

MAGAZINE DU WSL

# DIAGONALE

THÈME CENTRAL

# Fixes ou fluides: les frontières

N° 1  
23

**Substances**

**volatiles:** mesurer  
l'odeur de la forêt,  
p. 20

**Vignobles tessinois:**

des terres cultivées  
de grande valeur,  
p. 23

**Himalaya:**

des milliers  
de nouveaux lacs gla-  
ciaires en perspective,  
p. 29

## ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,  
Dans notre imaginaire humain, les frontières sont des lignes de démarcation bien définies, parfois même des barrières. Dans la nature, des limites aussi nettes sont extrêmement rares. Elles existent, par exemple dans la neige, mais sont généralement diffuses et fluides, comme lorsque l'eau rencontre la terre et que les deux éléments s'imbriquent l'un dans l'autre. Même la transition entre la forêt et la zone non boisée en montagne n'est pas une ligne clairement marquée.

Pourtant, nous avons une idée précise de ce qu'est une forêt, un champ, un village ou une ville. Entre ces types d'espaces, nous traçons souvent des frontières claires. Celles-ci peuvent se répercuter sur la nature: la forêt cède sans transition la place aux terres cultivées, la rivière s'écoule entre deux murs, et soudain, la nature connaît elle aussi des limites marquées.

Mais ne l'oublions pas: les frontières résultent souvent du fait que nous pensons en termes de catégories, et nombre d'entre elles naissent dans nos esprits. C'est ce qui ressort également de ce numéro de *DIAGONALE*. Et nous devons en être conscients – notamment pour pouvoir gérer judicieusement les limites.



Christoph Hegg  
Directeur adjoint du WSL



# Frontières



## PRÉCIEUSES ZONES DE CONTACT

Pourquoi les transitions entre les écosystèmes sont si importantes et ce que cachent les frontières nettes.

→ **2**



## AU-DELÀ DE LA FORÊT

La forêt de montagne s'étend, mais pas uniformément. Les scientifiques du SLF étudient les causes de ce phénomène.

→ **12**



## ESPÈCES SANS FRONTIÈRES

Des scientifiques du WSL élaborent des stratégies et des méthodes pour tenir en respect les espèces exotiques telles que l'ailante.

→ **14**



## REPÉRER LES LIMITES DANS LE MANTEAU NEIGEUX

Des chercheurs du SLF ont mis au point un appareil pour déterminer la densité et l'épaisseur des couches de neige. DIAGONALE les a accompagnés lors des essais.

→ **6**

### THÈMES-CLÉS


- 20** FORÊT
- 23** PAYSAGE
- 26** BIODIVERSITÉ
- 28** DANGERS NATURELS
- 32** NEIGE ET GLACE

### PORTRAITS

- 19** Valentin Moder, biologiste
- 31** Armanda Pitschi, informaticienne
- 34** Kasper Plattner, climatologue
- 35** IMPRESSUM, À L'HORIZON
- 36** LE SCHMILBLICK: Le drone nageur

ÉCOSYSTÈMES Dans la nature, les transitions entre les habitats sont fluides. Si elles sont nettes, c'est généralement du fait des activités humaines.

# Les frontières naissent dans nos têtes



Après l'introduction de la loi sur la police des forêts en 1876, le pâturage en forêt et le ramassage des feuilles mortes ont été progressivement interdits en Suisse. Ces sous-produits de la forêt n'étaient plus compatibles avec l'intensification de la production de bois.

Cette ligne nette entre les champs et la forêt est artificielle. Elle facilite une exploitation intensive des forêts et des champs jusqu'à leurs limites.



Une forêt clairement séparée des terres ouvertes plaît à de nombreuses personnes, car la lisière peut être utilisée plus facilement. Pour la biodiversité, les forêts étagées avec une zone de transition sont préférables, car de nombreuses espèces y trouvent habitat, protection et nourriture.

Stetten (canton de Schaffhouse)

Photo: Ulrich Weisem, WSL

Le contraste ne pourrait pas être plus marqué: d'un côté, un champ de blé à perte de vue, de l'autre, la haute muraille verte d'une forêt. Sur la carte topographique suisse, la ligne de démarcation entre forêt et espaces ouverts est tracée avec précision.

Or, cette frontière abrupte est loin d'être naturelle. Elle a été créée par les humains pour des raisons de rentabilité. «La loi sur la police des forêts de 1876 a posé les bases d'une professionnalisation de la sylviculture en Suisse», explique Matthias Bürgi, responsable de l'unité de recherche Dynamique des paysages au WSL et spécialiste de l'histoire des paysages. «La loi a réglementé les compétences et les conditions d'utilisation des terres.» Elle a permis à la sylviculture et à l'agriculture d'exploiter plus intensément leur espace. «C'est pourquoi les frontières nettes entre la forêt et les champs sont apparues d'abord dans les esprits, et ensuite aussi dans le paysage.»

Lorsque la transition entre les terres ouvertes et la forêt se fait naturellement, elle est nettement plus douce et fluide. Le champ est bordé d'un ourlet de graminées et de fleurs de prairie, suivi d'une ceinture de jeunes arbres et d'arbustes, et du manteau forestier composé d'arbres non exploités, vieillissants ou morts. Chacun de ces étages est imbriqué dans celui qui le jouxte. En outre, l'écotone, cette zone de transition entre deux écosystèmes, évolue constamment: en l'absence d'intervention, les buissons gagnent les espaces ouverts, qui finissent par se transformer en forêt, du moins en Europe centrale.

Dans une lisière naturelle comme celle-ci, la biodiversité est bien plus élevée qu'à l'intérieur de la forêt, comme l'a montré une étude du WSL

dans les années 1990: on y trouve environ quatre fois plus de plantes et deux fois plus d'insectes et d'araignées, du moins à proximité du sol. La raison en est que la lumière et l'ombre, la chaleur et le froid alternent dans un espace restreint. «Cette grande variété de conditions offre des habitats à des espèces aux exigences différentes», explique Martin Obrist, zoologiste et participant au projet. Dans cet écotone, les chercheurs ont trouvé des insectes considérés comme des espèces forestières et d'autres qui vivent principalement dans les espaces ouverts, ainsi que des espèces qui vivent exclusivement dans la lisière. «Les lisières forestières sont non seulement des zones de chevauchement, mais aussi des habitats à part entière», commente Martin. Elles offrent en outre un refuge à de nombreux animaux. Les insectes peuvent s'y abriter, par exemple lorsque le champ adjacent est labouré ou récolté. «Les résultats ont montré l'importance des lisières forestières naturelles en tant que havres de biodiversité en milieu cultivé», précise le chercheur.

### **Les zones de transition sont attrayantes**

Les endroits où deux écosystèmes se rencontrent ne sont pas seulement appréciés des animaux et des plantes, mais aussi souvent des humains. C'est particulièrement vrai pour les plans d'eau. Dans le cadre d'une étude menée en 2020 pour le projet de revalorisation «Fil Bleu Glatt» du canton de Zurich (voir *DIA-GONALE 2/21*), Marius Fankhauser, sociologue au WSL, a interrogé la population de la vallée de la Glatt. Il souhaitait identifier le rôle de la rivière Glatt en tant qu'espace de détente de proximité et les souhaits du public quant à sa mise en valeur. «La Glatt compte beaucoup pour la population, qui aime flâner le long de l'eau», commente Marius. Il est important pour eux d'accéder à la rivière en toute sécurité et de disposer d'aires attrayantes sur les rives. Les enfants et les jeunes recherchent surtout des lieux de baignade.

Il en va de même pour la transition entre la forêt et les espaces ouverts. Ici aussi, des installations pratiques sont importantes, par exemple un banc avec une belle vue. Une lisière de forêt naturelle et étagée plaît moins qu'une forêt clairement délimitée par rapport aux espaces ouverts. C'est ce qu'ont montré des études menées par le WSL dans les années 1990. «Une lisière naturelle, impénétrable, est moins facilement utilisée», explique Marcel Hunziker, qui dirige le groupe de recherche en sciences sociales sur le paysage au WSL et a supervisé les travaux. Il avance une autre raison: «Une lisière surplombée d'arbres offre à la fois un sentiment de sécurité et une vue dégagée sur le paysage, qui invite à s'attarder. C'est pourquoi les gens préfèrent ici une limite bien définie.»

### **Des systèmes connectés**

Les frontières nettes entre les écosystèmes existent aussi en science. Ainsi, les processus aquatiques et terrestres sont souvent étudiés séparément. C'est ce que veulent changer les scientifiques du WSL et de l'Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau (Eawag), et à cet effet, ils ont lancé l'initiative Blue-Green Biodiversity BGB en 2020. «Nous voulons établir de meilleures connections entre la recherche sur la biodiversité terrestre et aquatique et proposer des mesures pour préserver et promouvoir la biodiversité», explique Catherine Graham, écologue au WSL, qui dirige l'initiative avec Florian Altermatt de l'Eawag.

Pour en savoir plus  
sur l'initiative de  
recherche Blue-Green  
Biodiversity:  
[wsl.ch/fr/bgb](http://wsl.ch/fr/bgb)



Dans le cadre de sa thèse de doctorat, Valentin Moser étudie comment les castors modifient leur habitat. Le projet fait partie de l'initiative de recherche Blue-Green Biodiversity BGB du WSL et de l'Eawag.

Dans la réalité, les échanges entre l'eau et la terre sont en effet eux aussi très dynamiques. Les amphibiens, par exemple, vivent dans l'eau à l'état de larves, mais aussi dans les habitats terrestres voisins à l'état adulte. Les feuilles qui tombent des arbres dans l'eau sont une source de nourriture importante pour les micro-organismes, les insectes aquatiques et les poissons. Quant au castor, il remodèle des rives entières, avec des répercussions sur les êtres vivants aquatiques et terrestres ainsi que sur les flux de matières et d'énergie dans les deux systèmes.

Les premiers résultats donnent un aperçu des multiples interactions entre les deux milieux. Ainsi, l'un des projets de recherche a montré que les oiseaux chanteurs nourrissent souvent leurs petits avec des insectes aquatiques, plus nutritifs que les insectes terrestres. Un autre projet a démontré l'intérêt de créer de nouveaux étangs pour les amphibiens s'ils sont bien connectés entre eux.

«Les causes du spectaculaire déclin actuel de la biodiversité sont d'origine humaine, notamment le changement climatique ou l'agriculture intensive. Pour enrayer cette tendance, nous devons considérer les habitats terrestres et aquatiques en même temps», explique Catherine Graham. Et pour cela, il faut dépasser les frontières dans nos têtes.

*(lbo)*

## LIMITES DANS LA NEIGE **Réflexions dans l'infrarouge.**

Le manteau neigeux est structuré en couches. En reconnaître les limites est utile pour de nombreuses personnes, du service de prévision d'avalanches aux milieux des sports d'hiver. Et plus l'analyse est objective, mieux c'est. Des chercheurs du SLF ont donc conçu un appareil à cet effet, et DIAGONALE les a accompagnés lors d'essais sur le terrain.

Lentement, très lentement, la luge penche sur le côté. Lars Mewes se précipite pour la stabiliser. Benjamin Walter continue de la traîner derrière lui. Sous le Pischagratt, les deux physiciens du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF à Davos se frayent un chemin avec leur charge dans l'épaisse couche de neige. Ils transportent environ quarante kilos d'équipement technique.

Leur plus précieux bagage est un boîtier noir – le SnowImager. Conçu par Martin Schneebeli et Benjamin, il permet aux scientifiques de localiser les limites des couches dans le manteau neigeux. De telles limites apparaissent lorsqu'il neige sur de la neige ancienne ou lorsque du givre de surface se forme et gèle ensuite, créant une couche distincte. Ces strates se caractérisent par des densités et des types de cristaux de neige différents. Leurs zones de contact et leurs propriétés sont importantes pour le service de prévision d'avalanches afin d'identifier les couches fragiles, car celles-ci peuvent se rompre spontanément



Tout commence par le pelletage: Benjamin Walter et Lars Mewes creusent une fosse dans la neige. À droite, la luge chargée de nombreux appareils de mesure.





Mesure par infrarouge: le prototype du SnowImager en action.

ou en réaction à une pression, par exemple sous le poids d'un skieur. La neige située au-dessus de la couche fragile risque alors de se détacher et de dévaler la pente sous forme d'une avalanche de plaque. Les prévisionnistes mesurent encore souvent manuellement le manteau neigeux, ce qui prend beaucoup de temps. Le SnowImager devrait accélérer considérablement ce processus. «Par ailleurs, la résolution de l'observation est jusqu'à dix fois plus élevée qu'avec l'œil humain», commente Benjamin. Elle est en outre objective.

Lars et Benjamin creusent en cadence. Les cristaux de neige sur la pente reflètent la lumière éclatante du soleil. À cent trente centimètres de profondeur, les deux chercheurs touchent le sol et élargissent la fosse. Benjamin lisse une des parois à l'aide d'une scie, d'une truelle et d'un pinceau. «Nous avons besoin d'une surface plane pour les mesures», explique Lars.

### **De la recherche fondamentale à l'application**

Enfin les préparatifs sont terminés. Une fois le SnowImager détaché de la luge, tout va très vite. Pendant à peine deux minutes, Lars applique le boîtier à différentes hauteurs, de bas en haut le long de la paroi. Des diodes électroluminescentes envoient de la lumière infrarouge, invisible pour l'œil, sur la surface de la neige. Deux petites caméras mesurent la quantité de lumière réfléchi par les cristaux de neige: plus ils sont petits, plus ils renvoient de lumière. Les chercheurs font un deuxième passage en recouvrant la face avant du SnowImager d'une plaque opaque comportant une fente. «Nous déterminons ainsi non seulement la taille des cristaux de neige, mais aussi la densité de chaque couche», explique Benjamin. Plus la densité est faible, plus la lumière pénètre profondément dans la neige. Et plus elle pénètre en profondeur, plus elle se propage latéralement, en raison de la réflexion sur les cristaux. Or, les caméras ne mesurent que la partie de la lumière qui repasse à travers la fente. La combinaison des deux valeurs fournit une analyse de la structure du manteau neigeux.

Galerie photos:



Le long processus qui a abouti au SnowImager montre toute l'importance de la recherche fondamentale. Dans les années 1970, Martin Schneebeli, alors adolescent et passionné de photographie, avait entendu parler pour la première fois des films infrarouges. Mais ce n'est qu'en 1995 qu'il a pu saisir l'occasion de les utiliser. Il était déjà chercheur au SLF et s'est rendu au col de la Flüela avec une caméra et un film infrarouge en compagnie d'un collègue. «L'idée était de représenter un profil de neige en couleur en utilisant différentes nuances de gris», se souvient le nivologue. Les essais concluants ont révélé des couches clairement distinctes. Entre 2005 et 2007, cette approche a conduit à une première thèse de doctorat, puis à la conception d'un appareil pour déterminer la taille des grains de neige. La mesure de la densité restait toutefois un travail manuel fastidieux. «Ce n'est que pendant la pandémie que nous avons trouvé l'inspiration: eurêka! Une fente devant le profil, voilà la solution!», explique l'ancien responsable de l'unité de recherche Neige et atmosphère du SLF. L'idée du SnowImager était née, et Benjamin s'est mis au travail.

### **Prêt pour la production en série**

Par un premier février ensoleillé, Mirjam Eberli et Simon Grüter du service de prévision d'avalanches s'engagent dans une pente à l'écart des pistes du domaine de Parsenn, près de Davos. Ils commencent eux aussi à pelleter, mais leur démarche n'est pas aussi rapide que celle de Lars et Benjamin. Ils vérifient tout d'abord avec une sonde de battage la dureté de la couche de neige. Simon passe ensuite prudemment son index sur la paroi pour repérer les transitions entre les couches et dicter leur position à Mirjam. Tous deux quadrillent alors couche par couche la paroi à l'aide d'une loupe et notent la taille et le type de cristaux de neige. Enfin, ils déterminent laborieusement la densité de tout le manteau neigeux. Avec cette méthode, les résultats sont individuels, car lorsque des humains prennent des mesures, leurs estimations sont subjectives, ce qui peut entraîner de légères variations.

Le SnowImager élimine ce flou. En outre, il fournit des données plus détaillées car il mesure la densité couche par couche. Il pèse encore cinq kilogrammes, mais devrait devenir plus maniable, plus léger, adapté à un usage quotidien – et prêt pour la production en série. Davos Instruments veut produire le SnowImager sur place. L'équipe de projet estime qu'à long terme, la demande atteindra six cents unités rien qu'en Suisse, et parle d'un premier appareil portable et abordable pour mesurer les couches de neige. La clientèle cible ne comprend pas seulement les services de prévision d'avalanches. À partir de la structure du manteau neigeux, les spécialistes peuvent aussi déduire quand et où des crues sont susceptibles de se produire. Les climatologues acquièrent des connaissances sur le changement climatique, et les sportifs et sportives professionnels utilisent les données pour choisir le bon équipement.

À la fin de leur journée de mesure, une dernière tâche fastidieuse reste à accomplir: Benjamin et Lars doivent reboucher le trou qu'ils ont péniblement creusé. «Il ne faudrait pas qu'un freerider tombe dedans et se blesse», explique Benjamin. *(job)*

# INFOGRAPHIQUE À vos feuilles, prêts, partez! Comment un arbre se rend-il compte que c'est le printemps et que ses bourgeons peuvent éclore sans risque? En intégrant trois facteurs environnementaux – et en réagissant dès qu'ils dépassent certains seuils, propres à chaque espèce.

## Le hêtre commun au fil des saisons

L'année des végétaux dépasse le cadre du calendrier humain et comporte dix saisons. Pour le hêtre commun, le feuillu le plus répandu en Suisse, trois facteurs sont importants:

❄️ période froide ☀️ durée du jour 🌡️ température  
(voir les détails ci-dessous)



## Dépasser les limites: trois facteurs extérieurs influencent le moment où les bourgeons s'ouvrent.



### Période froide

En hiver, les arbres de nos régions «comptent» les journées froides. Pour de nombreuses espèces (dont le hêtre commun), «froid» signifie inférieur à 10°C. Si une espèce a besoin de beaucoup de jours froids, un hiver trop chaud retarde le débournement et affaiblit ces arbres.



### Durée du jour


La durée du jour et de la nuit peut elle aussi influencer le débournement. Le hêtre commun, par exemple, ne débourne que lorsque le jour dure au moins douze heures. En revanche, ce facteur n'est pas important pour les chênes indigènes.



### Température


La température printanière n'est qu'un des trois facteurs du débournement chez le hêtre commun, mais elle est décisive chez les chênes indigènes. Dans un climat plus chaud, ceux-ci pourraient donc bénéficier d'une petite avance par rapport au hêtre.

L'influence de ces trois facteurs est bien étudiée, mais ce qui se passe dans les bourgeons pendant le repos hivernal reste assez mystérieux. C'est pourquoi nous y consacrons nos recherches.



Dans le sol de l'ancienne zone inondable de la rivière Albigna, les différents dépôts des crues passées sont bien reconnaissables. Des couches de sable gris alternent avec de l'argile ocre. La crue qui a formé la couche inférieure a déposé de grosses pierres.

Au WSL, nous étudions et documentons la physique, la chimie et la biodiversité des sols. Nos principaux outils sont notre pédothèque – une archive qui contient des échantillons de toute la Suisse –, et la base de données qui lui est associée. Comme nous échantillons à intervalles réguliers les mêmes sites, nous pouvons suivre l'évolution à long terme des sols en lien avec le changement climatique et les substances d'origine humaine. Ces connaissances contribuent à protéger les sols et l'environnement.



Les racines de la strate herbacée stabilisent le sol et le protègent de l'érosion. La couleur brun foncé de cette couche vient de l'humus, qui contient beaucoup de carbone. À l'échelle globale, les sols stockent plus de carbone que l'atmosphère et la végétation réunies.

Sol d'une ancienne plaine d'inondation à Vicosoprano, dans le val Bregaglia (canton des Grisons).

## CROISSANCE DES ARBRES **Au-delà de la limite de la forêt.** La forêt de montagne s'étend – mais pas uniformément. Des scientifiques du SLF étudient les causes de cette disparité.

Deux fois par an, Esther Frei gravit les pentes du Stillberg dans la vallée de la Dischma, près de Davos. Pas par plaisir, mais à titre professionnel, et avec des appareils de mesure dans son sac à dos. Il y a dix ans, la phytoécologue du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF à Davos a établi ici trois sites expérimentaux entre 1900 et 2400 mètres d'altitude: dans la zone boisée, à la limite de la forêt, et 300 mètres plus haut. Elle avait alors semé des graines de mélèze et d'épicéa. Depuis, elle doit y retourner régulièrement. En juin, elle compte les plantules et installe des clôtures de protection; en octobre, elle mesure les plantes.

Les résultats à ce jour: en forêt, les semis n'ont eu aucune chance de se développer. Après deux ans, toutes les graines ou les plantules avaient été dévorées ou avaient dépéri à cause de la forte concurrence d'autres plantes. «Même à la limite de la forêt, la végétation a entravé la germination», explique la chercheuse. À long terme, cependant, davantage de petits arbres y ont survécu que sur les deux autres sites. Au-dessus de la limite de la forêt, un grand nombre d'entre eux ont certes germé, mais les conditions difficiles ont eu raison des épicéas en l'espace de quatre ans. Seuls quelques jeunes mélèzes ont survécu.

En effet, la limite de la forêt ne signifie pas pour autant la fin de toute croissance des arbres, mais désigne la zone à partir de laquelle il n'y a plus de forêt. Au-dessus, on parle de la limite des arbres. «Des mélèzes isolés peuvent même pousser quelques centaines de mètres plus haut en altitude», commente Peter Bebi, responsable du groupe de recherche sur les écosystèmes de montagne au SLF, au sein duquel Esther Frei mène son projet.

Pour en savoir plus:  
[sfl.ch/limitedelaforet](http://sfl.ch/limitedelaforet)



Le Stillberg était déjà un site de recherche dans les années 1950. En 1975, des collaborateurs des deux instituts qui ont précédé le WSL et le SLF y ont planté 92 000 aroles, pins de montagne et mélèzes entre 2075 et 2230 mètres d'altitude pour identifier les meilleures méthodes de protection contre les dangers naturels...

Photo: Walter Schönenberger, WSL

La limite de la forêt se déplace vers le haut. Dans la vallée de la Dischma, elle s'élève depuis plus d'un siècle. Rien qu'au cours des quarante dernières années, elle a gagné en moyenne dix à douze mètres par décennie. «La limite de la forêt a changé le plus radicalement là où le pâturage par les bovins a le plus fortement diminué», explique Peter. Mais le changement climatique contribue lui aussi à modifier la limite de la forêt à l'échelle mondiale, en la repoussant par exemple vers le haut et vers les pôles. Esther mène des recherches dans le cadre du projet international *Global Treeline Range Expansion Experiment* (G-TREE), en français: expérience globale d'extension de la limite des arbres. Dans ce projet, des scientifiques examinent la germination des arbres à la limite de la forêt sur des sites répartis entre l'Australie et l'Alaska.

## Il n'y a pas que la température qui compte

Il ne suffit pas de se baser sur l'évolution de la température, même si elle est le facteur dominant, nuance Peter. «La végétation concurrente, la durée de la couverture neigeuse, les nutriments, le vent, le rayonnement solaire et les épisodes de gel – tous ces facteurs ont un impact sur la croissance des arbres.»

De plus, la faune menace les jeunes plantes, que ce soit en les dévorant ou en les piétinant. C'est pourquoi Esther a enveloppé la moitié de ses plants avec des grillages métalliques. Les nombreuses parcelles expérimentales, y compris celles sans protection contre les herbivores, ni semis artificiels ou végétation établie, permettent de comparer les conséquences de différents facteurs.

Lorsque la forêt s'étend, elle protège mieux des dangers naturels tels que les avalanches et les chutes de pierres. En revanche, sa progression pourrait avoir des conséquences négatives pour la diversité des plantes. C'est ce qu'étudie actuellement une équipe dirigée par Christian Rixen, écologue au SLF. «Nous estimons que l'extension des forêts de montagne entraînera un déclin de la biodiversité végétale, car les espèces des prairies humides et sèches sont en déclin, contrairement aux espèces forestières.» (job)



... 40 ans plus tard, sur une parcelle expérimentale à 2410 mètres d'altitudes, des grillages métalliques protègent les plantes contre les herbivores.

## EXOTIQUES ENVAHISSANTES **Les espèces ne connaissent pas de frontières.** Le nombre de plantes, d'animaux et de champignons importés accidentellement augmente en raison du commerce international malgré les contrôles aux frontières. Le WSL contribue à leur détection précoce.

Insectes dans le bois d'emballage, spores de champignons dans le terreau et sur les plantes ornementales exotiques: le commerce international de marchandises et le tourisme introduisent en Suisse un nombre croissant d'espèces non indigènes. Si elles se propagent de manière incontrôlée, on parle d'espèces envahissantes. Sur les quelque 1300 espèces exotiques établies et connues en 2022 pour la Suisse, une sur six est considérée comme envahissante. Lutter contre ces espèces est coûteux, voire impossible. Les scientifiques du WSL élaborent des solutions pour les détecter le plus tôt possible et si possible les évincer.

Le plus efficace est de repérer de tels organismes et de les éliminer avant leur arrivée, au moyen de contrôles aux frontières. Mais cela n'est pas toujours possible, et un grand nombre d'entre eux entrent aussi en Suisse sans intervention humaine. Jusqu'à ces dernières années, les ravageurs ou les maladies n'étaient repérés que par hasard ou grâce à une surveillance ciblée dans notre pays. Par exemple, le capricorne asiatique, un coléoptère dangereux pour de nombreuses espèces d'arbres indigènes, est arrivé d'Asie caché dans du bois d'emballage et a été découvert par hasard à plusieurs reprises dans des jardins suisses.

Pour en savoir plus:  
[wsl.ch/wss\\_fr](http://wsl.ch/wss_fr)

Pour cette raison, de nombreux pays instaurent une surveillance régulière et répartie sur tout le territoire. En Suisse, le WSL a testé entre 2020 et 2022 une surveillance de ce type dans le cadre d'un projet pilote financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Dans six cantons, les responsables de la protection des forêts ont ainsi régulièrement examiné des placettes tests, proches des zones habitées, afin de détecter huit organismes de quarantaine prioritaires. Ils ont recherché des symptômes de maladie sur différents arbres et ont vidé des pièges à insectes et à spores de champignons.

Les scientifiques du WSL ont ensuite déterminé les spécimens récoltés. Pendant ces trois années, ils n'ont découvert aucune des espèces ciblées, mais d'autres organismes introduits, notamment un capricorne en provenance d'Asie et dont la dangerosité est encore inconnue. «Cela montre que de telles placettes sont utiles pour la détection précoce de nouveaux organismes nuisibles», commente Valentin Queloz, de Protection de la forêt suisse (WSS), le groupe du WSL qui soutient les autorités dans la lutte contre les maladies des arbres et les ravageurs envahissants en forêt.

Le projet pilote ayant fait ses preuves, la surveillance territoriale sera étendue à l'ensemble du pays jusqu'en 2025. Une centaine de placettes seront nécessaires pour une surveillance efficace à l'échelle de la Suisse, estime Benno Augustinus, entomologiste au WSL.

Mais il faut d'abord savoir quels organismes les autorités doivent surveiller et c'est grâce à des plantations sentinelles que cela pourra être déterminé. Au





L'ailante et le paulownia (à gauche), ici au Tessin, poussent très rapidement dans des espaces ouverts. C'est pourquoi il est plus coûteux de maintenir des lignes électriques dégagées.

WSL, par exemple, des espèces végétales européennes souvent exportées vers les États-Unis ont été installées sur une telle plantation. Les scientifiques du WSL examinent régulièrement ces plantes à la recherche de ravageurs indigènes qui risquent d'arriver en Amérique avec les plantes et d'y causer des problèmes.

### **Des espèces exotiques en vadrouille**

Les jardinerie sont certes tenues de garantir que leurs plantes soient saines, mais même des plantes saines peuvent causer des problèmes lorsqu'elles se propagent des jardins aux forêts. C'est pourquoi les scientifiques du WSL à Cadenazzo étudient au Tessin le palmier chanvre, improprement appelé «palmier tessinois», ainsi que l'ailante et le paulownia.

Ces trois espèces se sont propagées à grande échelle dans les forêts locales. Comme elles poussent plus vite et sont moins appréciées par la faune sauvage que les essences indigènes, elles prennent souvent le dessus. Cela peut compromettre des fonctions forestières souhaitées, notamment la protection contre les dangers naturels. Par exemple, les palmiers chanvres avec leurs fines racines fixent moins bien les terrains pentus que les arbres indigènes, ce qui augmente le risque de glissement de terrain, comme l'ont démontré des scientifiques du WSL dans le cadre du programme pilote «Adaptation aux changements climatiques» de la Confédération.

Le problème posé par ces plantes exotiques souvent amatrices de chaleur s'aggravera avec le changement climatique. C'est pourquoi le WSL collabore avec les autorités et les services forestiers pour mettre au point des stratégies visant à gérer et, si possible, éliminer ces espèces envahissantes. «Notre objectif est de proposer des solutions réalistes pour chaque région», commente Eric Gehring, chercheur au WSL. *(bki)*

## Une frontière très floue. Peut-on démarquer la ville et la campagne? Distinguer l'une de l'autre? Oui, répond Marco Pütz, chercheur au WSL, avant d'expliquer pourquoi la notion de fossé entre ville et campagne est malgré tout erronée.

### Marco Pütz, où est le fossé entre ville et campagne?

Autrefois, il s'agissait d'un fossé bien réel faisant le tour des remparts. Aujourd'hui, on le voit comme une ligne, une frontière, le plus souvent lors des votations. On observe souvent que des villes comme Zurich, Lausanne ou Saint-Gall votent différemment que le reste du canton. Comme les résultats sont reportés sur une carte en fonction des communes, la frontière entre la ville et la périphérie est forcément très tranchée. Or, dans les faits, cette ligne de démarcation n'existe pas. La frontière entre la ville et la campagne est une zone diffuse, sillonnée de connexions. L'image du fossé ville-campagne n'est rien de plus que cela – une image. En réalité, il n'y a pas de fossé.

### Qu'est-ce que cela signifie? Ne peut-on pas dire: ceci est une ville, ceci est la campagne?

Si, bien sûr, et nous le faisons tout le temps. Dans notre langue quotidienne ou dans les médias, par exemple. Cela aide à parler des lieux et de leurs caractéristiques. Dire «j'habite en ville» et «j'habite à la campagne» transmet plus d'informations que «j'habite dans la commune X». Mais ce qui se perd parfois, c'est notre conscience du flou de cette classification. Car ce que

nous appelons ville et campagne est également lié au passé, par exemple au fait qu'un lieu ait reçu autrefois des droits municipaux. Et cela dépend aussi de la façon dont le lieu est perçu par sa population, mais aussi par l'extérieur. Albisrieden, par exemple, est un quartier de Zurich depuis bientôt cent ans. Pourtant, on y prend le tram pour «aller en ville». Son centre est celui d'un village, avec une place de l'église, un marché annuel de bétail et un esprit de communauté très villageois. Tout cela fait qu'il n'est plus si facile de tracer des frontières.

### Mais nous les traçons quand même.

Oui, parce que nous en avons besoin. Pour planifier et répartir équitablement les zones de développement et les infrastructures telles que les hôpitaux dans le pays, nous distinguons l'urbain et le rural, au sens de central et moins central. Si nous voulons résoudre les problèmes structurels dans l'espace rural, nous devons délimiter cet espace: toi, tu en fais partie, toi, non.

### Et comment le délimite-t-on?

Il existe plusieurs méthodes pour cela. L'une d'entre elles consiste à réfléchir à ce qui caractérise une ville et une campagne. Par exemple, la ruralité est souvent marquée par l'agriculture, ce qui peut être mesuré en termes d'emplois



Marco Pütz est géographe et économiste. Il dirige le groupe Économie et développement régionaux.



La qualité de la desserte par les transports en commun indique clairement si un lieu appartient plutôt à la ville ou à la campagne. Sur la photo: col du Julier, Surses.

dans le secteur primaire, c'est-à-dire l'agriculture et la sylviculture. Ceux-ci sont généralement plus nombreux dans les communautés rurales que dans les communautés urbaines. Un autre indicateur est l'accès aux transports en commun. Le quartier

de Hardbrücke à Zurich, où des trains régionaux s'arrêtent toutes les minutes, est clairement plus urbain qu'un lieu où un car postal passe dix fois par jour. L'Office fédéral de la statistique OFS utilise de tels indicateurs dans sa typologie des

**«L'image du fossé ville-campagne n'est que cela – une image.  
En réalité, il n'y a pas de fossé.»**

communes. Elle distingue 25 catégories de communes, allant de la «ville-centre d'une grande agglomération» à la «commune rurale mixte périphérique». La première catégorie compte cinq communes en Suisse: Zurich, Bâle, Genève, Lausanne et Berne. Dans la deuxième catégorie, on trouve par exemple Corbeyrier dans le canton de Vaud ou Renan dans le canton de Berne. La typologie de l'OFS connaît d'ailleurs aussi des communes «intermédiaires», avec un mélange de caractéristiques urbaines et rurales. Birmensdorf en est un exemple.

### **Vous disiez qu'il y a plusieurs façons de délimiter l'espace.**

On peut en effet aussi se référer davantage aux structures de la couverture du sol et de l'utilisation du territoire. C'est l'approche de la typologie des paysages de Suisse, élaborée conjointement par l'OFS et les offices fédéraux du développement territorial et de l'environnement, et qui distingue 38 types de paysages. Elle n'utilise pas le mot «rural» pour les désigner, mais elle reconnaît le «paysage périurbain» autour des grandes villes et le «paysage urbain». À cela s'ajoute la Statistique de la superficie, qui est également rattachée à l'OFS. Cet instrument ne fait pas appel aux données communales mais recense, à partir de photos aériennes, ce qui recouvre le sol: eaux, bâtiments, routes, forêts, champs ou rochers. Il généralise et distingue quatre domaines principaux: les aires improductives, la forêt, l'agriculture et l'habitat. À l'intérieur de ces zones, il fait des distinctions supplémentaires. Dans les zones d'habitation et d'infrastructure, par exemple, on trouve les surfaces occupées par les

transports et les bâtiments, et celles qui regroupent l'industrie, l'artisanat et le logement, ainsi que les espaces verts et lieux de détente. Tous ces types d'utilisation font partie des zones d'habitation.

### **Pourquoi faut-il autant de systèmes?**

Ils répondent à des objectifs différents et ont chacun leurs propres avantages et inconvénients. La typologie communale prend davantage en compte les personnes. La statistique de la superficie ne le fait qu'indirectement, en évoquant par exemple les bâtiments. Pour étudier les changements environnementaux ou observer le développement des villes et des régions, la statistique de la superficie est intéressante, car elle montre l'évolution de l'espace ou du paysage. La typologie des communes, quant à elle, permet de tirer des conclusions sur l'économie et la société. Au WSL, ces typologies et ces données sont très utilisées, par exemple pour modéliser les modifications du paysage ou pour analyser le développement territorial. (*kus*)

Valentin Moser, Birmensdorf

«La réserve naturelle de Sporn à Allschwil regroupe de nombreux habitats et une multitude d'espèces sur un tout petit espace. C'est ici que j'ai appris à identifier les insectes, les amphibiens et les oiseaux, et j'y reviens toujours avec plaisir.»



#### LE CASTOR, UNE ESPÈCE INGÉNIEURE

Les castors modifient leur écosystème: là où ils abattent des arbres et construisent des barrages, d'autres animaux – insectes, chauves-souris ou poissons – bénéficient de la lumière, du bois mort et de l'eau stagnante. Dans le cadre d'un projet de l'initiative de recherche

Blue-Green Biodiversity du WSL et de l'Eawag, Valentin Moser consacre sa thèse de doctorat aux modifications de l'éventail des espèces et à leurs interactions après l'intervention des castors. «Je mets à profit ma connaissance des espèces.» (mlg)



L'installation de réalité virtuelle *Atmospheric Forest* (2020) visualise les effluves des pins du Bois de Finges.

Si vous aimez vous promener dans les forêts de conifères, vous connaissez leur odeur typique de résine. Les substances à l'origine de ces effluves forment parfois une légère brume légère au-dessus des cimes. Mais bien plus qu'un plaisir pour les sens, elles sont importantes pour les arbres, l'écosystème forestier et même le climat.

«Les composés volatils ont de nombreux effets», explique Arthur Gessler, écologue forestier au WSL. Sous forme d'huiles essentielles dans les feuilles, elles protègent les parois cellulaires de la chaleur et de la sécheresse et éloignent les prédateurs. Elles sont libérées lorsque des insectes s'attaquent aux feuilles et à l'écorce, et font office de système d'alerte précoce pour les arbres voisins.

Les arbres consacrent de précieuses ressources à l'élaboration de ces substances de défense. C'est pour-

quoi ils n'en produisent que la quantité nécessaire. Mais que se passe-t-il lorsque les arbres souffrent de la chaleur et de la sécheresse et que ces ressources se raréfient? Pour le savoir, l'écologue finlandaise Kaisa Rissanen et des scientifiques du WSL ont identifié au cours de l'été caniculaire de 2018 les composés organiques volatils de six pins en Valais, dans le Bois de Finges, un site de recherche du WSL. Faisant suite à une étude similaire sur les feuilles, cette expérience est l'une des premières à capturer les composés volatils émis par les troncs d'arbres.

### Défense contre les ravageurs

Les scientifiques ont été stupéfaits par l'énorme quantité de substances odorantes dégagées par les troncs. «L'ordre de grandeur correspond en gros aux émissions du feuillage, alors que nous nous attendions à beaucoup



sécheresses plus fréquentes affectent les arbres forestiers», précise Arthur. En effet, les pins investissent pratiquement leurs dernières forces dans la défense contre les insectes, qui sont dans bien des cas le facteur décisif du dépérissement des arbres affaiblis.

Les nouveaux résultats ne sont toutefois pas seulement intéressants en termes de santé des forêts. Les substances émanant des troncs et du feuillage des arbres sont extrêmement réactives, avec des effets à la fois positifs et négatifs. Par exemple, elles favorisent la formation d’ozone dans les couches supérieures de l’atmosphère ou peuvent prolonger la durée de vie du méthane, un puissant gaz à effet de serre. En revanche, elles stimulent aussi la formation des nuages. «Elles peuvent ainsi influencer le climat local, le refroidir par exemple», explique Ugo Molteni, chimiste au WSL. Dans le Bois de Finges, cet effet est tout au plus efficace à petite échelle, mais dans les immenses forêts de conifères du Grand Nord, par exemple, il joue un rôle important à l’échelle régionale, note Ugo, qui prépare un projet pour étudier ces effets.

Le souffle de la forêt a même inspiré l’art: pour visualiser le paysage olfactif du Bois de Finges, les artistes lettons Rasa Smite et Raitis Smits ont créé l’installation de réalité virtuelle *Atmospheric Forest* avec l’aide des scientifiques. Dans un modèle tridimensionnel de la pinède, de petites billes jaunes évoquent le gaz qui perle des troncs sur fond de musique méditative dite ambient. L’animation vidéo permet de voir et d’entendre le stress des pins dû à la sécheresse.

(bki)

[vimeo.com/415663071](https://vimeo.com/415663071)

moins», commente Arthur. La plupart des substances sont des monoterpènes, des composants de la résine qui servent entre autres à éloigner les insectes herbivores. Certes, la production de composés organiques volatils, et donc probablement aussi la capacité des arbres à se défendre, a globalement pâti de l’augmentation de la sécheresse. «Mais comparative-ment aux arbres bien pourvus en eau, les arbres stressés semblent consacrer davantage d’énergie à se défendre contre les prédateurs.»

Pendant l’expérience, les arbres ont souvent émis des quantités particulièrement élevées de monoterpènes. Les scientifiques supposent que ces pics correspondaient à des attaques d’insectes, par exemple de scolytes, même s’ils ne les avaient pas effectivement observées. «Notre étude est une pièce importante du puzzle permettant de comprendre comment des

Même les forêts très fréquentées sont exploitées – pour obtenir du bois, améliorer la sécurité ou accroître la biodiversité. Mais les grandes coupes de bois suscitent souvent le mécontentement des personnes qui se détendent en forêt. Johanna Trummer, du groupe de recherche en sciences sociales et paysage du WSL, a étudié leurs réactions face à différentes formes d'exploitation.



Les personnes en quête de détente n'apprécient pas les changements trop visibles dans «leur» forêt.

Elle a soumis un questionnaire sur tablettes à plus de deux cents personnes en quête de détente dans le laboratoire forestier du Höggerberg près de Zurich. Ces personnes ont donné leur avis sur des parcelles gérées de différentes manières dans cette forêt. Co-fondé par le WSL, le laboratoire forestier est une zone de 150 hectares dédiée à la démonstration et à la recherche en sylviculture.

L'enquête a révélé que les forêts sans grandes ouvertures, comportant de vieux et grands arbres, plaisaient le plus. Il s'agit de forêts pérennes, dans lesquelles on n'abat qu'un arbre ici ou là, ainsi que de forêts de conifères composées d'arbres de même âge. En revanche, le taillis sous futaie, une forme d'exploitation datant du Moyen Âge, n'était guère appréciée. Dans ce type de forêt, les arbres sont coupés tous les 20 à 30 ans pour fournir du bois de chauffage. De proche en proche, de grands arbres, par exemple des chênes, sont laissés sur pied pendant une centaine d'années avant d'être utilisés comme bois de construction. Ces forêts claires sont précieuses pour la protection de la nature car elles abritent de nombreux animaux et plantes forestiers rares.

Johanna Trummer et ses collègues concluent que les personnes interrogées désapprouvent avant tout les interventions lourdes. «Tout ce qui modifie fortement l'image de la forêt est mal accepté», commente Tessa Hegetschweiler, responsable du projet. Il en résulte des sentiments négatifs, car les personnes en quête de détente s'identifient fortement à «leur» forêt. Les panneaux du laboratoire forestier qui fournissent des informations sur le taillis sous futaie ne suffisent manifestement pas à changer cette perception. Les chercheuses espèrent une meilleure acceptation si les services forestiers annoncent suffisamment tôt les coupes et en expliquent les raisons. (bki)

[wsl.ch/enquetesylviculture](http://wsl.ch/enquetesylviculture)



## PAYSAGE Une nouvelle méthode pour estimer le risque qu'un vignoble tessinois soit abandonné

Le vignoble tessinois couvre plus de mille hectares. Et pourtant, au cours des trente dernières années, la surface viticole a diminué de près de 40 pour cent, comme l'ont constaté des chercheurs du site du WSL à Cadenazzo. Les vignobles traditionnels sont particulièrement touchés. Ces parcelles escarpées, fréquemment contiguës à la forêt, aménagées en terrasses avec des murs de pierres sèches et des pergolas, ont souvent une valeur écologique particulière en raison de ces caractéristiques.

Pourquoi ces vignes disparaissent-elles? «La pression sur le marché du vin augmente. Si les parcelles ne peuvent pas être travaillées mécaniquement, leur rentabilité diminue rapidement, et dans les agglomérations, les vignes rapportent souvent plus d'argent sous forme de terrains à bâtir, là où c'est permis», explique Marco Conedera, chercheur au WSL. Le projet qu'il a dirigé a consisté à cartographier les pertes, mais aussi à élaborer, sur mandat du Canton du Tessin, une méthode permettant d'estimer objectivement la valeur paysagère, culturelle et écologique des vignes ainsi que les efforts nécessaires pour leur entretien.

D'une part, cette méthode d'évaluation consiste à attribuer des points à la desserte d'une vigne, sa pente et sa proximité avec la forêt, et classe chaque parcelle dans une de cinq catégories en fonction du nombre de points obtenus. Par exemple, une vigne en terrasses à la lisière de la forêt, difficilement accessible, cultivée à la main et qui doit en outre être protégée contre les cerfs, tombe dans la catégorie la plus difficile. En effet, son



Au Tessin, on trouve encore des vignes où les ceps poussent sur des pergolas traditionnelles.

entretien nécessite un engagement «héroïque» et le risque qu'elle soit abandonnée au cours des 30 prochaines années est supérieur à 65 pour cent.

D'autre part, la méthode attribue des points pour les murs de pierres sèches, les pergolas ou les arbres fruitiers et mesure ainsi la valeur paysagère et écologique d'une parcelle. «Notre méthode permet d'évaluer un vignoble de manière globale et objective», résume le chercheur. Les autorités et les décideurs peuvent ainsi se faire une idée d'ensemble et identifier les parcelles dont ils souhaitent promouvoir la conservation. Une possibilité serait, par exemple, de cibler des aides financières pour les vignes particulièrement difficiles à entretenir et ayant une haute valeur paysagère ou écologique. *(kus)*

[wsl.ch/vignes](http://wsl.ch/vignes)

## PAYSAGE «Nous devons construire des villes compactes qui offrent malgré tout une bonne qualité de vie.»

Le changement climatique, la transition énergétique et une société plus mobile modifient notre environnement. Silvia Tobias, responsable du Centre de recherche sur le paysage du WSL, explique comment cette recherche contribue à identifier les défis et à trouver des solutions.

### **Silvia Tobias, le paysage est tout simplement autour de nous. Pourquoi l'étudier?**

Le paysage ne peut être ni multiplié ni épuisé. Mais il peut être modifié, et dans ce cas, il arrive qu'il ne corresponde plus à nos attentes. Pendant longtemps, l'étalement urbain a été un sujet de préoccupation. Aujourd'hui, nos recherches sur les paysages énergétiques sont d'une actualité brûlante.

### **Et quels seront les prochains thèmes?**

Outre l'énergie, très certainement le changement climatique, car il va modifier nos paysages. Et la manière dont nous nous y préparons aura aussi différentes conséquences sur eux. Dans un de nos projets, nous présentons plusieurs scénarios destinés à sensibiliser la population. En outre, nous devenons de plus en plus une société multiculturelle avec des exigences très diverses en matière de paysage.

### **En quoi la recherche sur le paysage est-elle utile à ce sujet?**

Nos zones d'habitation doivent accueillir davantage de personnes tout en offrant une certaine qualité de vie, de préférence en dépassant les cultures, tout en défiant le chan-

gement climatique. Car plus nous construisons haut et dense, plus il fait chaud dans nos villes en été. Nous avons besoin d'espaces ouverts, de poumons verts où l'on peut encore respirer pendant une canicule estivale. Nous étudions ce qui rend un espace vert reposant et comment les bruits de la rue, par exemple, peuvent l'influencer. Ou encore, comment des parcs urbains peuvent donner aux migrants un sentiment d'appartenance.

### **Y a-t-il aussi de nouvelles façons de faire de la recherche?**

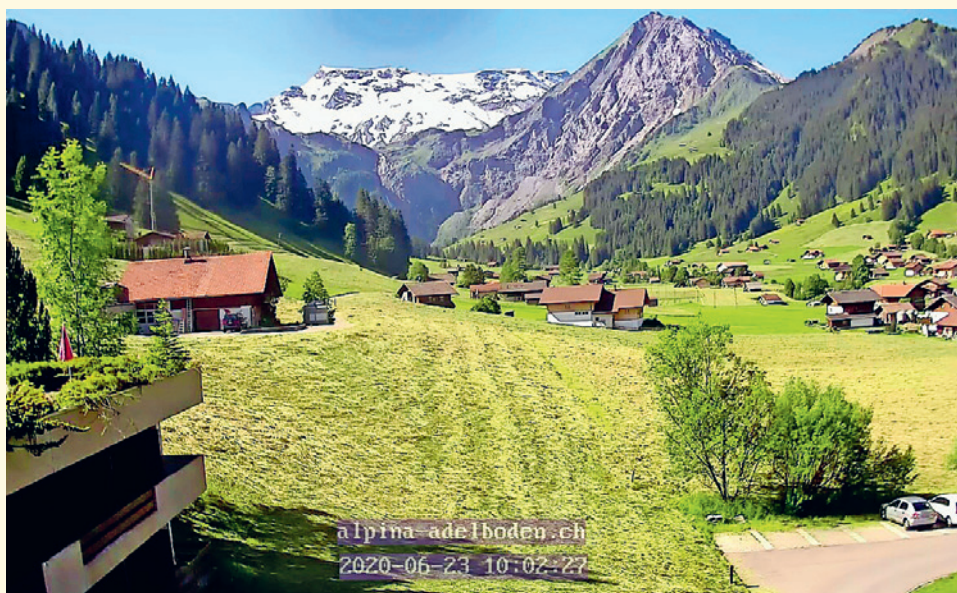
La modélisation devient de plus en plus importante. Elle permet de démontrer et d'étudier les développements dans des paysages virtuels. Les *living labs* ou «laboratoires réels» sont également des approches innovantes. Des scientifiques y élaborent des projets concrets en collaboration avec des acteurs locaux. Ils mettent à disposition leur expertise et apprennent au cours du processus ce qui influence positivement ces projets. Le Domaine des EPF développe actuellement un laboratoire réel dans le Parc du Jura argovien, pour des projets de développement durable. *(kus)*

Beate Jessel, Adrienne Grêt-Regamey, Marcel Hunziker, Ulrike Sturm et Evelyn Coleman ont pris la parole lors du colloque du Centre de recherche sur le paysage consacré aux «Défis pour la recherche paysagère dans les 10 prochaines années», sur lequel s'appuie cet entretien.



Silvia Tobias est ingénieure en génie rural et dirige le Centre de recherche sur le paysage du WSL.

## PAYSAGE Des webcams pour évaluer à distance l'utilisation des prairies



L'ordinateur détecte bien le fauchage sur les images satellites. Des images de webcams comme celle-ci à Adelboden Boden livrent de quoi vérifier les faits.

Lorsque les prairies et les pâturages sont exploités intensivement, la biodiversité diminue généralement, car les espèces qui ne supportent pas les fauches fréquentes ou une forte fertilisation disparaissent. Or, les données sur l'intensité de l'utilisation des prairies en Suisse sont encore rares et ponctuelles. Elles contribueraient pourtant à expliquer les modifications de la diversité des espèces révélées par les programmes de surveillance de la biodiversité.

Les images satellites apportent une solution. Disponibles avec une haute résolution temporelle et spatiale, elles permettent de déterminer sur ordinateur au moyen d'un algorithme si et combien de fois une surface a été fauchée ou pâturée, et de cartographier ainsi l'intensité de son utilisation. Mais ces cartes correspondent-elles à la réalité? Dominique Weber, spécialiste en sciences de l'environnement au WSL, et ses collègues ont conçu une méthode simple pour

le vérifier. «Les webcams librement accessibles n'enregistrent pas seulement les conditions météo, mais aussi ce qui se passe à un moment donné à un endroit donné», explique le chercheur. Elles montrent par exemple si une surface est en train d'être fauchée ou pâturée lorsque du bétail s'y trouve.

Les chercheurs ont comparé ces images avec les cartes générées par l'ordinateur. Résultat: l'ordinateur reconnaît bien le fauchage, mais pas le pâturage. «Nous avons besoin de davantage de données pour affiner l'algorithme», explique Dominique. Les cartes indiquant l'intensité de l'utilisation pourront alors être utilisées par exemple pour planifier l'infrastructure écologique, c'est-à-dire le réseau de surfaces importantes pour la biodiversité. En l'occurrence, les prairies extensives doivent être prises en compte pour la mise en réseau des réserves naturelles. (lbo)



Artemis Treindl, biologiste au WSL, enregistre des données pour la Liste rouge des champignons supérieurs – jusque dans les prairies du WSL à Birmensdorf.

Artemis Treindl se baisse et cueille délicatement un petit champignon blanchâtre. «C'est un tulostome des brumes», explique la biologiste. «On le reconnaît à l'ouverture en forme de verrue située au sommet du chapeau. C'est par là qu'il expulse ses spores.» Artemis a repéré le champignon entre des mousses sur le site du WSL à Birmensdorf. Dans la Liste rouge des champignons supérieurs de Suisse, le tulostome des brumes ou tulostome mammelonné est classé comme vulnérable. Publiée en 2007, la liste est en cours de révision sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Artemis est l'une des scientifiques du WSL qui s'occupent de ce projet auquel collaborent de nombreux bénévoles. L'objectif est de collecter un maximum d'informations sur les quelque 6000 espèces de champignons supérieurs connues en Suisse. «Dans la première Liste rouge, le degré de vulnérabilité n'a pu être déter-

miné que pour 3000 espèces. Pour les autres, nous avons trop peu de données. C'est ce que nous voulons améliorer», déclare-t-elle.

La prairie sur le site du WSL est l'une des 634 placettes d'échantillonnage sur lesquelles les spécialistes recherchent systématiquement des fructifications de champignons et capturent leurs spores dans l'air à l'aide de collecteurs. Pour la moitié de ces placettes, les scientifiques ont choisi des sites où ils s'attendent à trouver une grande diversité de champignons. Les autres placettes sont réparties au hasard en forêt et dans les milieux ouverts. En forêt, elles mesurent 100 mètres sur 100, en milieu ouvert, 200 mètres sur 200. Il faut en moyenne environ six heures pour passer une placette au crible. «Nous pouvons heureusement compter sur nos bénévoles, sans qui nous n'y arriverions jamais», déclare la chercheuse.

Elle saisit directement le tulostome des brumes via une application sur son téléphone portable. Lorsqu'elle ne peut pas déterminer un champignon sur le terrain, elle l'emporte au laboratoire. C'est le cas de celui qu'elle découvre ensuite – un *Galerina*. Elle en cueille un exemplaire en particulièrement bon état et le place dans une boîte en plastique compartimentée, aux côtés d'autres spécimens à déterminer.

### Davantage de données grâce à la génétique

Au laboratoire, Artemis examine sa trouvaille au microscope. Sous le chapeau, des cellules spéciales sur les lamelles, appelées cystides, permettent de l'identifier. «Les cystides sont ici en forme de massue, il s'agit donc de *Galerina clavata*. La détermination au microscope prend beaucoup de temps. Les analyses génétiques sont plus rapides. «Elles nous permettent de traiter et d'identifier beaucoup de matériel en même temps, et en plus, de produire des nouvelles séquences de référence pour de nombreuses espèces», précise la biologiste. Les scientifiques ont déjà découvert plus de 30 espèces qui n'avaient encore jamais été identifiées en Suisse.

Toutes les informations sur les champignons et les lieux de récolte sont enregistrées dans la base de données du centre national de données et d'informations SwissFungi, hébergé par le WSL. Elles sont ainsi accessibles au public. Les champignons déterminés en laboratoire sont en outre séchés et conservés. Les relevés sur le terrain sont encore en cours. Par la suite, toutes les données seront analysées et compilées pour la Liste rouge, dont la publication est prévue en 2025. Dans la précédente liste, un tiers des champignons étaient consi-

dérés comme menacés. L'avenir dira si cette proportion aura changé dans la liste révisée. La perte d'habitats, l'utilisation excessive d'engrais par l'agriculture, et le changement climatique sont parmi les facteurs qui mettent les champignons en danger. Par ailleurs, comme pour les animaux et les plantes, de nouvelles espèces arrivent en Suisse et peuvent constituer une menace pour la flore et la faune indigènes. «Beaucoup de choses sont invisibles. Nous savons encore très



Le tulostome des brumes, ou tulostome mameloné (*Tulostoma brumale*) expulse ses spores par une ouverture en forme de verrue sur son chapeau.



Comme la plupart des autres espèces du genre *Galerina*, ce champignon ne peut être identifié avec certitude qu'à l'aide du microscope.

peu sur la diversité effective des champignons», déclare Artemis. Son travail contribue à combler les lacunes de nos connaissances. (lbo)



À Sion, un étang à la place du parking d'une école primaire améliore le climat local.

La Suisse étant un pays alpin, elle est particulièrement touchée par le changement climatique car les températures y augmentent plus fortement que la moyenne mondiale. La fonte du pergélisol et les intempéries plus fortes augmentent le risque de dangers naturels tels que les éboulements ou les laves torrentielles. Les étés caniculaires peuvent entraîner des décès et des pertes de récoltes. Malgré cela, un écart persiste entre ce qui se fait concrètement pour s'adapter aux changements climatiques et ce qui se-

rait nécessaire pour être mieux préparé à leurs conséquences, constate Dominik Braunschweiger, sociologue au WSL.

Une des raisons invoquées par le chercheur: pour considérer l'adaptation comme absolument nécessaire, «il faut se sentir personnellement concerné par les changements climatiques». Ce n'est qu'à cette condition que les événements météorologiques sont perçus comme une conséquence de l'évolution du climat et non comme des phénomènes naturels isolés. C'est ce qu'ont montré les études de cas de Dominik.

### Stratégiquement bien ancré

Dans le cadre du programme de recherche CCAMM du WSL, il a examiné l'adaptation au changement climatique en Suisse. Stratégiquement, elle est bien ancrée. «Au niveau fédéral, un plan d'action vise à intégrer cette adaptation dans toutes les stratégies et tous les plans», commente le sociologue. Le problème, c'est la mise en œuvre: «Il n'y a pas de mandats politiques pour des mesures concrètes». En soi, cela se tient: «Genève a besoin d'autres solutions que Grindelwald», explique-t-il. «Dans les villes, la chaleur est le plus gros problème, alors qu'en montagne, il est plus urgent de modifier la gestion des dangers naturels ou le tourisme, par exemple.»

Des mesures concrètes devraient donc être prises par les personnes concernées sur place. Cela a fonctionné dans le cadre du programme pilote de la Confédération «Adaptation aux changements climatiques», qui a financé des projets dans ce sens. Par

exemple, dans le cadre du projet «Acclimatation» lancé par la ville de Sion, une école a transformé un parking en un biotope humide et a végétalisé un toit. «Ces réalisations luttent contre la chaleur en ville tout en sensibilisant les enfants aux conséquences des changements climatiques», résume Dominik.

Ce dernier aspect ne doit pas être sous-estimé, car la sensibilisation de la population est un des leviers identifiés par le chercheur qui pourraient accélérer l'adaptation. «On peut atténuer les futures vagues de chaleur

en privilégiant des revêtements clairs pour les façades. Mais cela suppose que les responsables soient conscients de la nécessité de le faire.» D'autres pistes sont le financement et la légitimation politique. «C'est ce qu'a montré le succès du projet pilote.» (kus)

[wsl.ch/gov-vis-ccal](http://wsl.ch/gov-vis-ccal)

## DANGERS NATURELS Lacs glaciaires dans l'Himalaya: une nouvelle étude peut aider à éviter les catastrophes

Au matin du 17 juin 2013, les personnes en pèlerinage au sanctuaire de Kedarnath, dans la vallée indienne de Kedar, entendent un grand fracas. Quelques minutes plus tard, des masses d'eau s'abattent sur eux, emportant des personnes, des ponts et des bâtiments, et détruisant la ville de Rambara, huit kilomètres en aval. Au moins 4000 personnes perdront la vie. À l'origine de cette catastrophe: la vidange brutale du lac glaciaire de Chorabari. Ce type d'événement, consécutif à la rupture d'un barrage naturel à l'avant d'un lac d'eau de fonte, pourrait devenir plus fréquent à l'avenir. En effet, en raison du changement climatique, les glaciers fondent et le nombre de lacs retenus par un barrage de glace augmente.

Une équipe du WSL vient d'estimer le nombre de ces lacs et leur position dans l'Himalaya. Les résultats peuvent aider la population à planifier des mesures de protection. En effet, contrairement à ce qui se fait en Suisse, les glaciers n'y sont guère sur-



Les deux images satellites montrent des lacs glaciaires (marqués en rouge) derrière des murs de glace. De tels lacs peuvent se vidanger et inonder des régions en aval.

veillés de manière systématique jusqu'à présent, car ils sont tout simplement trop nombreux.

En se basant sur la surface et l'épaisseur de la glace ainsi que sur la nature du socle rocheux, un algorithme a calculé les positions possibles des futurs lacs glaciaires en fonction de différents scénarios de réchauffement global.

L'équipe dirigée par Daniel Farinotti, glaciologue au WSL et à l'ETH Zurich, et son ancien docteurant Loris Compagno estiment à quelque 11 700 le nombre de ces lacs d'ici 2040. C'est environ 2 500 de plus qu'en 2000. À eux tous, ils représenteraient une superficie de 340 kilomètres carrés et un volume de 2450 millions de mètres cubes d'eau.

### **Barrages défailants**

Les chercheurs ont concentré leur travail sur les lacs accumulés derrière un barrage de glace, plus dangereux que ceux en terre. «Bien que la glace des glaciers soit capable de retenir l'eau, ce n'est pas un matériau particulièrement stable», explique Daniel. «Les barrages de glace peuvent se rompre en peu de temps, et les masses d'eau se déversent alors dans la vallée.» En ligne de mire: les lacs potentiels dont

le volume dépasse un million de mètres cubes. En effet, à partir de cette taille, la situation peut devenir particulièrement dangereuse.

Les résultats de l'étude sont accessibles au public. Sur cette base, des mesures de protection et de précaution peuvent être planifiées, par exemple pour identifier les bâtiments et les infrastructures qui sont menacés. Une surveillance régulière fait également partie de la gestion des risques. «Notre étude évalue à quels endroits des lacs peuvent s'accumuler», précise Daniel. Cependant, la formation de ces lacs dépend fortement des conditions locales. Une organisation humanitaire qui souhaite venir en aide aux populations locales sur la base des données transmises a déjà exprimé son intérêt pour l'étude.

*(job)*



A woman with long brown hair, wearing a white long-sleeved shirt and blue jeans, stands in a lush green field of wildflowers. To her left is a rustic wooden cabin. In the background, there are large, grey, rocky mountains under a clear sky.

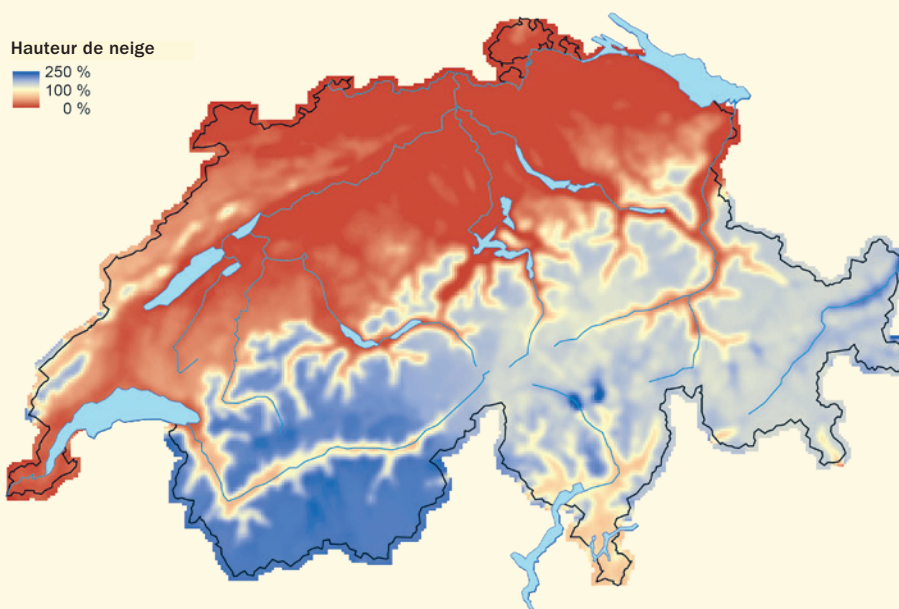
Armanda Pitschi, Davos

«Dans notre mayen à Partnun près de St. Antönien, nous n'avons pas d'électricité et seulement une faible réception pour les téléphones portables. Le calme et la vue sur les sommets et les prairies verdoyantes me permettent d'oublier le quotidien et de laisser vagabonder mes pensées.»

#### SUPPORT INFORMATIQUE AU SLF

Armanda Pitschi travaille dans le service informatique du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. Elle s'occupe principalement du support, commande des ordinateurs et des accessoires, et installe des logiciels et du maté-

riel. «J'aime les contacts avec mes collègues et cela me fait plaisir de les aider». Mère de deux filles en âge préscolaire et scolaire, elle apprécie de pouvoir travailler à temps partiel, dont une demi-journée de télétravail par semaine. (sni)



Saison d'hiver 2017/18: neige plus abondante que la moyenne du Valais aux Grisons en passant par le Tessin (en bleu), nettement moins que d'habitude dans le nord et l'ouest de la Suisse (en rouge).

Qu'est-ce qu'un vrai hiver? Petit rappel: en 2022/23, la saison froide a démarré lentement. Vu le peu de neige en montagne, de nombreuses pistes de ski de fond et de ski alpin ont ouvert plus tard que prévu ou seulement avec un large apport de neige artificielle. Mais la situation était-elle réellement exceptionnelle au niveau régional?

Cette question trouvera une réponse dès l'hiver prochain grâce au projet *Spatial Snow Climatology for Switzerland* (climatologie spatiale de la neige pour la Suisse), ou SPASS. Derrière cet acronyme se cachent des milliers de cartes d'une résolution d'un kilomètre qui indiquent où et quand il y a eu de la neige, et ce, pour chaque jour depuis 1961. SPASS a été conçu en collaboration avec MétéoSuisse par une équipe autour de Christoph Marty, nivologue au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF à Davos.

Les cartes ne sont pas seulement intéressantes pour les scientifiques.

«Elles permettent de déduire combien d'eau sera disponible en été dans les différentes régions de Suisse, où les crues menacent et où la sécheresse risque de sévir», explique Rebecca Mott, collaboratrice scientifique au Service nivo-hydrologique opérationnel (OSHD) du SLF. Ces informations sont notamment utiles pour les agriculteurs.

L'OSHD modélise les quantités de neige dans toute la Suisse sur la base de données météorologiques, adaptées par l'équipe de Christoph Marty pour alimenter le produit final. Les données météorologiques sont fournies par MétéoSuisse, qui reçoit en contrepartie des données sur la neige du SLF et peut ainsi élargir son offre avec les nouvelles cartes SPASS. «Pour nous autres climatologues, ces données sont importantes, car elles nous permettent de comparer les hivers», explique le scientifique. Le produit est encore en phase d'essai, mais il devrait entrer en service dès l'hiver prochain (job)

# NEIGE ET GLACE Plus de la moitié du pergélisol a déjà disparu

Le changement climatique réchauffe l'atmosphère – et le sol. Cela n'est pas sans conséquences: la limite altitudinale du pergélisol proche de la surface s'est élevée d'environ 400 mètres depuis les années 1980. Et comme les montagnes deviennent plus étroite avec l'altitude, la surface de ce sol gelé en permanence diminue aussi. Trois cinquièmes de cette surface ont déjà disparu au cours des 40 dernières années; un autre cinquième est en train de dégeler. C'est ce que montre une nouvelle étude du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. Robert Kenner, chef de projet, commente: «Cette disparition est aussi dramatique que celle des glaciers, à ceci près qu'elle n'est pas visible et que les séries de mesures sont encore courtes et ne la détectent donc que partiellement». Comme le terrain peut devenir instable en dégelant, il ne s'agit pas simplement d'un phénomène fascinant, mais d'un processus qui fait augmenter le nombre des laves torrentielles et des chutes de pierres.

## La température de l'air est cruciale

Mais comment les chercheurs ont-ils établi la fonte du pergélisol alors que les séries chronologiques les plus anciennes sur la température du sol n'ont même pas 30 ans? «Nous voulions comparer les températures provenant de différents forages. Ce n'est pas facile, car ces données dépendent de l'altitude et de l'exposition», explique Robert. Pour rendre les données comparables, les scientifiques ont donc modélisé la relation entre la température de l'air, le rayonnement

solaire potentiel et la température du sol pour chaque capteur de température dans les forages. Grâce aux données normées qui en ont résulté, ils ont pu calculer à quelle altitude se situe l'isotherme zéro degré théorique du sol, correspondant au dégel, une valeur indépendante du rayonnement.

Il s'est avéré qu'il correspondait étonnamment bien à la moyenne pluriannuelle de l'isotherme zéro degré atmosphérique en termes d'altitude et d'évolution dans le temps. D'autres facteurs, par exemple le manteau neigeux, n'ont influencé la température du sol qu'à court terme et dans les couches supérieures. L'isotherme zéro degré atmosphérique est en revanche un indicateur très précis pour la courbe de température en profondeur dans le sol, ce qui ouvre de nouvelles perspectives aux scientifiques: «Pour reconstruire les anciennes températures dans le sol, nous pouvons utiliser des mesures de température atmosphérique réalisées à l'aide de sondages par ballons il y a plusieurs décennies», commente Robert. Son équipe a ainsi pu calculer que le pergélisol a déjà perdu les trois cinquièmes de sa superficie. En effet, le réchauffement à haute altitude est nettement supérieur à la moyenne suisse. *(bio)*

Gian-Kasper Plattner,  
Birmensdorf

«J'ai grandi à Riehen, à deux pas du Wenkenpark. Je jouais dans ce parc historique quand j'étais petit, et j'y ai fait beaucoup de fêtes pendant ma jeunesse. Maintenant, j'y viens régulièrement en famille et avec nos amis. Le parc m'a accompagné toute ma vie.»



#### COORDONNER LA RECHERCHE AU LIEU DE LA PRATIQUER

Dans l'état-major du WSL, Gian-Kasper Plattner conseille et assiste la direction, en particulier sur des questions stratégiques. Climatologue et membre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il représente le WSL dans diverses instances, notamment le

National Centre for Climate Services NCCS. Par ailleurs, il dirige le portail de données environnementales EnviDat et enseigne. «J'aime beaucoup cette diversité. De ce fait, le travail de chercheur me manque rarement, d'autant plus que je peux souvent proposer mon expertise.» (kus)



Chaud! Dans le prochain numéro du magazine DIAGONALE, tout tournera autour de la chaleur: comment elle influence notre vie et celle des animaux et des plantes, et comment elle affecte notre environnement. Quels dangers les jours de canicule toujours plus nombreux représentent, et quelles opportunités ils offrent. Et chez les scientifiques du WSL et du SLF, ça chauffe lorsqu'ils travaillent sur des questions brûlantes – même si leur ardeur ne s'exprime pas toujours en degrés Celsius.

---

## SERVICE D'ABONNEMENT

Pour s'abonner gratuitement:  
[www.wsl.ch/diagonale](http://www.wsl.ch/diagonale)

Pour obtenir des exemplaires individuels:  
Institut fédéral de recherches WSL  
Zürcherstrasse 111,  
CH-8903 Birmensdorf  
[eshop@wsl.ch](mailto:eshop@wsl.ch)

---

## IMPRESSUM

Responsable de l'édition:  
Institut fédéral de recherches WSL

Textes:  
Jochen Bettzieche (job), Lisa Bose (lbo), Majken Grimm (mfg), Beate Kittl (bki), Stephanie Kusma (kus), Birgit Ottmer (bio), Sara Niedermann (sni)

Direction rédactionnelle:  
Claudia Hoffmann, Stephanie Kusma;  
[diagonal@wsl.ch](mailto:diagonal@wsl.ch)

Traduction: Michèle Kaennel  
Dobbertin, WSL  
Relecture: Philippe Domont, Zurich

Maquette:  
Raffinerie AG für Gestaltung, Zurich  
Mise en page: Sandra Gurzeler, WSL

Impression: cube media AG, Zurich  
Papier: 100% recyclé

Tirage: 1000 exemplaires, deux numéros par an. Le Magazine du WSL Diagonale paraît aussi en allemand et en anglais.

Référence bibliographique:  
Institut fédéral de recherches WSL  
2023: Magazine du WSL Diagonale,  
1/23. 36 p., ISSN 2296-3561

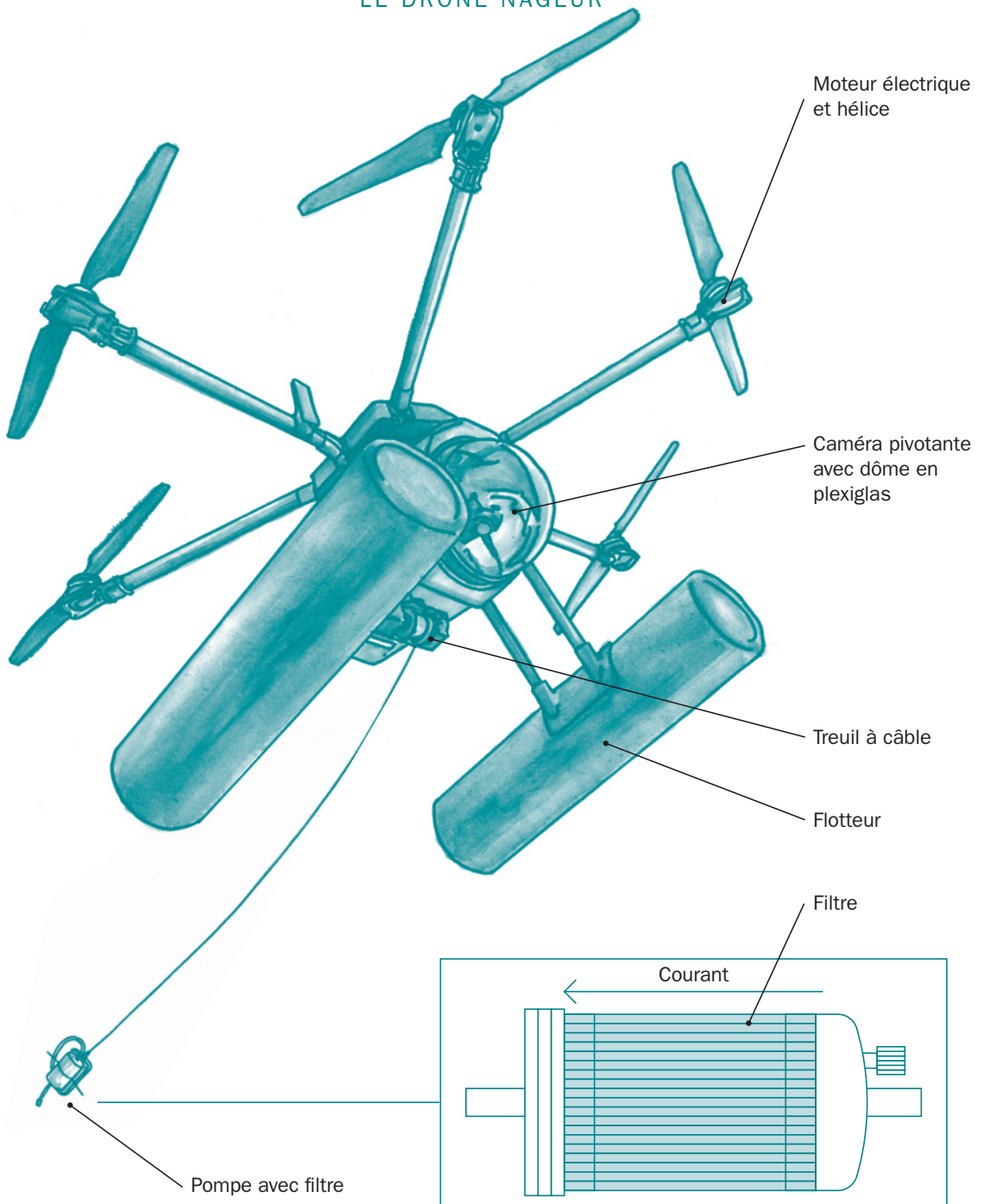
---

## PERSONNES



L'équipe de rédaction de DIAGONALE, de gauche à droite; en haut: Stephanie Kusma, Beate Kittl; en bas: Birgit Ottmer, Sandra Gurzeler, Claudia Hoffmann, Lisa Bose

## LE DRONE NAGEUR



L'ADN présent dans un échantillon d'eau peut révéler ce qui vit dans un plan d'eau. Mais comment procéder si un lac est inaccessible ou si aucun bateau n'est disponible pour collecter des échantillons? Des scientifiques du WSL et de l'ETH Zurich ont alors recours à un drone spécialement conçu à cet effet. En flottant sur le plan d'eau ou en volant, ce drone peut faire descendre au bout d'un câble une pompe équipée d'un filtre. Celui-ci permet de traiter sur place de grandes quantités d'eau et de recueillir les traces d'ADN que les organismes y ont laissées. Au laboratoire, les scientifiques amplifient alors cet ADN et le décodent. En le comparant avec des séquences génétiques déjà connues, ils déterminent ensuite les espèces dont il provient. (*kus*)

Vidéo:  
[www.wsl.ch/schmilblick](http://www.wsl.ch/schmilblick)





**Écosystèmes: quand les frontières sont floues, p. 2**



**Cueillir des champignons pour la recherche:** fructifications  
de coprin chevelu, p. 26



## SITES

### **Birmensdorf**

Eidg. Forschungsanstalt  
für Wald, Schnee und  
Landschaft WSL  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
Téléphone 044 739 21 11  
wslinfo@wsl.ch  
www.wsl.ch

### **Lausanne**

Institut fédéral de  
recherches WSL  
c/o EPFL-ENAC-PERL  
Station 2  
CH-1015 Lausanne  
Téléphone 021 693 39 05  
lausanne@wsl.ch  
www.wsl.ch/lausanne

### **Sion**

Institut fédéral de  
recherches WSL  
c/o HES-SO  
Rue de l'Industrie 23  
CH-1950 Sion  
Téléphone 044 739 21 61  
valais@wsl.ch  
www.wsl.ch/sion

### **Davos**

WSL-Institut für Schnee- und  
Lawinenforschung SLF  
Flüelastrasse 11  
CH-7260 Davos Dorf  
Téléphone 081 417 01 11  
contact@slf.ch  
www.slf.ch

### **Cadenazzo**

Istituto federale di  
ricerca WSL  
Campus di Ricerca  
a Ramél 18  
CH-6593 Cadenazzo  
Téléphone 091 821 52 30  
info.cadenazzo@wsl.ch  
www.wsl.ch/cadenazzo

## LA RECHERCHE AU SERVICE DE L'ÊTRE HUMAIN ET DE L'ENVIRONNEMENT

L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL étudie les modifications de l'environnement terrestre, mais aussi l'utilisation et la protection des habitats naturels et des paysages cultivés. Il observe l'état et l'évolution de la forêt, du paysage, de la biodiversité, des dangers naturels, ainsi que de la neige et de la glace; il élabore également des solutions durables pour répondre à des problèmes pertinents pour la société, et ce en collaboration avec des partenaires issus de la science et de la société. Dans ces domaines de recherche, le WSL est en tête de liste du palmarès international, et l'Institut fournit les bases d'une politique environnementale durable en Suisse. Le WSL emploie plus de 500 collaboratrices et collaborateurs à Birmensdorf, Cadenazzo, Lausanne, Sion et Davos (WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF). Il est un centre de recherches de la Confédération et fait partie du domaine des écoles polytechniques fédérales. Vous trouverez les chiffres clés du WSL à l'adresse [www.wsl.ch/rapportdegestion](http://www.wsl.ch/rapportdegestion).

