systèmes de culture spécialisés ont éliminé la diversité végétale cultivée (monoculture), la sélection limitant même à quelques variétés les choix possibles par exemple pour le blé. Les insectes sont victimes des pesticides avec une perte de 75 à 95% de leur biomasse, alors que les ravages dus aux insectes... progressent (Hallmann et al., 2017; Ziesche et al., 2024).

Pour prendre la mesure des dégâts, il faut s'intéresser aux sols. La biodiversité terrestre, pour l'essentiel, repose sur les sols et leur qualité. Au début du 21^e siècle la biodiversité des sols a commencé d'être révélée (Delgado-Baquerizo et al., 2020). Elle est infiniment plus grande que la biodiversité aérienne (European Commission. Joint Research Centre, 2010).

Or les sols se sont dégradés, particulièrement en perdant leur matière organique humifiée ou humus, sous l'effet du labour de plus en plus rapide et profond, et de l'absence de retour de matières fraîches : les résidus végétaux comme les pailles sont exportés, la terre est laissée nue, faute d'élevage, les engrais de ferme² ne sont plus retournés aux sols. En quelques décennies, on aurait perdu plus de 50% de la matière organique des sols, alors que toutes les propriétés et fonctions des sols sont proportionnelles à leur teneur en matière organique : fertilité au sens large, porosité, infiltration de l'eau, réserve en eau, capacité à porter des machines, résistance à l'érosion, support de la biodiversité etc. Lorsque la matière organique disparaît, c'est l'énergie disponible pour les organismes du sol qui disparaît. Lorsque la porosité disparaît, c'est l'habitat pour la vie qui disparaît, ainsi que sa capacité à délivrer de l'air et de l'eau (par exemple aux racines). Ceci se répercute sur les biodiversités aériennes et souterraines, et bien au-delà : par exemple, l'érosion en transportant les pesticides vers les estuaires représente un danger majeur pour les écosystèmes marins.

Dès les années 1950, pourtant, des agriculteurs se sont écartés du « droit chemin » de l'intensification pour créer les principes d'une agriculture intensive mais respectant et restaurant le sol et la biodiversité : l'agriculture de conservation.

² Comme le fumier.

La crise climatique, catalyseur pour la cause des sols

Au 21^e siècle la prise de conscience de l'épuisement de la planète (Steffen et al., 2015), du rôle des sols dans la défense de l'environnement – et partant de la vie humaine sur terre, et en particulier dans la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement (IPBES, 2018; IPCC, 2019), rebattent les cartes. Longtemps développés en marge des politiques publiques et privées, les principes de l'agriculture de conservation séduisent tout à coup. Les principes de l'agriculture de conservation sont étendus notamment à la responsabilité sociale sous l'appellation plus médiatique d'agriculture régénérative qui s'apparente à l'agroécologie au sens large (European Academies of Science Advisory Council, 2022; Müller et al., 2023). La restauration des sols et ses principes demeurent le socle principal à partir duquel la transition se construit.

La crise climatique a redonné de la popularité scientifique à l'humus, deuxième réservoir de carbone organique sur terre après les océans. L'humus provient du CO₂ atmosphérique capté par les plantes par photosynthèse. Leurs résidus en se dégradant, avec l'aide des organismes du sol et si la méthode de culture le permet, forment de l'humus soit un stock de CO₂ atmosphérique relativement stabilisé. Les émissions de source fossiles annuelles représenteraient 1/4000 du stock d'humus (<https://4p1000.org/>). La Cop21 (Paris 2015) a lancé l'initiative 4/1000 qui propose d'augmenter mondialement les teneurs en carbone organique des sols (dont la matière organique est formée à 60%) d'un facteur annuel de 1.004 pour limiter (potentiellement neutraliser) l'augmentation de gaz à effet de serre. Des sept technologies de séquestration, c'est la seule qui résiste à l'évaluation comme étant déployable à bon marché, sans risque, potentiellement significative, et avec des effets collatéraux bénéfiques (European Academies Science Advisory Council, 2018). Dès lors se pose la

question des méthodes permettant la restauration des teneurs en matière organique des sols, et de leur efficacité.

L'agriculture de conservation permet en Suisse de dépasser le 4/1000 en travaillant le sol le moins possible voire plus du tout, en le gardant toujours couvert d'une végétation active, en maximisant la diversité végétale, en restituant de grandes quantités de résidus au sol sans les enfouir. En fin de 20^e siècle, les terres ouvertes suisses perdaient de la matière organique, la neutralité a été obtenue vers 2006, et les taux d'évolution moyens des parcelles paysannes sont aujourd'hui de 8 à 10/1000, avec des parcelles / exploitations à plus de 30/1000 tandis que d'autres continuent de perdre leur matière organique (Dupla et al., 2022, 2021). La séquestration dans les terres genevoises, pourtant peu étendues, réalise 20% des objectifs climatiques 2030. Alors que la transition vers des méthodes agroécologiques est un choix individuel des agriculteurs, la société a désormais besoin que le plus grand nombre fasse rapidement ce choix.

Les clés de la transition agroécologique

Restaurer les sols permet un retour spectaculaire de la biodiversité aérienne et souterraine. Le cercle est vertueux: des sols en bonne santé portent des cultures vigoureuses demandant moins de traitements. Par exemple, les pionniers s'affranchissent déjà des insecticides et fongicides depuis longtemps, favorisant ainsi le retour d'une biomasse diversifiée d'insectes, qui sont des auxiliaires contre les ravageurs, de la nourriture abondante et non contaminée pour les passereaux etc. Ces sols s'érodent moins, stockent, infiltrent et épurent l'eau. Seul l'herbicide est encore indispensable pour contrôler les adventices, mais chaque année ces agriculteurs trouvent les clés pour en réduire les doses.

Le constat des producteurs est très positif: gain de temps, revenu amélioré, retour du plaisir au travail. Les plus avancés ont en

outre des rendements en augmentation, se passent d'irrigation... Mais la transition est complexe, dure quelques années qui comportent des risques, qui sont exigeantes en investissement humain, nécessitent formation et soutien. Pour la généraliser rapidement il faut admettre qu'elle ne dépend que marginalement des nouvelles technologies, qu'elle obéit à des règles dont il faut tirer les conséquences, qu'il est irréaliste et incorrect de laisser les agriculteurs seuls face à ce défi.

Complexité : l'agroécologie au sens large fournit une boîte à outils complète et efficiente. Par définition, il faut choisir et adapter ces outils à l'exploitation et au site, aux antipodes de prescriptions standardisées. Aidé par des expériences voisines réussies, soutenu par une météorologie clémente, cela peut très bien se passer. Dans le cas inverse, des pertes de récoltes significatives peuvent se manifester durant une transition de 5 ans environ avant que les fruits ne soient récoltés.

Exigence : l'agriculteur doit se former, s'investir, prendre des risques et maintenir le cap. Tous ne sont pas en situation de supporter ce stress, il faut donc construire un cadre sécurisant la transition. Le bilan carbone des entreprises de la chaîne de valeur dépend lourdement de leurs approvisionnements, ce qui les pousse à agir. Des entreprises de très grande taille comme Nestlé ont décidé de prendre la question à bras le corps³. Mais sur un même terroir et une même ferme s'organisent différents ateliers de production qui échangent entre eux (céréales, oléagineux, légumes, lait etc.) et concernent des acteurs économiques différents et non coordonnés. Les associations (AgroImpact, Pour une Agriculture du Vivant), des fondations (Earthworm) bâtissent les cadres de pilotage interacteurs pour assurer et soutenir les agriculteurs.

La recherche interroge les meilleures méthodes de pilotage pour une généralisation rapide (projet ResulTerre à Genève).



*Illustration 3 : Une galerie de lombric dans un sol en cours de régénération. La matière organique est descendue et les racines trouvent leur chemin vers la profondeur.
© Pascal Boivin*

Elle montre que loin des schémas « tout ou rien », les facteurs de transformation peuvent se combiner en niveaux d'intensité différents sur la base d'objectifs. Si un facteur est insuffisamment appliqué, il est possible de compenser avec les autres. Ainsi les productions biologiques n'utilisent pas de pesticides de synthèse. Elles utilisent donc le travail du sol pour lutter contre les adventices, ce qui a un prix en termes de qualité

³ <https://www.nestle.ch/fr/durabilite/protectiondu-climat-chez-nestle/agriculture-regeneratrice>



Illustration 4 : Bergeronnette printanière dans un champs de colza. © Pixabay

des sols. Les exploitations en agriculture de conservation, protégées de ce risque par l'herbicide, progressent plus vite dans la restauration des sols et le développement d'une large palette de techniques. Les deux systèmes apprennent l'un de l'autre en permanence, il ne faut pas commettre l'erreur de les opposer, ce que font les labels.

La matière organique des sols, outil clé de l'agronomie au début du 19^e siècle (Thaer, 1809), fut oubliée à mesure que ce siècle découvrait les techniques de l'intensification, puis que le 20^e siècle les appliquait. La certitude scientifique a d'ailleurs précédé d'un siècle la possibilité d'une application (par exemple en recommandant le labour profond avant l'invention de la machine), révélant au passage une science imprégnée d'idéologie positiviste (c'est l'humain et sa science qui donnent sa valeur à l'environnement) qui fait sourire aujourd'hui mais a régné sur les choix de la seconde moitié du 20^e siècle et, à notre insu, nous guide encore beaucoup. C'est pourquoi, face à la complexité du problème systémique qui nous est posé, la foi en une nouvelle technologie miracle est si souvent clamée, quand il s'agit de mettre en synergie des acteurs autour d'un système de solutions déjà connues.

Faute de connaître les sols et l'agronomie, les acteurs (politiques, économiques, consommateurs) sont en effet des proies faciles pour les approches manichéennes. Les engagements promettant tout et tout de suite, se multiplient : pour la biodiversité, contre les pesticides, pour l'eau, pour le climat etc. Or les leviers de changement sont hiérarchisés techniquement et dans le temps, et interagissent dans le système agricole. Par exemple, produire en Bio sans travail du sol est inatteignable sans une régénération des sols préalable et l'expérience acquise dans ce chemin. Cette régénération des sols va déjà restaurer une biodiversité souterraine et aérienne considérable, tout en sécurisant la progression vers des productions sans impact local, voire sans émissions. Aux antipodes des engagements unilatéraux et naïfs, une feuille de route solide, remettant l'agronomie au cœur de la démarche et engageant collectivement les acteurs sur des résultats étagés dans le temps est indispensable pour ne pas bloquer la transition.

Agriculture et biodiversité à nouveau partenaires

Il n'est plus à démontrer qu'une autre agriculture, productive et durable, réconciliée avec la biodiversité, est possible. La révolution agroécologique n'est en rien un retour en arrière, les techniques développées sont nouvelles, les rendements sont au rendez-vous et la sécurité alimentaire n'est pas en cause. Cette agriculture est dans l'intérêt partagé de tous et de la planète. Il convient de se focaliser avant tout sur les méthodes permettant de la généraliser, par un soutien multiforme et intelligent des agriculteurs. Ceci ne peut se faire qu'à travers des outils construisant la solidarité au long des chaînes de valeur. Au cœur de cette transformation, la synergie entre agriculture et biodiversité est à la fois un résultat et un moyen du succès.

Références

Boulaine, J., 1995. Histoire de l'agronomie en France, 2^e éd. rev. et augm. ed. Tech.& Doc./Lavoisier, Paris (FRA).

- Delgado-Baquerizo, M., Reich, P.B., Trivedi, C., Eldridge, D.J., Abades, S., Alfaro, F.D., Bastida, F., Berhe, A.A., Cutler, N.A., Gallardo, A., García-Velázquez, L., Hart, S.C., Hayes, P.E., He, J.-Z., Hseu, Z.-Y., Hu, H.-W., Kirchmair, M., Neuhauser, S., Pérez, C.A., Reed, S.C., Santos, F., Sullivan, B.W., Trivedi, P., Wang, J.-T., Weber-Grullon, L., Williams, M.A., Singh, B.K., 2020. Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nat. Ecol. Evol.* 4, 210–220. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1084-y>
- Dupla, X., Gondret, K., Sauzet, O., Verrecchia, E., Boivin, P., 2021. Changes in topsoil organic carbon content in the Swiss leman region cropland from 1993 to present. Insights from large scale on-farm study. *Geoderma* 400, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115125>
- Dupla, X., Lemaître, T., Grand, S., Gondret, K., Charles, R., Verrecchia, E., Boivin, P., 2022. On-Farm Relationships Between Agricultural Practices and Annual Changes in Organic Carbon Content at a Regional Scale. *Front. Environ. Sci.* 10, 13.
- European Academies of Science Advisory Council, 2022. Regenerative agriculture in Europe. EASAC policy report 44.
- European Academies Science Advisory Council (Ed.), 2018. Negative emission technologies: what role in meeting Paris Agreement targets?, EASAC policy report. EASAC Secretariat, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale).
- European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability., 2010. European atlas of soil biodiversity. Publications Office, LU.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrn, T., Goulson, D., Kroon, H. de, 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* 12, e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- IPBES, 2018. Media Release: Worsening Worldwide Land Degradation Now ‘Critical’, Undermining Well-Being of 3.2 Billion People | IPBES [WWW Document]. URL <https://www.ipbes.net/news/media-release-worsening-worldwide-land-degradation-now-%E2%80%99critical%E2%80%99-undermining-well-being-32> (accessed 3.27.18).
- IPCC, 2019. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- Müller, T., Subei, B., Plötner, P., Bünger, F., Brell, M., Krämer, S., 2023. The Case for Regenerative Agriculture in Germany – and Beyond.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Thaer, A., 1809. Grundsätze der rationellen Landwirtschaft.
- Ziesche, T.M., Ordon, F., Schliephake, E., Will, T., 2024. Long-term data in agricultural landscapes indicate that insect decline promotes pests well adapted to environmental changes. *J. Pest Sci.* 97, 1281–1297. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01698-2>

Pour de plus amples informations :

pascal.boivin@hes-so.ch



LA NATURE
POUR PARTENAIRE,
L'INTELLIGENCE
COLLECTIVE
POUR RESSOURCE.

www.bg-21.com

Conditions claires dans votre station d'épuration!

- Agents de précipitation des phosphates
- Agents de floculation
- Elimination de boue foisonnante
- Réduction de la DCO et de la turbidité
- Elimination des mauvaises odeurs
- Neutralisation du pH

Microscopie et consultation compétente –
notre service sur site, sans engagement



Neugrütstrasse 2
CH-8610 Uster

Tel. +41 44 922 92 84
info.ch@feralco.com
www.feralco.ch



Les milieux aquatiques à l'aube des changements climatiques : voyage entre menaces et solutions

Pauline Lourenço et Aurélie Rubin

Collaboratrices scientifiques, La Maison de la Rivière

Les milieux aquatiques sont parmi les plus menacés de Suisse. De nombreuses espèces qui y sont inféodées sont en danger. Les principales menaces qui expliquent ce déclin sont la diminution de la qualité et de la quantité d'eau, l'augmentation de la température de l'eau, ainsi que la destruction des habitats. Mais des solutions existent ! Parfois simples et rapides, parfois de plus grande ampleur, différentes mesures peuvent être mises en œuvre afin de favoriser la biodiversité aquatique. Petit tour d'horizon.

La biodiversité aquatique en Suisse

Par sa situation au cœur de l'Europe, sa topographie variée, ses fortes différences d'altitudes et ses contrastes climatiques, la Suisse présente toutes les caractéristiques requises pour accueillir une biodiversité riche. Néanmoins, cette diversité est en déclin. La disparition des milieux naturels et la fragmentation du territoire impactent de manière inquiétante les espèces.

Si cette réalité n'épargne aucun milieu naturel, ce sont les biotopes aquatiques qui sont les plus touchés. Bien qu'ils ne représentent que 0,7% du territoire helvétique, ces milieux abritent 84% des espèces animales présentes en Suisse (Gattlen et Klaus, 2023). Une dégradation des ces biotopes engendra donc des répercussions énormes sur la biodiversité. L'aménagement des cours d'eau, les drainages, l'utilisation des forces hydrauliques, les substances polluantes sont autant d'atteintes qui s'exercent sur ces précieux écosystèmes.

La faune piscicole suisse

Le groupe taxonomique des poissons est exclusivement lié aux milieux aquatiques et dépend directement de leur bon fonctionnement. Le nombre d'espèces de poissons recensées en Suisse n'a cessé de fluctuer à chaque nouvel inventaire. À l'heure actuelle, on dénombre 71 taxons indigènes contre 62 en 2007. Ces dernières années, les avancées scientifiques et recherches en génétique ont permis de mettre en évidence des différences importantes entre certaines populations d'une même espèce. C'est le cas, par exemple, des corégones *Coregonus sp.*. Ce poisson est le roi de l'adaptation, et avec le temps, certaines populations ont évolué selon un habitat, une ressource ou une période de frai. Aujourd'hui, on considère qu'il existe 24 espèces de corégones.

Parmi les 71 espèces indigènes, la liste rouge des poissons et cyclostomes (Zaugg, 2022) fait état de 43 espèces menacées, soit près des deux tiers des taxons (65%), ce qui en fait l'un des groupes les plus menacés au niveau suisse, après les amphibiens (79%

des espèces inscrites sur la liste rouge) et les reptiles (81%), contre les oiseaux (40%) et les mammifères (35%) (Schmidt et al., 2023; Ursenbacher et Meyer, 2023; Knaus et al., 2021; Capt et al., 2022).

Mentionnons encore les espèces exotiques, qui, en Suisse, se situent en dehors de leur aire de distribution naturelle. Ces dernières ont souvent un impact néfaste sur les écosystèmes et les espèces indigènes. En 2022, la liste des espèces piscicoles exotiques envahissantes considère 20 taxons (Zaugg, 2022).

Les menaces

La situation préoccupante des espèces piscicoles en Suisse est le résultat de nombreux facteurs. Plusieurs menaces, souvent additionnées, sévissent sur les écosystèmes aquatiques et leur biocénose.

La qualité d'eau

L'agriculture, l'industrie, les médicaments, les produits ménagers et les stations d'épuration sont autant de sources de pollution qui viennent détériorer la qualité des eaux. Certaines pollutions majeures peuvent s'avérer fatales pour la faune, mais sont néanmoins visibles. Des mesures concrètes permettent ainsi de les éviter.

Il est en revanche plus difficile de quantifier les impacts des substances chimiques qui ne sont pas filtrées par le traitement des eaux. Bien que leur toxicité individuelle soit considérée comme tolérable, l'effet cocktail de ces substances lorsqu'elles se rencontrent dans l'environnement peut agir sur la santé générale des populations piscicoles. À titre d'exemple, les perturbateurs endocriniens semblent affecter leur fertilité. Ces éléments ne provoquent ainsi pas forcément la mort des poissons, ce qui rend dès lors leur détection plus problématique. Pourtant, ils affectent les dynamiques de populations, ce qui peut, à terme, conduire à des extinctions.

La quantité d'eau

Les changements climatiques provoquent des événements météorologiques extrêmes

avec de longues périodes de sécheresse qui influencent inévitablement la quantité d'eau dans les rivières avec parfois des assèchements sévères. La faune aquatique se retrouve ainsi piégée dans des gouilles, parfois jusqu'à la mort. Une augmentation des conflits entre usages est à prévoir dans les années à venir. En effet, en cas de sécheresse, les cultures agricoles nécessiteront un arrosage plus soutenu, alors que les cours d'eau sont déjà soumis à un stress hydrique. À l'inverse, des épisodes pluvieux intenses peuvent engendrer des crues violentes et mortelles pour les poissons de l'année encore fragiles.

La température de l'eau

La hausse des températures de l'air entraîne inmanquablement une augmentation des températures de l'eau. Dans les rivières, le phénomène de réchauffement agit sur la santé des poissons, notamment avec le développement de certaines maladies. La truite commune *Salmo trutta*, par exemple, est sujette en été à la maladie rénale proliférative, causée par le développement d'un parasite dans les reins des poissons lorsque la température de l'eau est supérieure à 15°C. Cette infection est mortelle et pourrait mener à l'extinction de certaines populations dans les années à venir. En hiver, l'espèce est touchée par la saprolégniose, un champignon qui devient plus virulent lorsque les hivers sont doux. Le poisson, très affaibli, peut en mourir d'épuisement.

La concentration en oxygène dans l'eau est aussi un paramètre majeur pour la survie des organismes. Et celle-ci est inversement corrélée à la température. Ainsi, plus une eau est chaude, moins elle contiendra de l'oxygène, et plus le risque de mortalité des espèces est grand.

Dans les lacs, le réchauffement de l'air a un effet majeur sur l'oxygénation en profondeur. En effet, la plupart des lacs sont constitués de trois couches thermiques à certains moments de l'année. En hiver, au contact de l'air, la couche supérieure se refroidit et devient plus dense. Grâce au vent, cette couche est

brassée et amenée dans le fond du lac. Ce phénomène est extrêmement important pour oxygéner les profondeurs et permettre aux espèces qui y vivent de se maintenir. Avec les hivers doux qui caractérisent cette dernière décennie, le brassage des lacs devient plus rare. Par exemple, le dernier brassage complet du Léman date de l'hiver 2012. Un risque d'anoxie en profondeur est ainsi à prévoir.

Modification de l'habitat et des communautés piscicoles

Les rivières ne présentent pas les mêmes conditions d'habitats tout au long de leur parcours. La partie amont est caractérisée par une eau froide, avec une pente élevée et un courant rapide. À l'inverse, la partie inférieure présente une eau plus calme et plus chaude. En s'intéressant à ces caractéristiques physiques, on peut diviser le continuum longitudinal du cours d'eau en quatre zones dénommées les zones de Huet (Huet, 1949). Chaque zone accueille une communauté piscicole bien précise. Avec les réchauffements des eaux, on constate que les communautés piscicoles des zones aval ont tendance à remonter et à occuper plus de territoire. Inversement, les espèces des zones amont, souvent des salmonidés, sensibles aux températures, vont perdre les espaces du cours d'eau devenu trop chaud. Si des obstacles sont présents le long

du cours d'eau, alors les zones refuges d'eau froide à l'amont seront inaccessibles.

Quelques solutions

Repeuplement et revitalisation

Le repeuplement de poissons bénéficie d'une longue tradition et est largement répandu sur le territoire helvétique. Cependant, cette technique est aujourd'hui décriée, car elle pose de nombreux problèmes. De récentes études démontrent que le repeuplement est bien souvent inefficace, et voir même néfaste dans certains cas (Périer et al., 2023). En effet, dans un cours d'eau dégradé, remettre des poissons à l'eau ne va pas éliminer une pollution!

Un changement de paradigme est ainsi en train de s'opérer, soit de privilégier la revitalisation au repeuplement. Par le passé, plusieurs milliers de kilomètres de rivières ont été canalisés (illustration 1 à gauche) ou même enterrés, souvent dans le but de gagner des terrains agricoles. Bien entendu, les conséquences sur la biodiversité aquatique sont énormes. Afin de contrecarrer cela, l'objectif de la revitalisation n'est pas d'agir sur la faune aquatique directement, mais sur son milieu de vie (illustration 1 à droite). En améliorant leur habitat, alors les poissons et autres organismes aquatiques reviendront tous seuls.



Illustrations 1 : La Morges (à gauche) une rivière vaudoise fortement canalisée et faible en habitats dans sa partie aval ; L'Hongrin (à droite), un cours d'eau fribourgeois ayant des berges naturelles et des habitats diversifiés. Photos : © Aurélie Rubin

Cependant, une revitalisation n'est pas forcément un long fleuve tranquille. En effet, il s'agit bien souvent de redonner de la place au cours d'eau, ce qui implique des emprises sur les terres adjacentes. Des questions de propriétés et d'affectations des terrains doivent ainsi être prises en compte. De plus, ces mesures coûtent bien souvent cher. Mais la révision en 2011 de la loi fédérale sur la protection des eaux permet un cadre légal exigeant de redonner de la « nature » aux cours d'eau. Ainsi, le but de la Confédération est de revitaliser 4'000 des 14'000 kilomètres de cours d'eau ayant été aménagés dans le passé, à un horizon de 80 ans. Ceci implique une mise en œuvre des projets de revitalisation d'environ 50 kilomètres par an. Néanmoins, la tendance actuelle est

plutôt de l'ordre de 18 kilomètres par année (Thomas et Renner, 2021). Une accélération de la revitalisation est donc primordiale! Bien sûr, certains projets demandent de prendre en compte de nombreux acteurs et doivent être portés politiquement, comme la 3^e correction du Rhône. Mais de petits projets peuvent aussi voir le jour au sein d'une commune, ou même d'une association de pêcheurs! Des subventions cantonales et fédérales étant possibles, plusieurs cours d'eau sont revitalisés par le biais de communes. A Lully-sur-Morges (Vaud), le Pontet a ainsi été remis à ciel ouvert sur un tronçon de plusieurs centaines de mètres, suite à un projet porté par la commune mais financé en très grande partie par le Canton et la Confédération (illustration 2).



Illustration 2: Remise à ciel ouvert du Pontet à Lully-sur-Morges (Vaud). Photos : © Jean-François Rubin



Illustrations 3 : Exemples d'ouvrages de franchissement ; à gauche : Passe à bassins successifs sur le Boiron de Morges ; au centre : Ruisseau de contournement sur le Boiron de Morges ; à droite : Ascenseur à poissons (tour métallique) au barrage de Mühleberg. Photos : © Aurélie Rubin

Les pêcheurs ont également un rôle à jouer. Sentinelles des cours d'eau, ils connaissent bien les rivières qu'ils parcourent et peuvent donner l'alerte en cas de dégradations du milieu. La Fédération Suisse de Pêche (FSP) est d'ailleurs notamment à l'origine de la révision de la loi sur la protection des eaux en 2011. La campagne «Les pêcheurs aménagent l'habitat» propose des mesures ciblées pouvant être appliquées par les associations de pêche pour revitaliser les petits cours d'eau (Gründler et al., 2016). Petite ou grande revitalisation, chacun à son niveau peut ainsi apporter sa pierre à l'édifice.

Plantation d'arbres

Bien que les poissons ne vivent pas dans les arbres, ceux situés le long des cours d'eau font partie intégrante de la rivière. Les souches, les racines et les arbres couchés créent des caches pour les poissons. De plus, une rivière sans arbres sur ses berges implique également un ensoleillement très fort, et de fait une augmentation de la température de l'eau. Les conditions thermiques deviennent parfois invivables pour certaines communautés de poissons. En plantant des arbres le long des cours d'eau, de l'ombrage va ainsi être créé, ce qui limite ainsi le réchauffement des eaux. De plus, ces arbres constituent également des habitats pour d'autres organismes liés aux cours d'eau (oiseaux, insectes, etc.) et peuvent aussi servir de corridors biologiques pour le déplacement d'espèces. Que des bénéfiques !

Assainissement de la migration piscicole

Certains poissons, comme le saumon atlantique *Salmo salar* ont besoin de se déplacer sur de grandes distances, notamment pour la reproduction. Les truites migratrices *Salmo trutta* vivant en lac et remontant les rivières afin de se reproduire sont capables de nager sur plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres. Cependant, des obstacles (ouvrages hydroélectriques, prises d'eau, chutes, etc.) entravent parfois leur migration. Des ouvrages de franchissement voient maintenant le jour, permettant ainsi aux poissons de passer les obstacles. Plusieurs variantes existent, comme par exemple des passes bassins successifs (succession de plusieurs bassins ayant une différence de hauteur faible) (illustration 3 à gauche), des rivières de contournement (cours d'eau latéral qui contourne l'obstacle) (illustration 3 au centre), ou encore des ascenseurs à poisson (capture des poissons dans une nasse, qui monte dans une structure verticale et déverse les individus à l'amont) (illustration 3 à droite).

Tout comme pour les mesures de revitalisation, la révision de la loi sur la protection des eaux exige l'assainissement de la migration piscicole de bon nombre d'ouvrages hydroélectriques d'ici à 2030. Mais attention tout de même ! le rétablissement de la libre migration peut également avoir des effets négatifs. En effet, certaines espèces exotiques peuvent aussi bénéficier de ces ouvrages

de franchissement. C'est le cas par exemple de l'écrevisse signal *Pacifastacus leniusculus*, espèce exotique venant des Etats-Unis, qui a colonisé le Léman et qui remonte maintenant dans les cours d'eau. Celle-ci, très agressive et porteuse saine de la peste de l'écrevisse (mycose mortelle causée par le pathogène *Aphanomyces astaci*), représente une grande menace pour l'écrevisse à pattes blanches *Austropotamobius pallipes*, espèce indigène et fortement menacée, qui vit dans la partie supérieure de certaines rivières. En assainissant la migration des poissons, on favorise également la remontée de l'écrevisse signal. Et si les deux espèces venaient à se rencontrer, l'écrevisse indigène ne ferait pas le poids face à sa cousine américaine, tout un paradoxe dans un but de libre migration de la faune piscicole! De nouvelles barrières voient ainsi le jour, afin de stopper la progression des écrevisses, tout en permettant le passage des poissons. Un tel ouvrage a été installé sur le Boiron de Morges (Vaud) en 2021 par la Direction Générale de l'Environnement.

Sensibilisation

Finalement, la sensibilisation du public est aussi un point crucial pour la protection des milieux aquatiques. En effet, ces organismes ne sont que peu connus du public. Citons par exemple le message « Sous chaque grille se cache une rivière », symbolisé par une grille d'évacuation des eaux en forme de poisson et porté par l'Association Suisse des Gardes-pêche. Le but est de rendre attentif le public aux grilles d'évacuation, puisque l'eau qui y rentre va directement dans la rivière, et ce sans passer par la station d'épuration. Tous les produits toxiques déversés à l'intérieur finissent donc directement dans le cours d'eau, avec toutes les conséquences que cela implique pour le milieu aquatique. De nombreuses autres actions de sensibilisation pourraient encore être mentionnées, comme les journées « Coup de balais », organisées afin de ramasser les déchets sur les plages, lacs ou rivières, ou encore la création de sentiers didactiques le long des cours d'eau.

Conclusion

Les milieux aquatiques et leurs organismes sont en danger en raison de nombreuses menaces. Mais des solutions peuvent être mises en œuvre pour le maintien de la biodiversité! Certaines mesures sont applicables facilement et à faibles coûts, alors que d'autres nécessitent une volonté politique et ont un prix important. Mais chacun à son niveau peut mettre la main à la pâte pour avancer ensemble dans la bonne direction.

Citons finalement deux explorateurs du XX^e siècle, le Commandant Cousteau, océanographe, et Auguste Piccard, physicien et constructeur de sous-marins, tous deux précurseurs dans la protection de l'environnement et qui ont contribué à la prise de conscience sur la beauté, mais aussi la fragilité de la biodiversité aquatique.

« On ne protège que ce que l'on aime et on aime que ce que l'on connaît »

Commandant Cousteau

« Le problème fondamental de l'humanité ne consiste pas à désertir la planète où l'homme a été créé, mais à s'organiser de façon à y rendre la vie de plus en plus digne d'être vécue. »

Auguste Piccard

Chaussons ainsi toutes et tous nos bottes et partons à la découverte de ce monde aquatique merveilleux, afin de le protéger pour les années à venir.

Références

Capt, S., Bohnenstengel, T., & Zimmermann, F. (2022). *Liste rouge des mammifères (hors chauves-souris) – Espèces menacées en Suisse*. Office fédéral de l'environnement et info fauna, Berne, 42p.

Gattlen, N., & Klaus, G. (2023). *Biodiversité en Suisse – État et évolution*. Office fédéral de l'environnement, Berne, 98p.

Gründler, S., Mende, M., & Schäfer, J. (2016). *Les pêcheurs aménagent l'habitat –*

Restauration «in stream» – Mesures simples pour revaloriser les cours d'eau. Fédération Suisse de Pêche, 136p.

Huet, M. (1949). *Aperçu des relations de la pente et des populations piscicoles des eaux courantes.* Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie : 332-351.

Knaus, P., Antoniazza, S., Keller, V., Sattler, T., Schmid, H., & Strebel, N. (2021). *Liste rouge des oiseaux nicheurs – Espèces menacées en Suisse.* Office fédéral de l'environnement et info fauna, Berne, 54p.

Périat, G., Vonlanthen, P., & Roulin, A. (2023). *Rempoissonnement en Suisse – Synthèse des suivis d'efficacité.* Office fédéral de l'environnement, Berne, 36p.

Schmidt, B. R., Mermod, M. & Zumbach, S. (2023). *Liste rouge des amphibiens – Espèces menacées en Suisse.* Office fédéral de l'environnement et info fauna, Berne, 31p.

Thomas, G., & Renner, C. (2021). *Renaturation des eaux suisses – État de la mise en œuvre des revitalisations de 2011 à 2019.* Office fédéral de l'environnement, Ittigen, 20p.

Ursenbacher, S., & Meyer, A. (2023). *Liste rouge des reptiles – Espèces menacées en Suisse.* Office fédéral de l'environnement et info fauna, Berne, 32p.

Zaugg, B. (2022). *Liste rouge des poissons et cyclostomes – Espèces menacées en Suisse.* Office fédéral de l'environnement et info fauna, Berne, 39p.

Pour de plus amples informations :

pauline.lourenco@maisondelariviere.ch
 et aurelie.rubin@maisondelariviere.ch
 www.maisondelariviere.ch

PUBLICITÉ

ID-GENE Tél : 076-693 51 69
 ecodiagnos **www.id-gene.com**
info@id-gene.com

Pour vos programmes de protection de biodiversité, conservation des espèces, restauration des habitats, biosurveillance nous offrons des conseils en l'ADN environnemental :

- Protocoles d'échantillonnage
- Analyses des données génétiques
- Listes d'espèces et l'abondance relative
- Calcul des indices biotiques
- Rapports de recherche



groupe sa

L'humain au cœur de l'ingénierie



Aménagement du territoire



Eau



Énergie



Environnement



Géologie, Géotechnique & Métrologie



Mobilité & Infrastructures



Systèmes d'information

Les sociétés filles de RWB Groupe SA :

- RWB Jura SA
- RWB Berne SA
- RWB Neuchâtel SA
- RWB Fribourg SA
- RWB Vaud SA
- RWB Valais SA
- MFR Géologie-Géotechnique SA
- RWB BIMo SA
- MetriX SA
- Newis SA
- Erep SA

Imaginer, créer, aménager des cadres de vie respectueux de l'humain et de l'environnement, voilà un défi des plus passionnants pour l'équipe d'ingénieurs RWB Groupe SA.

www.rwbgroupe.ch



HOLINGER
the art of engineering

NOTRE SAVOIR VOS AVANTAGES

Les prestations d'ingénierie en lien avec l'eau, les infrastructures, l'environnement et l'énergie font partie de nos compétences centrales.

HOLINGER SA, Route de la Pierre 22, 1024 Ecublens, +41 21 654 91 00

holinger.com

L'importance de plantations expérimentales pour la gestion de la forêt dans un contexte de changement climatique

Robert Jenni (OFEV) et Kathrin Streit (WSL)

Office fédéral de l'environnement OFEV, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL

Comment adapter la forêt, afin qu'elle puisse continuer à assurer ses précieuses prestations dans un contexte de changements climatiques et de multiplication des événements extrêmes ? Les plantations expérimentales d'essence d'avenir, vaste projet géré lancé par le WSL, avec le soutien de l'OFEV et des cantons, en collaboration étroite avec des triages forestiers, représentent l'une des pistes pour soutenir les gestionnaires forestiers dans leurs décisions.

La forêt est touchée de plein fouet par le changement climatique. Les dépérissements d'arbres, voire de peuplements entiers, liés se multiplient, et il est devenu presque normal de rencontrer des arbres partiellement ou totalement secs dans le paysage. Il est urgent donc « d'adapter » la forêt au climat actuel et futur, et cela passe par un rajeunissement et souvent un changement d'essences. Bien qu'en Suisse, cette transition se fasse en majorité par la régénération naturelle, des plantations ponctuelles peuvent se révéler un complément utile afin d'enrichir la composition des peuplements. Mais alors quelle essence, respectivement quelle provenance privilégier ? C'est à ces questions que ce projet de plantations expérimentales va chercher à apporter des réponses.

Une forêt qui souffre

Les scénarios climatiques et les modèles nous l'avaient prédit, mais en 2019, lorsque l'on a constaté un dépérissement marqué

du hêtre dans différentes régions, notamment en Ajoie et dans le canton de Bâle-Campagne, avec des peuplements gravement touchés alors qu'ils étaient « en station », issus de régénération naturelle et jusque-là en parfaite santé, cela a tout de même choqué les esprits.

Heureusement, un important programme de recherche « Forêts et changements climatiques » pilotés par le WSL venait d'aboutir à la publication du même nom (Plüess et al. 2016), dans laquelle on trouve non seulement une analyse approfondie de l'influence et des conséquences possibles des changements climatiques sur la forêt, mais aussi de nombreuses propositions de mesures préventives et adaptatives pour la gestion des forêts.

Une adaptation indispensable

Plus que l'évolution des données climatiques moyennes, ce sont les événements extrêmes qui dictent la vitesse de l'adaptation des forêts. Ainsi, une année sèche et caniculaire

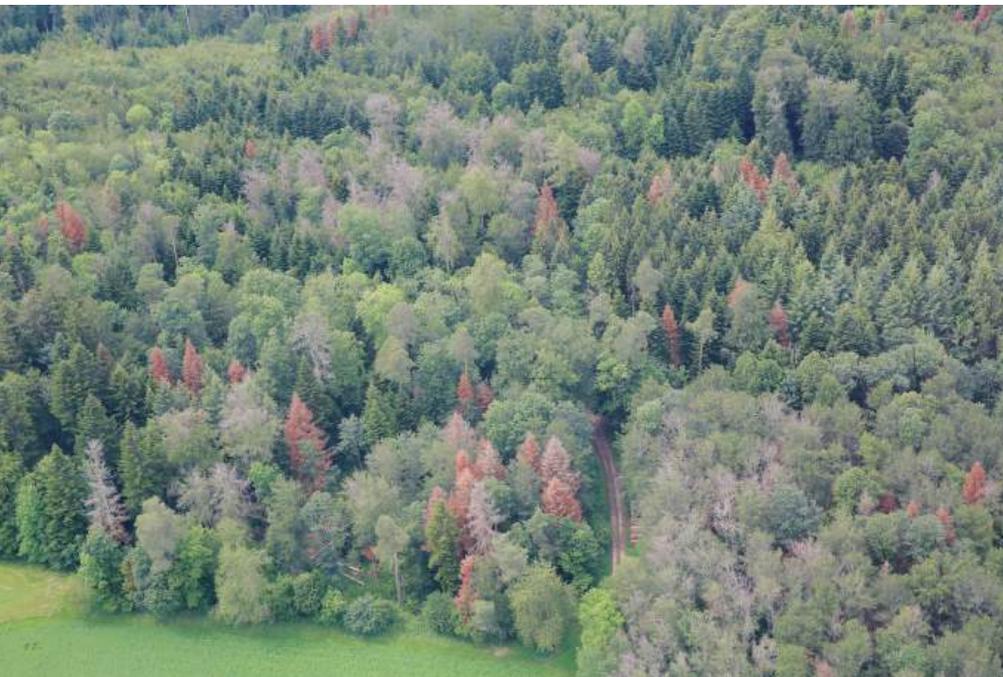


Illustration 1 : Dépérissement du hêtre et du sapin à Courchavon JU en 2019. Photo © Valentin Queloz WSL

telle 2018 peut impacter les forêts de grandes régions, comme ce fût le cas en Ajoie (cf. illustration 1).

L'arbre en tant qu'individu n'est ni mobile, ni plastique, mais les espèces, par leur pouvoir régénératif et adaptatif, recèlent une certaine mobilité, ainsi qu'une certaine plasticité. Ainsi, les graines d'arbres pionniers peuvent être transportées sur de très grandes distances par le vent, et les graines plus lourdes sont transportées par les animaux, par exemple le geai pour les glands de chêne, qui va les répartir sur plusieurs kilomètres autour d'un arbre-mère. D'autre part, un hêtre va atteindre plus de 30 mètres sur un sol bien productif, mais seulement quelques mètres sur une crête rocheuse.

L'adaptation concerne donc autant la composition que la structure des peuplements. Mais cette adaptation prend du temps,

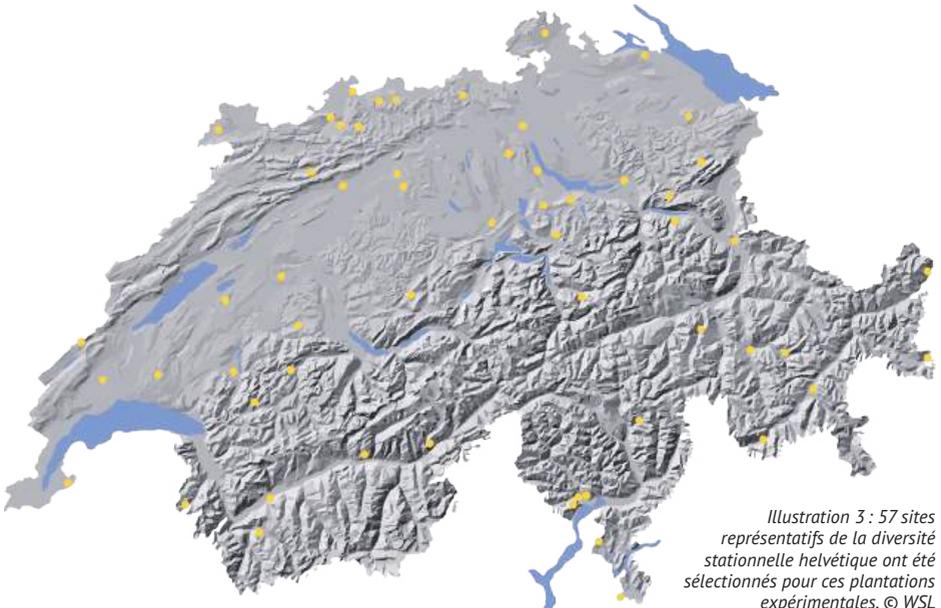
puisqu'elle se passe sur des générations d'arbres! Afin d'éviter de trop grands «vides» dans les prestations que la forêt nous apporte, il est intéressant d'initier, d'accompagner, voire d'accélérer ce processus. A cet effet, 5 principes d'adaptation ont été développés, afin de guider les propriétaires forestiers dans leur choix.

Quelles essences forestières susceptibles d'être adaptées dans 80 ans pourraient déjà croître aujourd'hui ?

C'est pour répondre à cette question et pour faciliter la mise en œuvre du premier principe d'adaptation (illustration 2) que le projet «Plantations expérimentales d'essences d'avenir» a été initié. Dans le cadre de celui-ci, un réseau de plantations expé-



Illustration 2 : Les cinq principes d'adaptation publiés dans « Forêts et changements climatiques », (Plüess et al. 2016) représentent le socle de la sylviculture proche de la nature dans un contexte de changements climatiques, appelée sylviculture adaptative.



rimementales coordonnées se met en place dans toute la Suisse depuis l'automne 2020 (illustrations 3 & 4). Sur une période de 30 à 50 ans, 55000 plants seront examinés pour étudier la façon dont différentes essences

et semences de diverses origines perdurent dans des conditions environnementales variées. Ces observations serviront de bases à la recommandation d'essences en fonction des conditions locales des stations.

Du point de vue scientifique, il est intéressant de connaître les facteurs environnementaux qui définissent la survie, la vitalité et la croissance des essences examinées et de leurs provenances le long des grands gradients environnementaux.

Ce projet a pour avantage incontestable sa stratégie coordonnée. Tandis qu'une seule plantation expérimentale ne permet de suivre et d'analyser que l'évolution des arbres de la placette en question, un réseau de 57 placettes offre la possibilité de déduire à long terme la façon dont les essences testées se maintien-

dront dans différentes conditions climatiques. Cet essai à long terme permettra également de mieux comprendre les répercussions des influences météorologiques et des événements extrêmes sur les essences et provenances testées.

Avec l'intégration de 18 essences dans l'essai expérimental, nombre d'essences considérées comme ayant un potentiel d'avenir dans les forêts suisses sur fond de change-



Illustration 5 : Les mesures favorisant la biodiversité doivent être intégrées dans la gestion courante. Photo © Robert Jenni

ment climatique, sont représentées dans les plantations expérimentales prévues. Pour les essences du catalogue principal, il est possible d'obtenir des affirmations et des comparaisons fiables sur de larges gradients environnementaux, tandis que la pertinence et la comparabilité seront moindres pour les essences du catalogue complémentaire introduites dans un nombre plus restreint de plantations expérimentales.

Catalogue principal de 9 essences	Catalogue complémentaire de 9 essences
<i>Abies alba</i> (sapin blanc)	<i>Acer opalus</i> (érable à feuilles d'obier)
<i>Acer pseudoplatanus</i> (érable sycomore)	<i>Acer platanoides</i> (érable plane)
<i>Fagus sylvatica</i> (hêtre)	<i>Cedrus atlantica</i> (cèdre de l'Atlas)
<i>Larix decidua</i> (mélèze européen)	<i>Corylus colurna</i> (noisetier de Byzance)
<i>Picea abies</i> (épicéa)	<i>Juglans regia</i> (noyer royal)
<i>Pinus sylvestris</i> (pin sylvestre)	<i>Prunus avium</i> (merisier)
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (douglas)	<i>Quercus cerris</i> (chêne chevelu)
<i>Quercus petraea</i> (chêne sessile)	<i>Quercus robur</i> (chêne pédonculé)
<i>Tilia cordata</i> (tilleul à petites feuilles)	<i>Sorbus torminalis</i> (alisier torminal)

Illustration 4 : Liste des essences testées dans le projet.

Le rôle de la biodiversité dans l'adaptation des forêts

Bien que le projet présenté ici soit orienté sur la plantation, la priorité stratégique en Suisse demeure largement la régénération naturelle. On reste donc sur les principes de sylviculture proche de la nature ancrée dans la loi forestière, mais on parle désormais de sylviculture adaptative afin d'y intégrer la notion de changements climatiques. Dans ce cadre, la biodiversité n'est pas seulement une fonction ou un objectif, mais bel et bien une condition-cadre afin d'améliorer la résilience et la résistance des peuplements, et de faciliter cette adaptation.

Cette biodiversité ne se veut ni ponctuelle ni ségrégative, c'est-à-dire limitée aux secteurs protégés, mais au contraire couvrante et intégrative, donc intégrée à chaque décision sylvicole. Les principes d'adaptation (illustration 2) sont d'ailleurs largement favorables à la biodiversité, à l'exception du dernier qui lui a pour mission surtout d'aider, voire d'accélérer cette transition. Outre les mesures générales de diversification des essences, des structures et de la palette génétique, et comme le prévoit notamment l'Aide à l'exécution pour la conservation de la diversité biologique dans la forêt suisse, les mesures spécifiques suivantes doivent continuer à être intégrées les actions sylvicoles :

- Assurer la présence de vieux bois et de bois mort en quantité et en qualité suffisantes
- Préserver les arbres-habitats et des vieux arbres en individus ou groupes (îlots de sénescence)
- Structurer et diversifier les lisières
- Valoriser et conserver des milieux naturels de grande valeur écologique
- Préserver les sols

Régénération naturelle, plantations et mesures biodiversité

Si le rajeunissement naturel reste la stratégie prioritaire en Suisse en matière de sylviculture proche de la nature, respectivement

sylviculture adaptative et concernant actuellement plus de 90% de la surface en régénération, les plantations représentent un complément bienvenu afin de diversifier la palette d'essences et accélérer le processus d'adaptation aux changements climatiques de nos forêts, ceci afin d'éviter des ruptures dans les prestations forestières. Afin d'aider les forestiers dans leur choix d'essences et de provenances, le projet « Plantations expérimentales d'essences d'avenir » piloté par le WSL permettra d'apporter des réponses, ou en tout cas certaines pistes, dans les années à venir.

La biodiversité, dans son sens très large du terme, joue un rôle crucial dans cette phase d'adaptation des forêts, car elle augmente non seulement la résistance des peuplements, mais aussi leur résilience après des événements type sécheresse, ouragan, ou autre calamité. Il est donc dans l'intérêt de tous de la favoriser en l'intégrant dans toutes les décisions de gestion sylvicole.

Références

Toutes les informations de base et les principes de cet article sont développés dans cet ouvrage de synthèse :

Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), 2016. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement, Bern; Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 447 p.

Office fédéral de l'environnement, 2015. Biodiversité en forêt: objectifs et mesures. Aide à l'exécution pour la conservation de la diversité biologique dans la forêt suisse. Berne, 51 p.

Pour de plus amples informations :

robert.jenni@bafu.admin.ch
kathrin.streit@wsl.ch

Plantations expérimentales d'essences d'avenir (wsl.ch)

Notre papier redevient papier



PRESSOR 

impression > communication visuelle

Delémont > Moutier > Saignelégier > pressor.ch

Faire vivre les paysages face aux changements climatiques

Silvia Tobias^a, Elena G. Siegrist^a, Luca Bütikofer^b, Jonas Christen^c, Matthias Bürgi^a, Karina Liechti^d, Emmanuel Reynard^b, Antoine Guisan^b, Davnah Urbach^e, Christophe Randin^b

^aInstitut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL

^bUniversité de Lausanne

^cIkonaut GmbH

^dFondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage

^eGlobal Mountain Biodiversity Assessment GMBA

Les changements climatiques auront inévitablement un impact sur nos paysages et sur leur qualité. Cela nous concerne toutes et tous. Mais comment faire comprendre cela au grand public ?

Venez faire une randonnée estivale dans l'Entremont en 2085, dans un climat plus chaud de 4°C! Nous descendons du bus climatisé et la chaleur nous assomme, bien que nous soyons à 1800 mètres d'altitude. La première partie du trajet se fait sur la route, le long d'un grand mur de soutènement, car le chemin à travers la forêt est fermé à cause d'un glissement de terrain. La forêt présente en outre de nombreuses surfaces dénudées, car les essences d'origine n'ont pas résisté à la sécheresse et aux attaques de ravageurs. – Une image triste du paysage futur... Mais il ne faut pas en arriver là! Nous avons aujourd'hui le pouvoir de préparer nos paysages aux changements climatiques.

Un projet de sensibilisation

Les paysages fournissent des services importants pour notre bien-être (ex. loisirs, base de production, esthétique). Ces prestations peuvent être menacées par les changements climatiques. Bien que la communauté scientifique attire l'attention sur les conséquences des changements climatiques depuis un certain temps déjà, le grand public n'en a pas encore pris (suffisamment)

conscience. Cela s'explique notamment par le fait que la dissémination de résultats scientifiques sous forme de tableaux et de graphiques souvent complexes n'incite pas à une prise de conscience. Dans le cadre du projet «+4°C et plus: les paysages suisses face aux changements climatiques» financé par l'Office fédéral de l'environnement, nous avons choisi d'autres moyens de communication et utilisé des images et des récits pour présenter les résultats.

Le travail scientifique a consisté à développer des scénarios de paysages futurs dans un climat plus chaud de 4°C. Nous avons ensuite étudié les effets des changements climatiques sur les paysages. Selon une approche qualitative, nous avons développé à cet effet un modèle de chaînes d'impact entre les changements climatiques, les actions des acteurs et les changements du paysage. Nous avons également modélisé, à l'aide de méthodes quantitatives, les changements de la couverture et du potentiel d'utilisation des sols ainsi que l'évolution des communautés végétales naturelles. Pour les modélisations, nous nous sommes appuyés sur les scénarios climatiques pour la Suisse

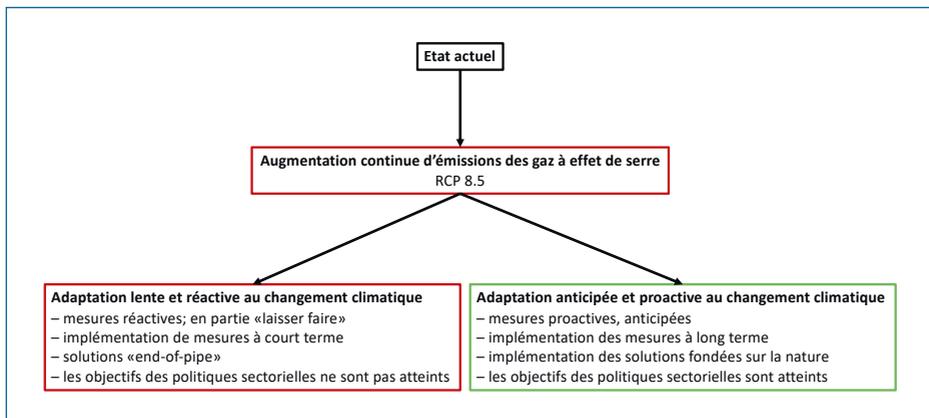


Figure 1 : Scénarios climatiques et stratégies choisis pour la modélisation et la rédaction des récits.

du NCCS (NCCS, 2018). Nous avons choisi le scénario climatique "Augmentation continue d'émissions de gaz à effet de serre" (RCP 8.5), qui prévoit pour la Suisse une augmentation de la température de 3,3 à 5,4°C d'ici la fin du 21^e siècle par rapport à la période 1981-2010. Afin de mettre en évidence la marge de manœuvre, les modélisations qualitatives et quantitatives ont en outre pris en compte deux stratégies idéales différentes pour l'adaptation aux changements climatiques : une **adaptation purement réactive** (planification et mise en œuvre de mesures à court terme) et une **adaptation proactive** (planification et mise en œuvre de mesures à long terme, par anticipation) (Figure 1).

Pour illustrer les résultats à l'aide de récits et d'images, nous avons choisi deux espaces paysagers typiques de la Suisse, auxquels la population peut s'identifier. Pour le Moyen Pays, où vit une grande partie de la population suisse et dont les paysages sont utilisés avant tout pour les loisirs de proximité, nous avons choisi le Seeland bernois. Afin d'illustrer la situation des régions de montagne, typiquement connues pour être des destinations de vacances, nous avons choisi la région de l'Entremont en Valais.

D'importants changements du paysage sont à prévoir

Comme le montrent nos modélisations, les changements climatiques modifieront par endroit fortement les paysages suisses. Le retrait des glaciers dans les Alpes et la formation de nouveaux lacs (Figure 2), mais également la disparition d'importants réservoirs d'eau naturels lorsque les précipitations ne tombent pratiquement plus sous forme de neige, même en altitude, en sont des manifestations particulièrement claires. L'augmentation des températures n'est par conséquent pas le seul problème ; les modifications du régime des eaux en sont un autre. De plus, les dangers naturels s'aggravent, car de nombreux éboulis alpins ne sont plus stabilisés par la glace ou le permafrost (Figure 2). Dans le Moyen Pays, les crues des rivières et des lacs deviennent plus fréquentes et plus fortes.

L'évolution du paysage dépendra de la stratégie d'adaptation aux changements climatiques. Il est possible de construire des digues massives et hautes le long des cours d'eau ou d'aménager de nouveaux bassins de réception pour briser les pics de crue en élargissant les rivières de manière naturelle.

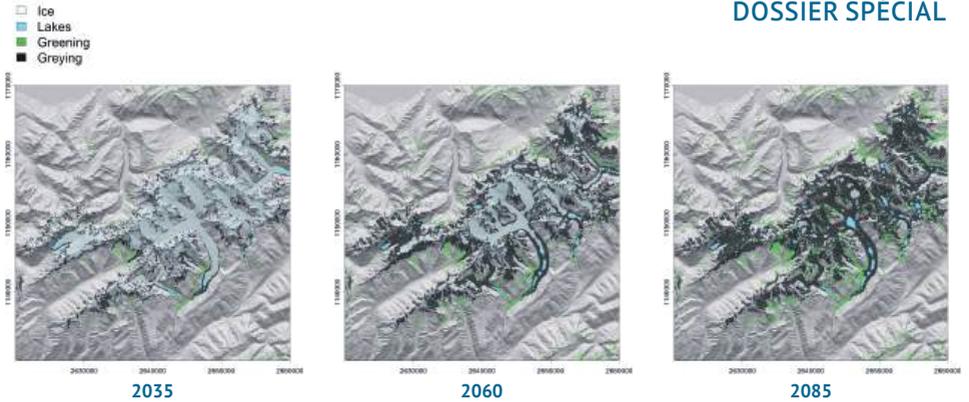


Figure 2 : Fonte du glacier et des névés dans la région d'Aletsch. En gris-bleu, les glaciers et les névés ; en noir, les surfaces qui apparaissent grises après le retrait des glaciers ; en vert, les surfaces nouvellement colonisées par la végétation. Source : Tobias et al., 2023, p. 24.



Figure 3 : Extraits des photos panoramiques à 360° montrant une ville dans le Moyen Pays à l'état actuel (a) et dans un climat plus chaud : b) après une stratégie réactive d'adaptation aux changements climatiques, c) après une stratégie proactive d'adaptation aux changements climatiques. © Ikonaut GmbH



Figure 4 : Extraits des photos panoramiques à 360° montrant l'Entremont comme paysage de montagne à l'état actuel (a) et dans un climat plus chaud : b) après une stratégie réactive d'adaptation aux changements climatiques, c) après une stratégie proactive d'adaptation aux changements climatiques. © Ikonaut GmbH

Pour la population, c'est surtout la chaleur dans les villes et les agglomérations qui constituera un défi. La stratégie choisie pour s'adapter aux changements climatiques est ici décisive. Si les places publiques des agglomérations doivent offrir des arbres qui font de l'ombre et des surfaces d'eau ouvertes, cela doit être mis en place suffisamment tôt grâce à un aménagement du territoire minutieux. En l'absence de mesures proactives, la population devra se réfugier dans des espaces climatisés lors des chaudes journées d'été et des climatiseurs orneront les façades des maisons (Figure 3).

Dans les régions de montagne, la stratégie d'adaptation au changement climatique détermine également en grande partie la qualité des paysages et les prestations qu'ils pourront fournir (Figure 4). Si des essences résistantes à la sécheresse sont favorisées à temps et de manière ciblée dans les forêts protectrices, ces forêts pourront à l'avenir remplir non seulement leur fonction de protection, mais aussi des fonctions d'habitat et de détente. Dans le cas contraire, d'imposants ouvrages techniques de protection seront nécessaires pour protéger les habitations et les infrastructures. Les stations de sports d'hiver traditionnelles doivent se demander dès aujourd'hui si elles veulent continuer à miser uniquement sur le tourisme hivernal aussi longtemps que possible ou si elles souhaitent développer le tourisme estival ou le tourisme tout au long de l'année. Il ne s'agit pas seulement de mettre à disposition des infrastructures touristiques, mais aussi d'entretenir un paysage esthétique et multifonctionnel. Les systèmes des pâturages boisés peuvent s'y prêter particulièrement bien, d'autant plus que, selon nos modélisations, ils deviennent possibles à des altitudes plus élevées.

Il ne s'agit là que de quelques exemples. La publication issue de ce projet présente en détail les principaux changements du paysage auxquelles s'attendre pour le Moyen Pays et les régions de montagne (Tobias et al. 2023). Les résultats de la modélisation à

l'échelle suisse de la couverture et du potentiel d'utilisation des sols ainsi que des modifications des associations végétales sont également accessibles au public (Bütikofer et al., 2023).

Vulgarisation scientifique

Les produits de ce projet ne devraient pas seulement s'adresser aux spécialistes de la protection de la nature et du paysage, mais aussi au grand public. C'est pourquoi la publication ne contient pas seulement une partie scientifique, mais aussi des récits décrivant des randonnées à travers des paysages futurs possibles dans les régions choisies du Seeland et de l'Entremont. Les expériences (potentielles) d'un groupe de randonneuses et randonneurs dans différents compartiments paysagers (agglomérations, cours d'eau, forêts, terres agricoles, etc.) sont décrites en termes simples.

En outre, des images panoramiques interactives à 360° ont été créées pour les deux régions de l'étude de cas, montrant chacune la situation actuelle ainsi que deux futurs possibles en fonction de la stratégie réactive ou proactive d'adaptation aux changements climatiques. Les images panoramiques contiennent différentes boîtes d'information qui expliquent des éléments particuliers dans les images. Enfin, de courtes vidéos teaser d'une minute ont été tournées pour les deux régions et peuvent être diffusées via les médias sociaux.

Tous les produits sont rédigés aussi bien en français qu'en allemand et peuvent être téléchargés à partir des liens en fin d'article.

C'est à nous de décider

Dans ce projet, nous avons élaboré des scénarios paysagers dans un climat réaliste beaucoup plus chaud et choisi des histoires et des images comme moyens de communication. A travers cette approche, nous avons pu montrer que les décisions prises par les spécialistes de certains domaines tels que la sylviculture, l'agriculture, l'aménagement du

territoire, l'hydraulique, etc. ont un impact sur les qualités intégrales des paysages. Un message important du projet est en outre que l'aspect des paysages dans un climat plus chaud dépend fortement des décisions sociales et politiques. En fonction des stratégies d'adaptation au changement climatique choisies dans les différentes politiques sectorielles, certaines qualités et prestations du paysage seront favorisées ou menacées. Enfin, il convient toutefois de noter que même si l'on adopte une stratégie proactive d'adaptation au changement climatique, les paysages ne pourront plus remplir de nombreuses fonctions importantes (p. ex. le stockage de l'eau en haute montagne) et nos conditions de vie vont se dégrader. Il serait plus efficace d'endiguer les émissions de gaz à effet de serre liées à la civilisation et de freiner ainsi le changement climatique.

Références et liens aux produits du projet

Références

Bütikofer, L., Adde, A., Urbach, D., Tobias, S., Huss, M., Guisan, A., Randin, C. 2024. High-resolution land use/cover forecasts for Switzerland in the 21st century. Scientific data 11: 231. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03055-z>

NCCS, National Centre for Climate Services 2018. CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report. 271 S. Download: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien.html>

Tobias, S., Siegrist, E., Bütikofer, L., Bürgi, M., Liechti, K., Reynard, E., Guisan, A., Urbach, D., Randin, C. 2023b. +4°C et plus: les paysages suisses face au changement climatique. WSL Ber. 140. 52 p. doi. [org/10.55419/wsl:35310](https://doi.org/10.55419/wsl:35310). Téléchargement PDF: www.wsl.ch/berichte

Liens

Photos panoramiques :

<https://viergrad.envidat.ch/>

Rapport WSL: <https://www.wsl.ch/fr/publications/4-c-et-plus-les-paysages-suissees-face-au-changement-climatique/>

Vidéo sur la région de montagne :

<https://youtu.be/omzerniFkMg>

Vidéo sur la région de plaine :

<https://youtu.be/Qj9hxxrIz8>

Pour de plus amples informations :

silvia.tobias@wsl.ch

<https://www.wsl.ch/fr/personnel/tobias/>

Biodiversité et services écosystémiques en montagne

Davnah Urbach

*Global Mountain Biodiversity Assessment, Université de Bern
& Centre interdisciplinaire de recherche sur la montagne, Université de Lausanne*

Les montagnes ne sont pas que rochers. Elles servent d'habitats à une diversité incomparable d'espèces qui remplissent et livrent des fonctions et services écosystémiques indispensables à l'humanité au sens large. Il est temps de reconnaître la conservation de ces espèces et écosystèmes de montagne comme une priorité politique et une responsabilité individuelle.

Au cours des dernières décennies, les montagnes, leurs écosystèmes et leurs espèces ont été soumis à des changements rapides et profonds (voir Urbach et al., 2024). Depuis le début des années 2000, la perte de masse des glaciers s'est traduite par une diminution annuelle de la profondeur des glaces d'environ un demi-mètre, approximativement 80% des montagnes du monde ont connu une diminution de l'enneigement et des redistributions majeures d'espèces et d'habitats se sont produites le long des gradients d'altitude ainsi que sur les sommets des montagnes. Ce qui se passe dans les montagnes n'est pas anodin, mais affecte le monde dans sa globalité. En effet, les montagnes et leurs écosystèmes sont essentiels à la vie sur Terre et à la vie de centaines de millions de personnes (voir Payne, Spehn et al., 2020).

Les montagnes

Selon la définition du botaniste suisse Christian Körner (Körner et al., 2017), les montagnes couvrent environ un dixième de la superficie totale de la terre et on les retrouve partout, du nord au sud et d'est en ouest (Snethlage et al., 2022, illustration 1).

Ces montagnes varient à bien des égards, autant pour ce qu'il en est de leur origine géologique qu'en termes de forme, d'apparence ou d'écosystèmes (voir Payne, Hoorn et al., 2020). La Chaîne des Puys en France, par exemple, est volcanique, alors que les Montagnes Rocheuses d'Amérique du Nord sont des montagnes plissées résultant de l'épaississement de la croûte terrestre. Dans les Black Hills du Dakota du Sud aux États-Unis, les montagnes prennent la forme de dômes, alors qu'au Venezuela par exemple, les « tepuis » sont des hauts plateaux. Au sein d'un même continent, celui de l'Afrique par exemple, certaines montagnes comme le mont Kilimandjaro sont hautes et recouvertes de glace, tandis que d'autres comme les montagnes de l'Afrique de l'Est sont plus basses et principalement recouvertes d'une forêt tropicale dense. Au sein d'un même pays, cette diversité se retrouve aussi. En Suisse, le Jura est relativement bas et offre des paysages alternants entre prairies et forêts. Dans les Alpes, atteindre un sommet nécessite de parcourir landes et forêts, traverser la limite de la forêt pour atteindre les pelouses alpines et finalement s'élever parfois encore à travers neige et glace.

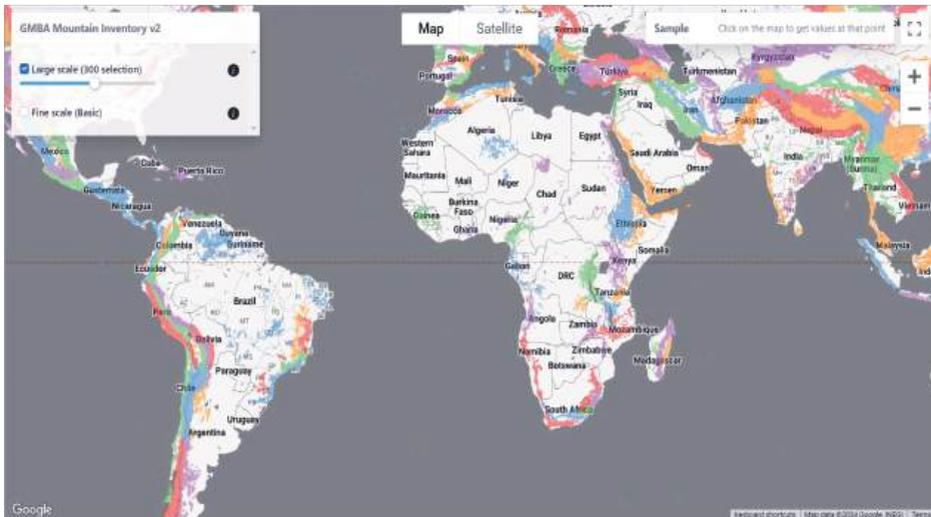


Illustration 1 : Distribution globale des montagnes. (Source : Snethlage et al. (2022), <https://earthenv.org/mountains>)

Et pourtant, au-delà de leur distribution globale et malgré toutes ces différences, les montagnes partagent également un grand nombre de caractéristiques uniques. A cause de leurs pentes ainsi que de l'inclinaison et de l'exposition de ces dernières, les montagnes se caractérisent par des changements rapides de conditions bioclimatiques sur de courtes distances, et d'une multitude complexe de microclimats et microhabitats (voir ex. Körner et al., 2017). Ainsi, la transition entre forêt et pelouse alpine peut se faire sur quelques mètres seulement et au même moment de la journée, les températures de la végétation peuvent varier d'un facteur 10 sur une distance de quelques centimètres (voir Urbach et al., 2024). Ces pentes et leur inclinaison, qui vont de pair avec des risques naturels particulièrement élevés en montagne, ainsi que les grandes distances et les vallées qui contribuent à isoler les montagnes, servent aussi à les rendre souvent difficiles d'accès, leurs écosystèmes difficiles à exploiter, et ont permis une diversification socio-culturelle absolument unique au cours du temps.

Les espèces de montagne

Les variations rapides de conditions bioclimatiques le long des gradients d'élévation, la complexité du terrain ainsi que des millions d'années d'évolution rythmées par les changements géomorphologiques et climatiques ne sont pas sans conséquences. Conjointement, tous ces facteurs sont responsables pour une diversité et une richesse biologique exceptionnelle, pour un nombre élevé d'espèces propres à des régions géographiques limitées (espèces endémiques, ex. illustration 2), ainsi que pour des adaptations uniques permettant aux organismes de survivre autant au froid et à la neige, qu'au vent, au soleil, et au manque d'oxygène (voir Payne, Spehn et al., 2020; Urbach et al., 2024). En Suisse, 600 espèces de plantes à fleurs sont exclusivement présentes dans les Alpes ou y ont leur aire de répartition principale. Au niveau global, les régions montagneuses abritent notamment plus de 85% des espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de mammifères de la planète et plus de la moitié des zones terrestres dont la biodiversité est

particulièrement riche, unique et menacée ('hotspot de biodiversité'). En Amérique du Sud, ce sont plus de 45000 espèces de plantes dans les Andes tropicales uniquement et en Afrique du Sud, 68% des 9000 espèces de plantes connues sont endémiques à la ceinture plissée du Cap. Au-delà des espèces sauvages, les Andes centrales par exemple recèlent plus de 4000 variétés de pommes-de-terre et les forêts humides d'Afrique de l'Est plus de 5000 variétés de café Arabica sauvages (voir ex. Payne, Spehn, et al., 2020). Ainsi les montagnes ne sont pas seulement les berceaux, les refuges et les sanctuaires de la biodiversité mondiale, mais également des coffres-forts de diversité génétique pour beaucoup d'espèces cultivées et consommées dans le monde entier.

Bien que souvent isolées et difficiles d'accès, les montagnes ne sont pas à l'abri de l'influence directe ou indirecte de l'humain et des changements globaux qui déterminent le destin de notre planète. Ainsi au cours des siècles, en fonction des développements technologiques et en réponse à de nouvelles dynamiques socio-culturelles, l'utilisation des terres en montagne a évolué. Le tourisme, notamment d'hiver, s'est imposé à grande échelle et avec lui les infrastructures, les activités extractives, telles que les mines, ont augmenté en réponse aux pressions économiques, et l'agriculture a également évolué. En Europe par exemple, l'évolution de l'agriculture se caractérise par une tendance vers l'abandon des régions de montagne et des traditions pastorales ancestrales.



Illustration 2: *Nepenthes murudensis* est endémique du Mont Murud au Sarawak, en Malaisie. La protection de ce site montagneux est essentielle pour assurer la persistance de l'espèce « peu préoccupante » en matière de conservation. (© Katja Rembold)



Illustration 3 : Les montagnes hébergent plus de 85 % des espèces mondiales d'amphibiens, oiseaux et mammifères, dont beaucoup sont endémiques et ne se trouvent nulle part ailleurs. Photo : © Felix Mittermeier

Dans d'autres régions du monde, et en particulier dans des régions en voie de développement, l'exploitation des terres de montagne ainsi que le pastoralisme sont en rapide augmentation, notamment en réponse aux changements climatiques et aux pressions économiques et démographiques croissantes (voir ex. Payne, Snethlage, et al., 2020). Comme en plaine, ce sont également le nombre d'espèces invasives ou exotiques ainsi que leurs aires de répartition qui ont augmenté au cours du temps en montagne, modifiant les paysages, mettant en péril les espèces locales ainsi que l'équilibre des écosystèmes, et présentant occasionnellement aussi des risques pour la santé (voir Von Büren et al., 2023). Espèce appréciée pour sa valeur esthétique, le lupin à folioles

nombreuses (*Lupinus polyphyllus* Lindl) est un exemple devenu emblématique d'espèce invasive dans les prairies de montagne en Suisse. Mais plantes et insectes ne sont pas les seules espèces envahissantes. Moins médiatisés, les poissons introduits dans les lacs d'altitude deviennent souvent invasifs et modifient radicalement les chaînes alimentaires, causant le déclin d'espèces d'amphibiens notamment, et modifiant également les conditions environnementales (voir Schmeller et al., 2022). Les lacs et autres milieux aquatiques sont également parmi les écosystèmes de montagne particulièrement affectés par la pollution (ex. Schmeller et al., 2022) qui s'accumule notamment en raison de phénomènes climatiques mais également sous forme de

déchets abandonnés. Si la surexploitation des écosystèmes, et notamment des forêts ainsi que des plantes médicinales dans des régions telles que l'Himalaya (ex. Payne, Snethlage, et al., 2020) est également un facteur déterminant pour les écosystèmes de montagne, les changements climatiques restent le facteur le plus médiatisé et le mieux étudié, même si d'autres facteurs tels que l'utilisation du sol semblent davantage déterminer la trajectoire des écosystèmes et des espèces de montagne en dessous de la limite de la forêt (Payne, Snethlage, et al., 2020). En montagne, les changements climatiques se traduisent par une augmentation des températures, par des précipitations de plus en plus incertaines, par une fréquence d'événements extrêmes (tels que vagues de chaleur et inondations) en augmentation, ainsi que par un prolongement des périodes sèches et chaudes.

Bien que constatée de manière générale, l'augmentation des températures, notamment, varie en fonction des régions, et est typiquement plus marquée dans des massifs montagneux largement recouverts de neige et de glace tels que les Alpes ou l'Himalaya (voir Adler et al., 2022). Selon les scénarios à l'échelle globale, les augmentations de température vont se poursuivre pour atteindre au minimum 3 à 5°C d'ici la fin du siècle (voir Adler et al., 2022). Les implications de ces changements (ex. Knight, 2022) sont un recul du permafrost et la fonte des glaciers, un enneigement en baisse, des sols exposés à l'assèchement et déstabilisés, mais également une augmentation de la fréquence des incendies. Les conséquences des changements globaux sur les espèces sont multiples et complexes. Celles des changements climatiques et de leurs implications sont principalement (voir Urbach et al., 2024) la migration verticale des espèces ainsi que de la limite de la forêt, une modification de l'abondance des espèces ainsi que de la composition des communautés, une diminution des aires de distribution des espèces, la disparition de certaines espèces, et une évolution des cycles saisonniers accompagnée

d'un allongement des saisons, de printemps plus précoces, et de décalages entre espèces prédatrices et prédatée.

Les services écosystémiques

Au-delà de leur valeur intrinsèque, les espèces de montagnes remplissent de nombreuses fonctions écosystémiques et sont à la base de (voir Urbach et al., 2024) et même intimement liées à (Rey et al., 2023) de nombreux services écosystémiques, i.e. de services rendus à l'espèce humaine par les écosystèmes. À l'échelle locale, les espèces de montagne sont souvent indispensables (Payne, Spehn, et al., 2020) comme source de matériaux de construction, d'énergie, de médicaments et d'alimentation. Sur le mont Kilimandjaro par exemple (voir Urbach et al., 2024), comme dans nombre d'autres régions dans l'hémisphère sud principalement, la population dépend des forêts de montagne riches en espèces pour l'approvisionnement en bois de feu et en produits médicinaux. Par ailleurs, les espèces de montagne sont également indispensables pour sécuriser les infrastructures et zones construites grâce à la stabilisation des pentes. En Suisse comme ailleurs, l'importance des forêts de montagne dans leur fonction de protection contre les dangers naturels (avalanches, glissements de terrain) est immense. En stabilisant les sols et en les recouvrant, une grande diversité d'espèces de montagne et divers types de couvertures terrestres contribuent en outre à la protection des bassins versants et sont donc essentiels pour garantir la propreté de l'eau de montagne dont dépendent plus d'1,5 milliard de personnes dans le monde (Viviroli et al., 2020). Au-delà de ces services «matériels» et «régulateurs» – les écosystèmes de montagne jouant également un rôle important dans le stockage de carbone – on attribue également aux espèces et écosystèmes de montagne de nombreux services «immatériels» ou culturels, tels que possibilités récréatives, plaisir esthétique du paysage, ou source d'inspiration et de spiritualité. À l'échelle de la Suisse,

les régions et écosystèmes de montagne sont d'une grande importance, notamment pour l'approvisionnement en eau et les services de protection contre les dangers naturels (Külling et al., 2024).

Les effets des changements globaux sur les espèces de montagne se répercutent sur les écosystèmes et sur leur capacité à fournir ces services qui s'avèrent essentiels au bien-être humain non seulement dans les régions de montagne mais bien au-delà dans les plaines même éloignées. Face aux changements climatiques notamment, l'accès aux services matériels tels que l'approvisionnement en eau potable et l'alimentation, et aux services immatériels est en diminution dans de nombreuses régions de montagne et en particulier dans celles de pays en voie de développement (voir Urbach et al., 2024). Sur

la base de scénarios et de projections, cette diminution s'étendra dans le futur à nombre d'autres services et régions de montagne. Les projections pour les zones alpines d'Europe occidentale, par exemple, indiquent notamment une diminution constante de la régulation climatique et une stabilité ou un déclin de la beauté des paysages et des activités récréatives (voir Adler et al., 2022).

Conserver les écosystèmes et les espèces de montagne

Malgré l'importance des espèces de montagne comme pilier du développement durable (Payne, Spehn, et al., 2020) et bien que nombre de régions simultanément importantes pour leur biodiversité et pour les services écosystémiques qu'elles four-

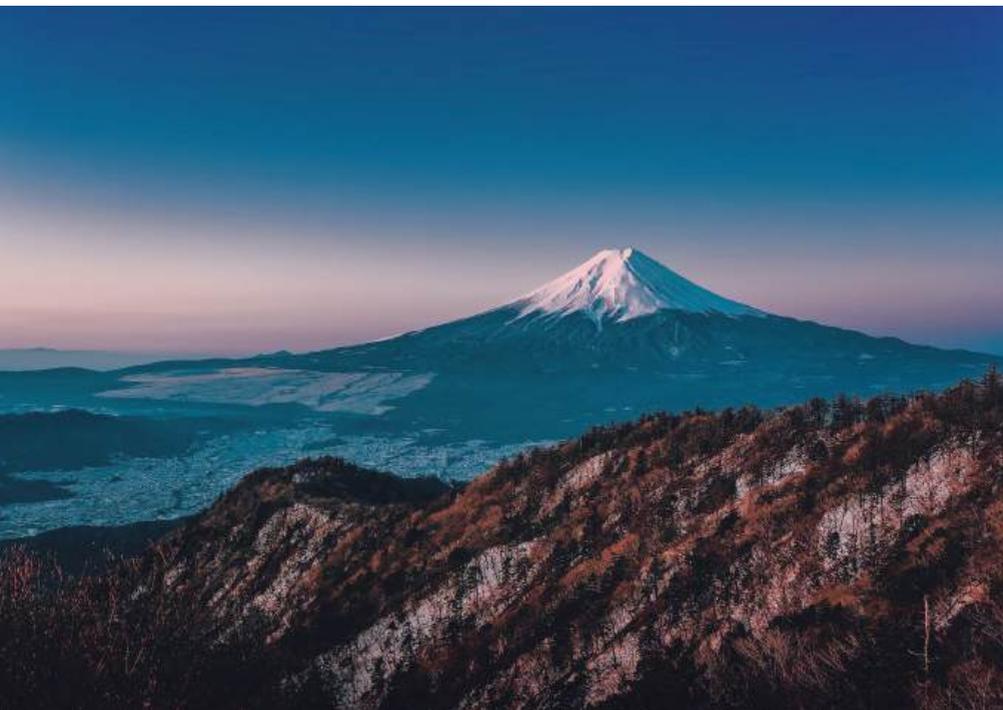


Illustration 4 : Les montagnes procurent de l'eau douce à plus de la moitié de l'humanité. Photo © Kanenori

nissent sont en montagne (Neugarten et al., 2024), les écosystèmes de montagne sont encore largement sous-protégés et nous ne sommes pas proches d'atteindre l'objectif d'«assurer la conservation des montagnes et de leurs écosystèmes, y compris leur biodiversité» énoncé dans l'Agenda 2030 des Nations Unies. En Suisse par exemple, les aires protégées ne couvrent que 35% des zones identifiées comme essentielles à la survie d'espèces de montagne, avec d'importantes variations par exemple entre les Préalpes bernoises et les Alpes tessinoises avec une couverture approximative de 30% et 63%, respectivement (Ly et al., 2023). Par ailleurs, les efforts actuels de conservation, notamment dans les Alpes européennes (Chauvier-Mendes et al., 2024), ne tiennent pas encore suffisamment compte des changements en cours et notamment de la migration altitudinale des espèces. L'absence d'objectifs spécifiques aux montagnes dans le cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal adopté en 2022, mais également dans nombre de cadres nationaux et régionaux, est une indication supplémentaire qu'un effort accru et urgent est nécessaire pour que nations et gouvernements s'engagent pour la protection et la restauration de leurs écosystèmes de montagne.

La tâche n'est pas impossible, notamment parce qu'en raison de la topographie des montagnes, chaque unité de surface protégée recèle un nombre disproportionnellement élevé d'espèces et de microhabitats. Mais un défi central pour la conservation et l'exploitation durable de la biodiversité et des écosystèmes de montagne est que les bénéfices associés à cette biodiversité, les coûts de sa conservation, et les facteurs humains à l'origine de son évolution contemporaine proviennent, reviennent, et sont portés par différents acteurs dans différents lieux. Ainsi, la gestion et la protection de la biodiversité sont généralement à la charge des acteurs et communautés locaux aux bénéfices de consommatrices et consommateurs externes (ex. tourisme). Résoudre cette inadéquation nécessite que les populations de montagnes

locales soient reconnues et valorisées dans les fonctions essentielles qu'elles remplissent pour la sauvegarde à long terme d'espèces et d'écosystèmes uniques au monde. Mais elle nécessite aussi une prise de conscience globale et individuelle de l'importance des espèces et écosystèmes de montagne pour l'humanité au sens large. Il est primordial que nous reconnaissons la valeur intrinsèque de ces écosystèmes et que nous cultivions un sens des responsabilités pour ces environnements (Payne, Spehn, et al., 2020).

Références

- Adler, C., Wester, P., Bhatt, I., Huggel, C., Insarov, G., Morecroft, M., Muccione, V., Prakash, A., Alcántara-Ayala, I., Allen, S. K., Bader, M., Bigler, S., Camac, J., Chakraborty, R., Sanchez, A. C., Cuvil, N., Drenkhan, F., Hussain, A., Maharjan, A., ... Werners, S. (2022). Cross-Chapter Paper 5: Mountains. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2273–2318. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.022>
- Chauvier-Mendes, Y., Pollock, L. J., Verburg, P. H., Karger, D. N., Pellissier, L., Lavergne, S., Zimmermann, N. E., & Thuiller, W. (2024). Transnational conservation to anticipate future plant shifts in Europe. *Nature Ecology & Evolution*, 8(3), 454–466. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02287-3>
- Knight, J. (2022). Scientists' warning of the impacts of climate change on mountains. *PeerJ*, 10, e14253. <https://doi.org/10.7717/peerj.14253>
- Körner, C., Jetz, W., Paulsen, J., Payne, D., Rudmann-Maurer, K., & Spehn, E. M. (2017). A global inventory of mountains for bio-geographical applications. *Alpine Botany*, 127(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00035-016-0182-6>
- Külling, N., Adde, A., Lambiel, A., Wicki, S., Guisan, A., Grêt-Regamey, A., & Lehmann, A. (2024). Nature's contributions to people and biodiversity mapping in Switzerland:

Spatial patterns and environmental drivers. *Ecological Indicators*, 163, 112079. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112079>

Ly, A., Geschke, J., Snethlage, M. A., Stauffer, K. L., Nussbaumer, J., Schweizer, D., Diffenbaugh, N. S., Fischer, M., & Urbach, D. (2023). Subnational biodiversity reporting metrics for mountain ecosystems. *Nature Sustainability*, 6(12), 1547–1551. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01232-3>

Neugarten, R. A., Chaplin-Kramer, R., Sharp, R. P., Schuster, R., Strimas-Mackey, M., Roehrdanz, P. R., Mulligan, M., van Soesbergen, A., Hole, D., Kennedy, C. M., Oakleaf, J. R., Johnson, J. A., Kiesecker, J., Polasky, S., Hanson, J. O., & Rodewald, A. D. (2024). Mapping the planet's critical areas for biodiversity and nature's contributions to people. *Nature Communications*, 15(1), 261. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43832-9>

Payne, D., Snethlage, M., Geschke, J., Spehn, E. M., & Fischer, M. (2020). Nature and people in the Andes, East African Mountains, European Alps, and Hindu Kush–Himalaya: Current research and future directions. *Mountain Research and Development*, 40(2). <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-19-00075.1>

Payne, D., Spehn, E. M., Prescott, G. W., Geschke, J., Snethlage, M. A., & Fischer, M. (2020). Mountain biodiversity is central to sustainable development in mountains and beyond. *One Earth*, 3(5), 530–533. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.013>

Rey, P.-L., Vittoz, P., Petitpierre, B., Adde, A., & Guisan, A. (2023). Linking plant and vertebrate species to Nature's Contributions to People in the Swiss Alps. *Scientific Reports*, 13(1), 7312. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34236-2>

Schmeller, D. S., Urbach, D., Bates, K.,

Catalan, J., Cogălniceanu, D., Fisher, M. C., Friesen, J., Füreder, L., Gaube, V., Haver, M., Jacobsen, D., Le Roux, G., Lin, Y. P., Loyau, A., Machate, O., Mayer, A., Palomo, I., Plutzer, C., Sentenac, H., ... Ripple, W. J. (2022). Scientists' warning of threats to mountains. *Science of The Total Environment*, 853, 158611. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.158611>

Snethlage, M. A., Geschke, J., Ranipeta, A., Jetz, W., Yoccoz, N. G., Körner, C., Spehn, E. M., Fischer, M., & Urbach, D. (2022). A hierarchical inventory of the world's mountains for global comparative mountain science. *Scientific Data*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01256-y>

Urbach, D., Körner, C., & Hilpold, A. (2024). Mountain biodiversity under change. In *Safeguarding mountain social-ecological systems* (pp. 11–15). Elsevier.

Viviroli, D., Kumm, M., Meybeck, M., Kallio, M., & Wada, Y. (2020). Increasing dependence of lowland populations on mountain water resources. *Nature Sustainability*, 3(11), 917–928. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0559-9>

Von Büren, R., Gregori, S., Urbach, D., Wipf, S., & Alexander, J. (2023). Erfahrung mit sich ausbreitenden Arten in Schweizer Bergregionen. *N+L Inside*, 3/23.

Pour de plus amples informations et une liste plus détaillée de références :

davnah.urbach@unibe.ch
<https://www.gmba.unibe.ch>

L'usage durable de l'eau : le droit à l'épreuve des changements environnementaux

Thierry Largey

Professeur associé de droit administratif au Centre de droit public de l'Université de Lausanne



Illustration 1 : L'eau constitue un élément matériel de l'environnement naturel qui, mis en relation avec un système artificiel (barrage et turbine hydroélectrique par exemple) ou naturel (un cours d'eau notamment) produit des biens et des services propres à satisfaire les besoins de l'être humain (électricité, poissons, etc.) ou d'autres êtres vivants (biotope pour la faune aquatique). Photo : Grande-Dixence © Daniel Reust

La conservation durable et l'utilisation rationnelle des ressources en eau supposent que les rivalités d'usage les concernant soient résolues suffisamment tôt, à une échelle fonctionnelle. L'enjeu est d'éviter que les rivalités ne muent en conflits d'usage. Dans une contribution parue dans la revue Jusletter, l'auteur postule que, pour y parvenir, une approche ressourcielle, inclusive, participative et équitable s'impose – de même que la reconnaissance d'un droit fondamental à l'eau.

La gestion intégrée des eaux ne peut plus ignorer la nécessité d'inclure une dimension temporelle, y compris au sein de l'appareil juridique. Ce dernier doit être apte à absorber les incertitudes dues aux changements environnementaux dans l'écoulement du temps. Tel est notamment le cas lors de l'octroi de concessions hydroélectrique pour plusieurs décennies. L'auteur examine l'intégration de la dynamique évolutive de l'environnement dans la régulation et la gouvernance des droits d'eau, en recourant à des instruments juridiques de flexibilité adaptative.

Le texte intégral de la contribution est paru dans la Jusletter du 5 août 2024 (www.jusletter.ch)

<https://applicationspub.unil.ch/interpub/noauth/php/Un/UnPers.php?PerNum=920394&LanCode=37&menu=pup>

Laure-Emmanuelle Perret : experte de la technologie solaire et de l'innovation durable

Laure-Emmanuelle Perret est une figure emblématique de la recherche et de l'innovation dans le domaine des énergies renouvelables. Docteure en chimie, la neuchâteloise a consacré sa carrière à l'intégration des technologies solaires dans l'architecture et la rénovation énergétique. Fondatrice et directrice de LMNT Consultancy, elle guide les entreprises, les villes et cantons vers une transition énergétique durable. En tant que membre fondatrice de l'association Compáz, elle œuvre pour une approche interdisciplinaire alliant sciences, arts et société pour construire un avenir respectueux de l'environnement.

Son parcours professionnel est marqué par des contributions significatives à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et au Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM), où elle a dirigé le développement de panneaux photovoltaïques innovants, tels que des modèles colorés ou imprimés, intégrables à l'architecture urbaine. Son engagement ne se limite pas à la recherche; elle est également active dans plusieurs conseils d'administration, dont le Groupe-e et Migros MNF, et continue à influencer le domaine en tant qu'entrepreneure.



CV

- 1976 Naissance
- 2004 Obtention de son doctorat en chimie à l'Université de Fribourg
- 2009 Cheffe de groupe au PVLab de l'EPFL dans l'équipe de Christophe Ballif.
- 2013 Cheffe de secteur au PVcentre du CSEM
- 2018 Co-fondatrice de l'Association Compáz
- 2018 Fondatrice et directrice de LMNT consultancy Sàrl
- 2019 Co-fondatrice de Bettering Academy Sàrl
- 2024 Co-fondatrice de LightSeeds SA

En tant que membre fondatrice de l'association Compáz, vous avez une approche interdisciplinaire pour résoudre les problèmes environnementaux. Comment les arts et les sciences humaines peuvent-ils contribuer à une meilleure acceptation et intégration des technologies solaires ?

Pour répondre à la question sur le rôle des arts et des sciences humaines dans l'acceptation et l'intégration des technologies

solaires, l'approche de Compáz illustre parfaitement comment ces disciplines peuvent contribuer à cette mission. Chez Compáz, nous pensons que l'art et la science partagent un objectif commun: explorer et comprendre le monde. Cette approche permet de créer des ponts entre les technologies, comme l'énergie solaire, et la société, en les rendant plus accessibles et compréhensibles.

Par exemple, à travers des projets comme "Watt is Art", nous avons démontré que les panneaux solaires peuvent devenir des œuvres artistiques, ce qui aide à dépasser les préjugés sur l'aspect technique des technologies solaires. Cela permet aux architectes et urbanistes de les percevoir comme des éléments de design qui peuvent aussi remplir des fonctions énergétiques. En parallèle, les sciences humaines aident à comprendre les dynamiques sociales et culturelles, ce qui est crucial pour concevoir des solutions adaptées aux besoins des communautés locales et pour favoriser le changement.

Avec Compáz, vous avez déjà mené une dizaine de projets mêlant art et solaire. Avez-vous un coup de cœur particulier pour l'un d'eux? Pourriez-vous nous le présenter brièvement?

Un de mes projets coups de cœur est *Figli del Sole* [Les enfants du soleil], qui repré-

sente parfaitement la manière dont les arts et les sciences humaines peuvent contribuer à une meilleure acceptation et intégration des technologies solaires. Ce projet, situé en Sicile, intègre des portraits photographiques des habitant-e-s d'Oliveri sur des panneaux photovoltaïques, transformant ainsi une technologie souvent perçue comme purement fonctionnelle en une œuvre d'art accessible à toutes et tous.

Le projet met en lumière comment l'art peut rendre les technologies solaires plus tangibles et engageantes pour les communautés. En personnalisant ces panneaux avec des portraits et les histoires des habitants de Oliveri, *Figli del Sole* ne se contente pas de produire de l'énergie; il renforce également le lien social et l'appropriation des technologies par les habitants. C'est un exemple inspirant et une magnifique aventure humaine que nous avons pu partager.



Illustration 1 : Le projet de Compáz "Figli del Sole" est une exposition permanente de portraits de membres de la communauté d'Oliveri, en Sicile. Les photos sont intégrées à des panneaux photovoltaïques et exposées dans un parc public de la ville sicilienne de Messine. © Compáz

Vous êtes également la fondatrice de LMNT Consultancy, spécialisée dans l'intégration des énergies renouvelables. Quels sont les principaux défis auxquels les entreprises et les collectivités font face lorsqu'elles tentent d'intégrer le photovoltaïque dans leurs projets ?

Les entreprises et les collectivités rencontrent plusieurs défis dans ce cas de figure. Le premier est souvent la compréhension des différentes technologies disponibles et leur pertinence selon les conditions locales, qu'il s'agisse de l'ensoleillement, de l'espace disponible ou des contraintes architecturales. Ensuite, il y a les aspects financiers. Même si les coûts des installations photovoltaïques ont considérablement diminué, le financement initial reste un obstacle pour beaucoup, d'autant plus que les modèles de rentabilité à long terme peuvent varier en fonction des subventions et des incitations gouvernementales.

Un autre défi majeur est la gestion de l'interconnexion avec le réseau électrique existant. Les infrastructures doivent souvent être modernisées pour accueillir l'énergie solaire de manière efficace et éviter des problèmes de surtension ou de stabilité. Enfin,

il y a aussi la question des réglementations en constante évolution, qui peuvent varier d'une région à l'autre et compliquer la planification des projets. Notre rôle chez LMNT Consultancy est de guider nos clients à travers ces complexités et de leur proposer des solutions adaptées à leur contexte spécifique.

Votre travail avec le CSEM a conduit au développement de panneaux solaires colorés et intégrables dans l'architecture. Quels avantages ces technologies apportent-elles en termes de visibilité et d'acceptation des panneaux solaires ?

Le développement de ce type de panneaux, comme nous l'avons fait au CSEM ces dernières années, a marqué un véritable tournant pour l'acceptation et la visibilité des énergies renouvelables. Traditionnellement, les panneaux solaires étaient perçus comme des éléments techniques, parfois intrusifs, avec une apparence uniforme qui ne s'intégrait pas toujours harmonieusement dans l'architecture. Avec ces nouvelles technologies, nous offrons des solutions esthétiques qui se fondent dans l'environnement bâti, sans sacrifier la performance énergétique.

L'un des grands avantages est de permettre aux architectes et aux urbanistes de conce-



Illustration 2 : Le grand format final (1 x 1,7 m) ajoute à la puissance des images et offre une relation d'échelle intrigante entre chaque photographie et le public. L'installation est directement connectée au réseau électrique local. © Compáz

voir des bâtiments où les panneaux solaires ne sont plus simplement des ajouts fonctionnels, mais des éléments de design. Cela ouvre la porte à une adoption plus large, car les contraintes esthétiques sont souvent un frein à l'installation, notamment dans les centres urbains ou les zones protégées. Les panneaux colorés peuvent ainsi être utilisés dans des projets de réhabilitation ou de construction neuve, tout en respectant l'identité visuelle du lieu.

De plus, cette approche renforce la visibilité des énergies renouvelables en leur donnant une place plus valorisée dans l'espace public. En combinant design et technologie, nous contribuons à changer la perception du photovoltaïque, non plus comme un compromis, mais comme une véritable innovation en phase avec les défis contemporains, tant sur le plan écologique qu'architectural.

Que pensez-vous des parcs solaires dans les Alpes, notamment en termes d'impact environnemental et esthétique? Quelle est la meilleure façon d'équilibrer la production d'énergie et la préservation des paysages montagnards?

Les parcs solaires dans les Alpes soulèvent un débat légitime, car ils posent des questions importantes en termes d'impact environnemental notamment. D'un côté, il est crucial de résoudre la problématique de la production hivernale d'électricité, car les besoins énergétiques en cette période sont importants. Cependant, je pense que ces projets, bien que pertinents sur le fond, ne sont pas toujours réalistes en termes de coût et d'infrastructure. Installer des parcs solaires dans des zones vierges des Alpes aura un impact sur la biodiversité que nous nous devons de considérer avec la même urgence que notre transition énergétique.

En revanche, il y a des situations où ces projets peuvent avoir du sens, notamment dans des zones déjà aménagées, comme les stations de ski ou des endroits dotés d'infrastructures existantes. Ces sites sont déjà des environnements transformés par l'activité humaine et peuvent offrir des opportunités

pour le déploiement d'énergies renouvelables sans impacter de nouvelles zones naturelles. Cela permettrait de concilier production d'énergie et préservation des paysages.

Je crois fermement que la priorité devrait être donnée à l'exploitation du potentiel solaire des toitures, des façades et des zones urbanisées avant de se tourner vers des espaces naturels sensibles comme les montagnes. Nous avons encore un vaste potentiel inexploité en milieu urbain et semi-urbain. Il s'agit avant tout de trouver un équilibre entre la nécessaire transition énergétique et la préservation des écosystèmes, en veillant à minimiser notre empreinte sur les paysages montagnards, qui font partie de notre patrimoine commun.

Vous travaillez à la mise en lumière de technologies comme l'EPoG, ou 'Energy Positive Glazing', un type de verre multifonctionnel intégrant des cellules solaires, permettant de produire de l'énergie tout en remplissant des fonctions architecturales telles que l'isolation et la protection solaire. Cette technologie est déjà aboutie, fiable, peu coûteuse, et génératrice d'une énorme valeur ajoutée. Quels sont les principaux obstacles politiques et économiques identifiés qui freinent le déploiement à grande échelle des technologies EPoG?

Ces technologies représentent une avancée remarquable dans la manière dont nous pouvons intégrer les énergies renouvelables directement dans l'architecture. Ces panneaux offrent non seulement des performances énergétiques, mais remplissent également d'autres fonctions essentielles constructives dans le bâtiment.

Aujourd'hui, nous observons de plus en plus d'initiatives de la part des collectivités publiques pour encourager et faciliter l'intégration des technologies innovantes comme l'EPoG dans les projets de construction. Il y a une véritable prise de conscience du rôle crucial que ces solutions peuvent jouer dans la transition énergétique, et les réglementations évoluent

FEMMES ET ENVIRONNEMENT

dans ce sens. Les législations nationales et locales commencent à s'aligner davantage avec les objectifs de neutralité carbone, et plusieurs régions mettent en place des incitations pour accélérer l'adoption de ces technologies.

Les normes de construction, bien qu'encore perfectibles, tendent à évoluer pour mieux intégrer des solutions multifonctionnelles comme l'EPoG, qui permettent à la fois de produire de l'énergie et de répondre à des besoins architecturaux spécifiques. Ce changement est notamment porté par un engagement croissant de la part des pouvoirs publics et d'acteurs de la construction, qui reconnaissent le potentiel de ces innovations pour répondre aux défis climatiques tout en générant une véritable valeur ajoutée économique et environnementale.

Sur le plan économique, un des freins majeurs est l'accès au financement pour des projets à grande échelle. Bien que le coût

des technologies solaires ait fortement baissé ces dernières années, les investisseurs et promoteurs immobiliers peuvent encore être réticents à adopter ces solutions en raison du manque de visibilité à long terme sur les incitations fiscales et les subventions. La stabilité des politiques d'aides est essentielle pour encourager les investissements. De plus, la sensibilisation des acteurs du secteur de la construction et de l'immobilier aux avantages de cette technologie doit encore être renforcée.

Comment les architectes pourraient intégrer efficacement les technologies solaires comme l'EPoG dès la phase de conception d'un bâtiment? Quels changements de formation ou de sensibilisation sont nécessaires pour les préparer à cette tâche?

Les architectes peuvent intégrer efficacement des technologies solaires comme l'EPoG en les considérant non seulement



Illustration 3 : Les panneaux sont disposés de manière à suivre la trajectoire du soleil au cours d'une journée, du lever au coucher du soleil. Ils sont accompagnés de plaques métalliques encastrées dans le sol qui fonctionnent comme un immense cadran solaire. Elles illustrent précisément l'endroit où l'ombre est projetée par chacun des panneaux lors de son exposition maximale au soleil au solstice d'été. © Compáz

comme des solutions énergétiques, mais aussi comme des éléments de design et de construction à part entière. En incluant ces technologies dans les premières étapes de la planification, il est possible d'optimiser l'impact esthétique et fonctionnel, en maximisant les performances énergétiques.

Les programmes de formation des architectes devraient intégrer des modules sur les solutions solaires et les systèmes énergétiques durables, tout en encourageant des collaborations avec des ingénieurs spécialisés dès le début des projets. Une meilleure compréhension des cadres réglementaires, des subventions et des normes en matière de bâtiments à énergie positive permettrait également d'assurer une adoption plus fluide de ces technologies dans les projets de construction futurs. Ces notions devraient être enseignées dès le début des études, ce n'est pas le cas aujourd'hui.

Avec la montée en puissance des énergies renouvelables, quelles sont, selon vous, les prochaines grandes innovations dans le domaine du photovoltaïque qui pourraient transformer notre manière de consommer l'énergie ?

L'essor des solutions de stockage d'énergie, comme les batteries à longue durée de vie, est essentiel pour une consommation plus flexible et décentralisée de l'énergie solaire, particulièrement en lien avec la mobilité électrique. Les véhicules électriques, en tant que moyens de transport et unités de stockage mobile, permettent non seulement de consommer l'énergie produite localement, mais aussi de la réinjecter dans le réseau ou de l'utiliser pour alimenter les bâtiments.

En tant que scientifique et entrepreneuse, comment abordez-vous les défis éthiques et sociétaux liés à la technologie ? Pensez-vous que les préoccupations éthiques devraient jouer un rôle plus important dans le développement technologique ?

Ce qui est essentiel pour moi, en tant que scientifique et entrepreneuse, c'est d'aborder les défis éthiques et sociétaux de manière

interdisciplinaire et responsable, en impliquant toutes les parties prenantes. Plutôt que de suivre une logique de "technologie push", où la technologie est imposée, je crois en une approche de co-création où la technologie est développée en étroite collaboration avec ceux qui seront directement concernés : les utilisateurs, les communautés, les décideurs, et surtout les générations futures.

Il est primordial de se poser les bonnes questions dès le début d'un projet technologique, en intégrant des perspectives variées pour évaluer les impacts sociaux, environnementaux, et économiques. Cela permet de s'assurer que les solutions que nous développons ne répondent pas seulement à des besoins immédiats, mais qu'elles sont véritablement au service de la société dans son ensemble, en apportant des bénéfices durables et équitables pour tous.

Vous avez une riche expérience dans le conseil stratégique et l'innovation. Quelle est votre vision pour l'avenir de l'énergie solaire dans les prochaines décennies, et comment voyez-vous votre rôle évoluer dans ce contexte ?

L'énergie solaire a un avenir prometteur et jouera un rôle central dans la transition énergétique mondiale au cours des prochaines années. Je vois son développement comme une combinaison d'innovations technologiques, de nouveaux modèles économiques et d'une intégration toujours plus poussée dans notre quotidien, que ce soit dans les bâtiments, les infrastructures de transport, ou encore les objets de consommation courante.

Mon rôle dans ce contexte est en train d'évoluer vers une approche encore plus interdisciplinaire, où la collaboration avec des expert-e-s de divers secteurs est essentielle pour co-créer des solutions innovantes et durables. Mon objectif est de continuer à soutenir et à conseiller les entreprises, les collectivités, et les gouvernements dans l'adoption de technologies solaires innovantes tout en veillant à ce que leur mise en œuvre se fasse dans le respect des enjeux sociaux, économiques et environnementaux.



Le regard de Margaux

Le Machaon

Nom vernaculaire: Papillio Machaon

Famille: Nymphalidés

Statut migratoire: Migrateur partiel. S'il fait partie d'une lignée génétiquement programmée à migrer, il peut parcourir des centaines de kilomètres vers les pays du Sud.

Description: 3 à 9 cm de long et de 5 à 9 cm d'envergure

Habitat et répartition: En basse altitude, le machaon se trouve dans les prairies sauvages et éventuellement en ville sur les buddléias (l'arbre à papillons). En montagne, il peut y demeurer jusqu'à 2000 m. En dehors de la Suisse, il est pos-

sible d'observer cette espèce dans la plupart des pays Européens, en Asie, en Afrique du Nord et en Amérique du Sud.

Période hivernale: Durant leur période d'hivernation, les machaons se réfugient dans les murs de pierres, sous les toitures ou dans les souches d'arbres. Cette phase de repos, connue sous le nom de diapause, est essentielle à leur survie. Pour y parvenir, ces papillons doivent avoir accumulé suffisamment de réserves alimentaires au cours des mois d'août et de septembre.

Reproduction: La période de reproduction s'étend de juin à septembre, avec trois générations successives par an. Après l'accouplement, qui s'accompagne de figures aériennes complexes, la femelle dépose ses œufs tandis que le mâle, amorçant un déclin progressif, meurt peu de temps après. Les œufs éclosent au bout de huit jours. La femelle atteint sa maturité sexuelle dès l'émergence, tandis que le mâle doit attendre environ trois jours avant d'être prêt à s'accoupler.





Cycle de vie : À sa naissance, la chenille du machaon consomme d'abord le chorion, c'est-à-dire l'enveloppe de l'œuf, avant de commencer à se nourrir de sa plante-hôte, généralement une de ses plantes nourricières. Cette alimentation lui permet de croître pendant environ six semaines, période durant laquelle elle passe par cinq stades de développement. À chaque stade, elle mue et ingère son exuvie, ou ancienne peau. Une fois son développement achevé, la chenille s'empresse de débiter sa métamorphose sur une autre plante-hôte, où elle tisse une ceinture de soie destinée à la maintenir en place.

Plantes nourricières : Les plantes les plus couramment appréciées par le machaon incluent le fenouil sauvage, la carotte sauvage, l'égopode podagraire, le peucedan des marais, le laser à larges feuilles, le grand boucage, la fraxinelle et le cerfeuil des Alpes. Toutefois, s'il rencontre des apiacées ou des ombellifères similaires, il s'en accommode facilement, car il est capable de se nourrir de plus de quarante espèces de plantes au cours de son existence.

Degré de menace : Globalement, le machaon n'est pas considéré comme une espèce menacée. Toutefois, il est confronté à des menaces localisées dues à certaines activités humaines, telles que la destruction des habitats naturels, l'utilisation de pesticides, l'urbanisation et l'agriculture intensive, qui réduisent les habitats disponibles. En outre, le changement climatique, avec l'augmentation des températures et les variations des conditions météorologiques, affecte le cycle de vie et la répartition des papillons. Les modifications des habitats naturels et les perturbations dans les périodes de reproduction et de migration rendent l'adaptation des machaons plus difficile. Certains papillons doivent migrer vers des zones plus fraîches pour survivre, mais tous ne peuvent pas s'adapter à ces changements, ce qui entraîne un déclin des populations et des extinctions locales. Pour atténuer ces menaces et préserver les populations de machaons, il est essentiel de sensibiliser le public et de mettre en œuvre des mesures de conservation de l'environnement.



Margaux da Costa – Photographe lépidologiste amatrice

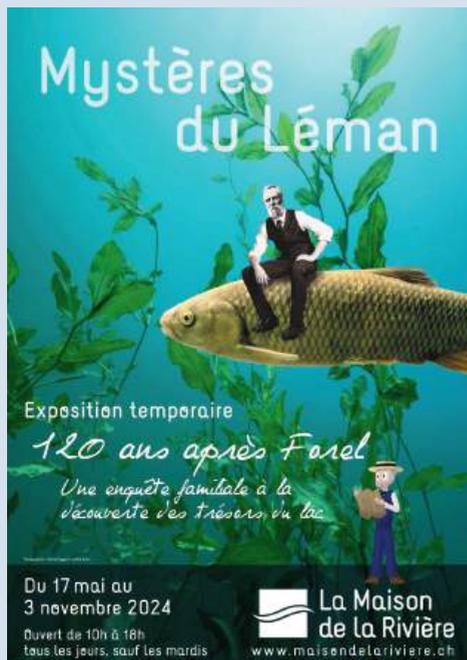
Bibliographie :

- Guide des papillons d'Europe ; série Guide du naturaliste – Delachaux & Niestlé
- Guide des papillons d'Europe ; édition WWF – Delachaux & Niestlé

Sources :

- lamaisondupapillon.org/liste/elevage-papillon-machaon/
- chenilles.net/machaon/
- boutiquepapillon.fr/blogs/blog-papillon/papillon-machaon-tout-savoir-sur-cet-insecte/

Mystères du Léman – 120 ans après Forel : une plongée interactive dans le passé et le futur du Léman



Le Léman, plus grand lac alpin d'Europe, est bien plus qu'un simple plan d'eau. Il constitue un écosystème riche et complexe qui suscite depuis des siècles la curiosité des scientifiques et des passionné-e-s de nature. Parmi ces "lémanophiles", François-Alphonse Forel, né à Morges en 1841, est reconnu comme le père de la limnologie, la science des lacs. Ses travaux pionniers ont posé les bases de la compréhension moderne de ce joyau lacustre, rassemblant dans une monographie monumentale de 14 chapitres et 1900 pages toutes les connaissances disponibles à l'époque.

Aujourd'hui, 120 ans après la parution du dernier tome de cette œuvre en 1904, La Maison de la Rivière, en partenariat avec la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL), l'Association pour la sauvegarde du Léman (ASL), et le Musée du Léman, nous invite à une exploration inédite de cet environnement aquatique à travers l'exposition temporaire «Mystères du Léman – 120 ans après Forel».

Cette exposition, qui se tient jusqu'au 3 novembre 2024, offre une occasion unique de découvrir l'évolution du Léman depuis les études de Forel. En effet, le public est invité à enquêter scientifiquement et à plonger dans l'histoire et l'état actuel du lac grâce à une série d'activités ludiques et interactives. Les plus jeunes découvrent l'évolution des rives au fil du temps, analysent la qualité de l'eau, et participent à des expériences telles que le brassage des eaux.

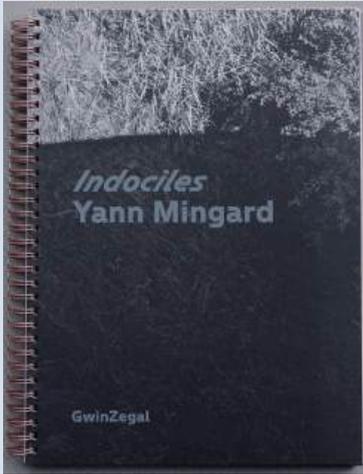
Au-delà de la simple observation, l'exposition aborde des enjeux environnementaux cruciaux, comme l'impact des changements climatiques, la gestion des ressources en eau, la prolifération d'algues, ou encore la menace des espèces envahissantes et des micropolluants. Grâce à des installations interactives et une vulgarisation accessible à toutes et tous, «Mystères du Léman» sensibilise à la fragilité de cet écosystème et aux défis à venir pour sa préservation.

La Maison de la Rivière : un lieu dédié à l'étude des milieux aquatiques

L'exposition se déroule à La Maison de la Rivière à Tolochenaz, un centre dédié à l'étude, à la protection et à la valorisation des écosystèmes aquatiques. Créée en 2007, la fondation œuvre à sensibiliser le public et à promouvoir la recherche scientifique autour des milieux naturels. À travers ses expositions, elle offre une fenêtre sur les richesses naturelles de la région et encourage une meilleure compréhension et protection de ces environnements précieux.

Plus d'infos : www.maisondelariviere.ch

Livre : "Indociles" de Yann Mingard



"Indociles", remarquable ouvrage du photographe Yann Mingard, clôt avec perspicacité une trilogie axée sur l'Anthropocène. Ce dernier volet, ancré dans une exploration approfondie de la biologie et de l'écologie des plantes envahissantes, remet en question nos préjugés sur ces espèces souvent perçues comme nuisibles. Entre 2020 et 2023, l'artiste vaudois s'est penché sur les néophytes, ces végétaux globe-trotters favorisés par la globalisation, qui s'adaptent à des milieux altérés par l'industrialisation excessive et deviennent des indicateurs de la pollution industrielle.

À travers son objectif, Yann Mingard ne les présente pas seulement comme des envahisseuses, mais plutôt comme des entités "indociles", dotées d'une capacité unique à prospérer dans des sols saturés de métaux lourds tels que l'arsenic, le baryum, le chrome ou le cadmium. Ces plantes, loin d'être de simples vecteurs

de l'effondrement de la biodiversité, émergent comme des survivantes dans des conditions extrêmes où d'autres espèces échouent.

Cette perspective inédite permet de leur conférer une nouvelle dimension, les détachant de leur étiquette d'exotiques ou d'indigènes et soulignant leur rôle écologique crucial. Avec une certaine poésie, Yann Mingard révèle leur capacité à assimiler, voire à stocker des substances toxiques, souvent mortelles pour d'autres organismes. Ces végétaux, à l'instar des chênes ou des tomates, transportés par les oiseaux, le vent ou les humains, témoignent d'une histoire de migration et d'adaptation continue.

"Indociles" réaffirme qu'en dépit des perturbations anthropiques, la nature manifeste une résilience et une adaptabilité surprenantes, offrant ainsi des pistes pour repenser nos interactions avec les écosystèmes. En documentant ces dynamiques, son auteur nous invite à voir ces plantes non pas comme des anomalies, mais comme des témoins et acteurs clés de notre époque Anthropocène.

Horticulteur de formation, Yann Mingard intègre ses connaissances des plantes à sa pratique photographique, enrichissant ainsi notre compréhension de l'impact environnemental humain et proposant une vision renouvelée de notre cohabitation avec le monde végétal.

Indociles : 21 x 28cm, 168 pages

Novembre 2023, Editions GwinZegal, Textes de Urs Stahel et Jérôme Sother

Plus d'infos : www.yannmingard.ch



Construire en terre

Roman Schirmer & Sten Rettby

Architecte et ingénieur civil, membres du comité de la SIA Vaud

La terre, un matériau de construction traditionnel avec une très longue histoire, est aussi connue pour les qualités qu'elle peut apporter à nos habitations. C'est en effet un matériau qui garantit le confort en contribuant à un environnement sain.

A l'heure actuelle, l'urgence d'agir face au réchauffement climatique et la nécessité d'adopter une façon de vivre plus économe en ressources et en énergie, réveillent l'intérêt pour des matériaux à faible impact environnemental. Parmi les nombreux matériaux biosourcés, la pierre, le bois et la terre ressortent comme les principaux matériaux structurels qui peuvent représenter une proportion importante de la masse d'un bâtiment et donc, sensiblement influencer son bilan écologique.

La terre, un matériau de construction traditionnel avec une très longue histoire, est aussi connue pour les qualités qu'elle peut apporter à nos habitations. C'est en effet un matériau qui garantit le confort en contribuant à un environnement sain à travers sa capacité de régulation de la température, de l'hygrométrie et de la qualité de l'air. Elle est utilisée entre autres dans des contextes où la qualité de l'air est particulièrement importante, par exemple les hôpitaux. Ainsi, à l'hôpital universitaire de l'enfance bâlois, le UKBB, les plafonds des chambres sont réalisés en enduit de terre. (Zelouf, 2013 p. 5) Il en est de même au Triemli Spital à Zürich qui est équipé de plafonds chauffants/refroidissants en terre crue. (Hettenbach, 2010 p. 4)

Malgré ses qualités, avec le développement de l'industrie du ciment et de la terre cuite, la terre crue qui auparavant a certainement été l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans toute l'Europe, est tombée

en disgrâce. Elle a été associée à la précarité et à la pauvreté, considérée comme fragile, peu solide et peu pérenne.

Cependant, l'histoire nous démontre qu'il s'agit d'un matériau capable de résister à l'épreuve du temps. Certaines constructions millénaires que l'on peut toujours admirer, en témoignent. Les voûtes de la tombe de Medou-Nefer à Dakhla, dans l'Égypte actuelle, construites en partie en briques de terre crue, il y a environ 4'500 ans, en présentent un exemple. Dans nos climats plus tempérés et humides, l'histoire ne nous a pas transmis des bâtisses aussi anciennes, mais les exemples n'en sont pas moins nombreux. Quantité de bâtisses centenaires, habituellement érigées dans les campagnes, nous offrent les témoignages de la pérennité des constructions en terre.

L'éventail des techniques de construction s'étend des techniques massives, comme le pisé, la bauge ou la maçonnerie d'adobe, aux techniques mixtes, comme le torchis en remplissage d'ossatures bois. Elles se sont développées selon les régions, en fonction de la géologie et de la disponibilité d'autres ressources naturelles locales, notamment le bois ou la pierre.

Aujourd'hui, les sciences nous permettent de mieux apprécier et mettre en valeur les qualités de ce matériau. La terre trouve son application dans de nombreux procédés de construction modernisés. On voit également apparaître de plus en plus de techniques et

produits industriels qui tirent parti de ses qualités environnementales et de sa capacité de régulation du climat intérieur.

Domaines d'utilisation et performances

Grâce à la généralisation de la reconnaissance de ses qualités, l'emploi du matériau terre est en pleine expansion, notamment pour les travaux d'aménagement intérieur. Les maîtres d'ouvrage et concepteurs lui accordent d'ores et déjà une place autant dans le logement collectif que dans les équipements publics tel que les hôpitaux ou les écoles.

Mais, la terre peut également être utilisée en gros œuvre, soit directement pour constituer les structures porteuses, soit pour le

remplissage d'ossatures. Son emploi en tant que matériau structurel peut faire la différence au niveau du bilan écologique d'une construction.

Terre – matériau structurel

Les normes de dimensionnement des structures en terre crue ont longtemps été peu développées. Au niveau international, avant 2022, la réglementation limitait assez uniformément la hauteur des bâtiments en terre à un étage, bien qu'il existe des exemples historiques de bâtiments bien plus élevés.

On peut citer la ville yéménite de Shibam, avec ses bâtiments séculaires construits en terre crue, qui atteignent jusqu'à huit étages. Il existe également des exemples en Europe, comme les immeubles d'habitation



Illustration 1 : nouvelle école du Sacré-Cœur à Estavayer-le-Lac. Maçonnerie de terre crue en remplissage d'une ossature en béton armé. Architectes : Bart & Buchhofer ; Photo © Roman Schirmer



Illustration 2 : Skyline de Shibam, 1994 – Photo © Gudrun Schirmer, 2024

de cinq à six étages construits à Weilburg, en Allemagne. La ville compte plusieurs bâtiments de ce type, construits en pisé. De même, dans le quartier de la Croix-Rousse à Lyon, de nombreux immeubles d'habitation de cinq étages ou plus ont été construits en



Illustration 3 : Immeuble construit en pisé, habité depuis 1828, Weilburg a. d. Lahn. Photo © Gerold Rosenberg, CC BY-SA 3.0

pisé au XIX^e siècle. Ces bâtiments, généralement recouverts d'un enduit à la chaux et encore en parfait état, passent inaperçus.

Depuis 2022/2023, le cadre réglementaire a heureusement considérablement évolué. Il permet désormais d'envisager des bâtiments en BTC ou en pisé de plusieurs étages.

Pérennité des surfaces murales et des sols

Contrairement aux idées reçues, les éléments de construction en terre peuvent être solides, pérennes et d'un aspect soigné. On réalise par exemple des revêtements de sol en terre battue qu'on ne distinguerait pas, au premier regard, d'un béton ciré. Ces sols peuvent supporter des sollicitations assez élevées et sont relativement faciles à entretenir.

Suivant les formulations, les enduits de terre peuvent avoir un aspect soyeux et lisse. On les confondrait aisément avec des enduits plus courants, au plâtre ou à la chaux. Le matériau terre n'est donc pas nécessairement lié à une expression plus rustique.

Le confort et un bâti sain

Trois facteurs sont essentiels à la sensation de confort dans un bâtiment : la température, l'hygrométrie et la vitesse de l'air. Les matériaux utilisés influent notablement sur les deux premiers. La terre est réputée pour sa bonne capacité de régulation de la température et surtout pour ses excellentes capacités à maintenir des conditions d'humidité optimales.



Illustration 4 : sol en terre battue, Kapelle der Versöhnung, Berlin : un équipement public.
Architecte : Reitermann & Sassenroth ; Réalisation et photo : © Martin Rauch, 2024

La qualité de l'air intérieur joue un rôle important pour notre santé, notre bien-être et notre vitalité. Ici aussi, la terre peut offrir quelques avantages.

Le confort thermique

La régulation passive de la température dans une construction repose sur les deux principes de la limitation des échanges thermiques avec l'extérieur et de l'amortissement de la variation de la température à l'intérieur. Le premier est essentiellement assuré par l'isolation, tandis que le second s'appuie avant tout sur la capacité de la masse de la

construction à absorber et restituer de l'énergie, donc son inertie thermique.

Bien que l'on utilise la terre également pour l'isolation, en combinaison avec des agrégats légers d'origine végétale ou minérale, elle peut avant tout contribuer à l'inertie.

La capacité thermique volumique est la grandeur qui caractérise l'inertie. Pour des matériaux de construction à base de terre, elle est d'environ $0.5 \text{ kWh/m}^3\text{K}$, une valeur similaire à celle d'autres matériaux minéraux, tel que le béton ($0.7 \text{ kWh/m}^3\text{K}$). Cependant, comme les murs en terre présentent des épaisseurs bien plus importantes, la capacité thermique



Illustration 5 : coopérative d'habitation DomoHabitare à Sainte-Croix – Enduit de terre blanche. Architecte : Christian Jelk ; Photo : © Roman Schirmer, 2024

globale est sensiblement supérieure pour les constructions où la terre prédomine.

Par ailleurs, comparé au béton, la conductivité thermique de la terre est entre 3 et 5 fois plus faible. Le matériau isole mieux, ce qui se traduit par trois effets sensibles.

❶ L'inertie est plus forte, c'est-à-dire que la chaleur est restituée/absorbée plus lentement et plus longtemps par de la terre que par un béton. Lorsque le temps se refroidit et avec lui l'air apporté par l'extérieur, les murs restent chauds plus longtemps. La température de l'air intérieur est alors stabilisée grâce à cette inertie de la masse bâtie.

❷ La sensation de confort thermique dépend fortement de la température des parois. Ainsi, à condition d'être entouré de parois suffisamment chaudes, la sensation de confort est assurée pour une température de l'air plus basse. Inversement, on est plus tolérant vis-à-vis d'un air chaud si les parois sont fraîches.

❸ Une autre conséquence immédiate de la conductivité plus faible, est la sensation au toucher. La terre semble plus chaude qu'un béton qui absorbe notre chaleur corporelle plus vite et semble donc être plus froid.

Du point de vue de l'inertie, les constructions en terre sont donc de qualité comparable aux constructions massives en briques de terre cuite et à celles en pierre. Combiné à une isolation thermique efficace, le mur en terre peut offrir une bonne protection contre la surchauffe et contribuer au confort d'été.

Le plus grand pouvoir isolant du matériau lui confère un avantage par rapport à la pierre ou au béton. Les parements en contact avec les volumes habités peuvent être maintenus chauds et améliorent le confort en hiver. L'inertie amortit les variations diurnes-nocturnes et permet ainsi de tirer le meilleur profit des apports de chaleur irréguliers, tel que le rayonnement solaire ou le feu.

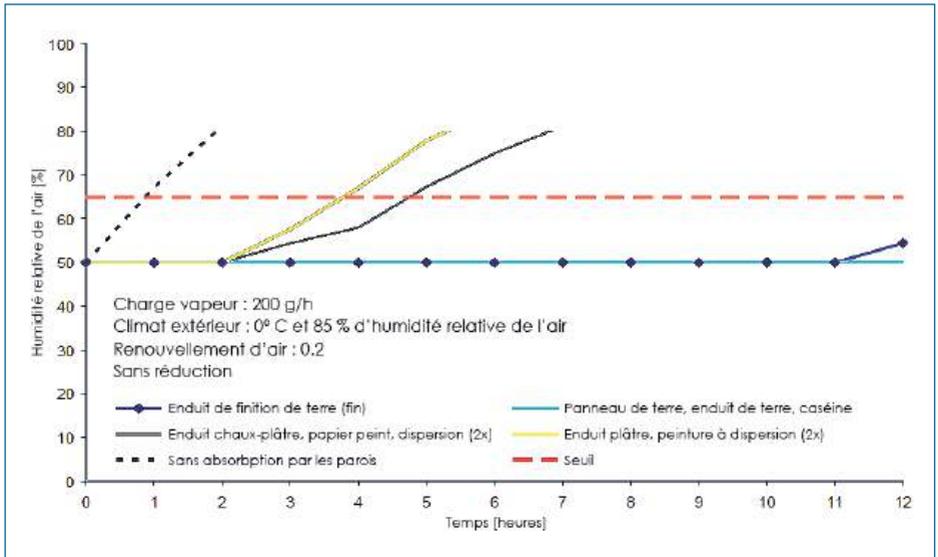
Régulation de l'humidité

La terre se différencie de la grande majorité des autres matériaux de construction par sa capacité d'emmagasiner et de restituer l'humidité de l'air. Son affinité avec l'eau est l'un de ses principaux atouts et, il faut le noter, aussi sa plus grande faiblesse. C'est en effet

un matériau sensible à l'eau, ce qui impose certaines précautions qui permettent de maîtriser les risques liés à une exposition excessive à l'eau libre.

À cet endroit, il est probablement opportun de revenir sur la notion d'humidité qui, dans le bâtiment, est souvent associée à des problèmes liés à sa mauvaise gestion. On ne doit pas perdre de vue que l'humidité naturelle est aussi nécessaire à la bonne conservation des matériaux que pour l'organisme humain lui-même.

Dans la planification, on doit donc considérer les mécanismes de régulation de l'humidité de l'air. Elle varie naturellement à l'extérieur avec la journée et la saison, mais aussi à l'intérieur, impactée par nos activités et équipements techniques. L'assèchement peut notamment être provoqué par certaines installations de climatisation et de chauffage. Des excédents peuvent être le résultat d'activités qui libèrent de la vapeur d'eau (bain, cuisine, rassemblement de personnes, etc.).



Évolution de l'humidité relative de l'air en fonction du revêtement mural, pour un apport constant de vapeur d'eau. Illustration issue de (Eckermann, et al., 2006 p. 9).

Les deux premiers centimètres de l'épaisseur d'une paroi en contact avec l'air sont ceux qui contribuent le plus activement à la régulation de l'humidité. La nature des revêtements peut donc avoir une incidence particulière. Comparée à d'autres matériaux minéraux, tel que les enduits de plâtre, de chaux ou de ciment, la terre s'avère plus performante. Selon Ziegert et Eckermann (Eckermann, et al., 2006), elle est capable d'absorber et restituer jusqu'au triple de la quantité d'eau pour réagir à la variation de l'humidité relative de l'air.

Eckermann & Ziegert comparent, pour différents revêtements muraux, l'évolution de l'humidité relative de l'air dans une pièce chargée avec une quantité de vapeur d'eau de plus en plus grande. Ils constatent qu'un enduit de terre, même de faible épaisseur, arrive à maintenir l'humidité constante pendant 11 heures, tandis qu'un enduit de plâtre peint ne la stabilise que pendant 2 heures. Pour un revêtement en terre plus épais, ce temps est supérieur à 12 heures.

En considération de la capacité de régulation thermique combinée à celle de réguler l'hygrométrie, on peut donc parler d'une « climatisation passive » (Eckermann, et al., 2006 p. 2).

Qualité de l'air

La terre en contact avec l'air intérieur peut contribuer de différentes façons à la qualité de l'air. D'abord, il s'agit d'un matériau qui n'émet pas de substances synthétiques nocives, tel que les COV (Composés Organiques Volatiles), « considérés comme la 1^{re} source de pollution des espaces habités » (OMS, 2021). Au-delà, il est admis qu'il est susceptible de réduire la concentration des polluants dans l'air, d'être favorable à sa bonne ionisation et défavorable au développement de moisissures.

Bien que ce ne soit pas prouvé de manière scientifique, on attribue à la terre la capacité de contribuer à la purification active de l'air, donc de lui soustraire des éléments nocifs ou odorants. Ainsi de nombreux-hes habi-

tant-e-s relatent d'un air « plus frais et libre d'odeurs » (Eckermann, et al., 2006 p. 2).

Certaines argiles sont effectivement utilisées dans le traitement industriel des eaux usées. On exploite leur « capacité d'échange de cations » (Eckermann, et al., 2006 p. 2) afin de retirer des substances nocives de l'eau. Dans l'argile, elles remplacent des particules non-nocifs qui sont en échange, libérées dans l'eau.

Au regard de leur capacité d'absorber et de restituer de grandes quantités d'eau, on peut admettre qu'un tel processus se produise également avec les substances hydrophiles véhiculées par l'air.

Un autre élément intéressant relève du fait que la terre ne présente pas de charges électrostatiques. Elle ne perturbe donc pas l'ionisation de l'air contrairement à la majorité des matières plastiques telles qu'elles interviennent dans la fabrication des moquettes synthétiques, des papiers peints acryliques ou encore des fenêtres PVC. Un rapport de 2013 (Eckert, et al., 2013) établi à la Haute École de Lucerne récapitule les recherches scientifiques qui ont été menées à propos des bienfaits de l'ionisation de l'air. Les résultats rapportés confirment son action positive sur l'organisme.

L'action antifongique des revêtements en terre repose également sur leur capacité de régulation de l'hygrométrie. L'adsorption de la vapeur d'eau permet de maintenir les surfaces sèches même si elles sont exposées à des taux d'humidité élevés pendant de longues périodes. Elles sont de ce fait moins propices au développement de moisissures que d'autres matériaux minéraux ou synthétiques.

Les enjeux environnementaux et financiers

Comme nous l'avons déjà évoqué, en plus des qualités que le matériau terre apporte à notre environnement direct, son utilisation peut être intéressante pour notre environnement au sens large, économiser des ressources non-renouvelables et de l'énergie.



Illustration 6 : École primaire de Riáz – Maçonnerie de terre crue en remplissage d'une ossature bois
Architectes : FAZ ; Photo : Roman Schirmer ; © 2024

Dans certains contextes, il peut aussi être intéressant sur le plan financier.

L'impact environnemental, la fabrication et le transport

L'impact environnemental des constructions en terre est potentiellement très bas. Il dépend essentiellement de trois facteurs. Les deux premiers sont liés à la fabrication, à savoir le mode de séchage et l'éventuelle stabilisation aux liants hydrauliques. Le troisième concerne le transport.

Pour donner des ordres de grandeur, un panneau préfabriqué en béton armé de 20 cm d'épaisseur demande une énergie primaire non renouvelable d'environ 275 kWh/m² pour sa fabrication et mise en place, hors transports sur le chantier.

Pendant sa durée de vie, de la fabrication à son recyclage, il est responsable du rejet d'environ 85 kg/m² de CO₂.

Une brique de terre crue, fabriquée manuellement avec un matériau extrait sur site et séchée naturellement, ne demande logiquement pas d'énergie primaire et ne cause aucun rejet de CO₂. Elle est donc parfaitement neutre en ce qui concerne son impact climatique. Comme de nos jours, la transformation des produits en terre est, elle aussi, en grande partie mécanisée, on consomme tout de même une certaine quantité d'énergie qu'il faut considérer.

Pour un mur en brique de terre crue non stabilisée, fabriquée industriellement et d'une épaisseur de 34 cm, on doit compter environ 130 kWh/m² pour la fabrication et la mise

en œuvre, et un rejet équivalent CO₂ de 15 kg/m². Ce mur en brique de terre crue demande donc environ deux fois moins d'énergie primaire et il cause presque six fois moins d'émissions de CO₂. En même temps, il offre une masse plus grande.

Ici, il faut noter qu'actuellement, on voit apparaître de nombreux produits de terre stabilisée au ciment. Le contenu en pourcentage de la masse varie de 5 à 10%. Il faut savoir qu'un béton courant comporte environ 15% de ciment. Ce dernier est le constituant qui présente de loin l'impact environnemental le plus grand. Ainsi, une terre stabilisée à 10% est déjà nettement moins performante, voire même moins avantageuse sur le plan de son impact climatique, qu'un béton. Cet aspect doit donc être examiné de près afin que la stabilisation ne soit employée que là où elle est vraiment nécessaire.

Valorisation des terres d'excavation

Le stockage des terres d'excavation représente un enjeu de taille pour tous les chantiers de construction. Les déblais représentent environ 90% des déchets urbains. On transporte parfois des terres par camion sur des centaines de kilomètres avant de trouver un lieu pour les mettre en dépôt, alors que ces matériaux ont une valeur et pourraient directement être utilisés pour la construction. Les outils pour la mise en place de circuits courts favorisant l'économie circulaire existent. Une grande partie des terres d'excavation pourraient ainsi être valorisées sur place sans être transportées.

Conclusion

Matériau ancestral dont les connaissances techniques sont quasiment tombées dans l'oubli, la terre doit être reconsidérée à plus forte raison.

En effet, l'utilisation de ce matériau trouvé à proximité nous offre une alternative écologique dont les performances, tant structurelles que sur le plan du confort, sont considérables.

Nous observons déjà une tendance vers la réintroduction de ces techniques. Les normes étant encore très restrictives, la multiplication des projets en terre crue permettra de nous réapproprier ce matériau et de mieux le réapprovisionner. La marge de progression est grande et l'avenir est prometteur.

Références

- Eckermann, Wulf et Ziegert, Christof. 2006. *Auswirkung von Lehmbaustoffen auf die Raumluftfeuchte*. Dresden: s.n., 2006.
- Eckert, Jan, et al. 2013. *Review zur Anwendung von ionisierter Luft im Innenraum*. Luzern: Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 2013.
- Hettenbach, Rainer. 2010. *Ökologisches Bauen mit Lehm und Stroh*. Basel: Webseite – Fachhochschule Nordwestschweiz – fhnw.ch, 2010.
- Mersch-Sundermann, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. habil. V. H. 2012. *Einfluss der Luftionisation durch IONIT®-Wandcreme auf Bioeffekte in humanen A549-Lungenzellen*. Freiburg im Breisgau: Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene – Universitätsklinikum Freiburg, 2012.
- Schroeder, Horst. 2010. *Lehmbau – Mit Lehm ökologisch planen und bauen*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010. p. 409.
- Walker, Pete, Klinge, Andrea et Roswag-Klinge, Eike. 2020. *Characterising the moisture buffering potential of clay plasters*. Berlin: Dachverband Lehm e.V., 2020.
- Zelouf, Michal. 2013. *Lehm – Ein nachhaltiger Baustoff*. Basel: s.n., 2013.



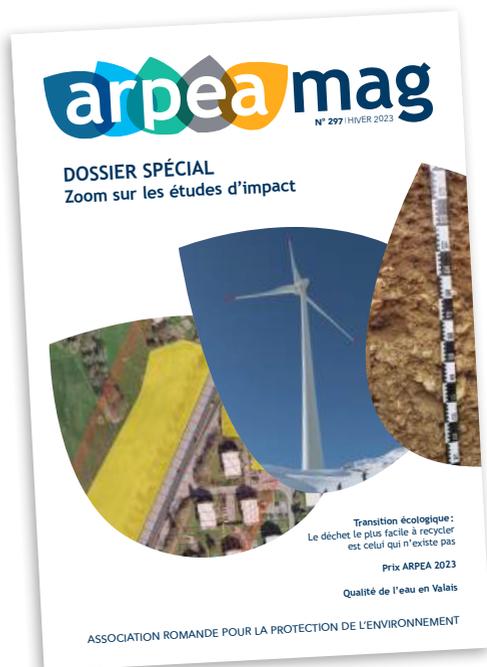
ASSOCIATION ROMANDE POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Devenez membre de l'ARPEA

Vous recevrez l'arpeamag quatre fois par an et aurez accès à sa version électronique. Vous pourrez également participer aux manifestations, journées techniques et séances d'information de l'ARPEA à des conditions avantageuses.

Mais surtout, en adhérant à notre association, vous contribuerez à soutenir les activités que nous entreprenons pour la défense de l'environnement.

Les ressources de l'ARPEA sont les cotisations de ses membres, la publicité paraissant dans sa revue, les dons et les legs (CCP 20-9084-7), et le produit de ses prestations.



Les cotisations annuelles comprennent l'arpeamag et s'élèvent à :

MEMBRES ÉTUDIANTE-S : Gratuit

MEMBRE INDIVIDUEL : CHF 80.–

MEMBRE INDIVIDUEL (SOUTIEN) : CHF 300.–

PETIT MEMBRE COLLECTIF : CHF 180.–*

GRAND MEMBRE COLLECTIF : CHF 300.–*

* La taille dépend du nombre d'employé-e-s (entreprise/organisation) ou d'habitant-e-s (communes).

Informations détaillées et adhésion sur www.arpea.ch

Image de couverture : Lausanne, © Claudio Schwarz

Imprimé sur Refutura, papier 100% recyclé, certifié FSC et Ange Bleu.

P.P.

CH-2000 Neuchâtel
Poste CH SA



ALPHA
WASSERTECHNIK

LES EAUX USÉES
NOTRE MÉTIER
NOTRE PASSION



Solutions sur mesure de filières complètes,
performantes et efficaces pour le traitement
des eaux usées municipales et industrielles.

- Conception et réalisation de STEP,
bassin d'eaux pluviales (BEP) ou STAP
- Modélisation 3D et BIM
- Soudure inox, montage, suivi de chantier
et mise en service
- Service après-vente

ALPHA WasserTechnik AG
Schlossstrasse 15
CH 2560 Nidau

+41 32 331 54 54
info@alphawt.ch
www.alphawt.ch

Une société fille de

membratec
O O O O O O O O GROUPE