

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Pelles, puces et blouses de laboratoire: le bureau des détectives du WSL

N° 1
22

Énergies renouvelables: endroits les mieux adaptés aux installations, p. 24

Intelligence artificielle: l'ordinateur comme botaniste, p. 27

Cernes: les arbres donnent des informations sur les glissements de terrain, p. 28

ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,
Les chercheurs et les détectives ont de nombreux points communs: ils observent, posent des questions et rassemblent avec persévérance des preuves, souvent sur de longues périodes, afin de dévoiler des éléments cachés. Mais au lieu d'arrêter des délinquants, les chercheurs du WSL mettent en lumière des rapports complexes dans la nature. À cette fin, ils utilisent d'ailleurs des méthodes d'enquêtes criminelles – par exemple lorsqu'ils démontrent, à l'aide d'infimes traces d'ADN, quels organismes vivants étaient sur le «lieu du crime» (plus d'informations à partir de la page 14). S'attendre toutefois à ce que les détectives environnementaux percent immédiatement les plus grands mystères, c'est ne pas saisir la quintessence de la recherche. Celle-ci nécessite en effet du temps et de tout petits pas qui mèneront à l'objectif. Persévérance et continuité sont primordiales si nous voulons savoir comment le changement climatique, les polluants et les atteintes aux habitats modifient notre environnement. Et il ne suffit pas d'un coup d'œil sur la «scène», mais d'observations maintes fois répétées. Avec sa recherche à long terme sur les écosystèmes forestiers, le WSL observe ainsi depuis plus de 25 ans déjà l'état de la forêt – et poursuivra dans l'avenir ce «travail de détective» et bien d'autres encore.



Beate Jessel
Directrice du WSL



Détectives environnementaux



DÉTECTER LA GLACE CACHÉE

Où le sol est-il gelé en haute montagne? À l'aide de méthodes nouvelles, les chercheurs du SLF sont en quête de glace cachée.

→ 8



POLLUANTS ET TOXINES ENVIRONNEMENTALES

Pour protéger l'être humain et l'environnement, les chercheurs du WSL se font détectives de polluants.

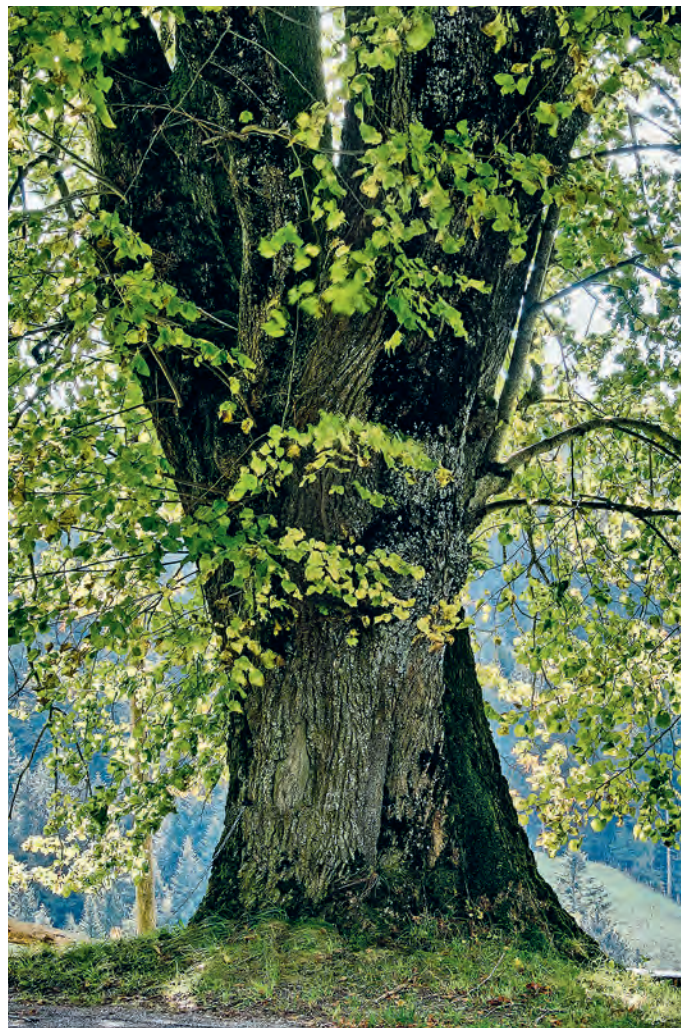
→ 10



L'ORDINATEUR COMME ASSISTANT

Les ordinateurs pourraient bientôt livrer un deuxième avis pour l'évaluation du risque d'avalanches sèches.

→ 18



LÀ OÙ LES CHERCHEURS TRIENT LES ATOMES

Dans le laboratoire d'isotopes du WSL, les chercheurs se transforment en détectives: ils analysent d'infimes particules et examinent par exemple le transport de l'eau dans l'arbre.

→ 2

THÈMES-CLÉS

20 FORÊT

22 PAYSAGE

26 BIODIVERSITÉ

28 DANGERS NATURELS

30 NEIGE ET GLACE

PORTRAITS

19 Chasper Buchli, électroingénieur

33 Jacqueline Annen, graphiste

34 Janine Schweizer, spécialiste en sciences forestières

35 IMPRESSUM, À L'HORIZON

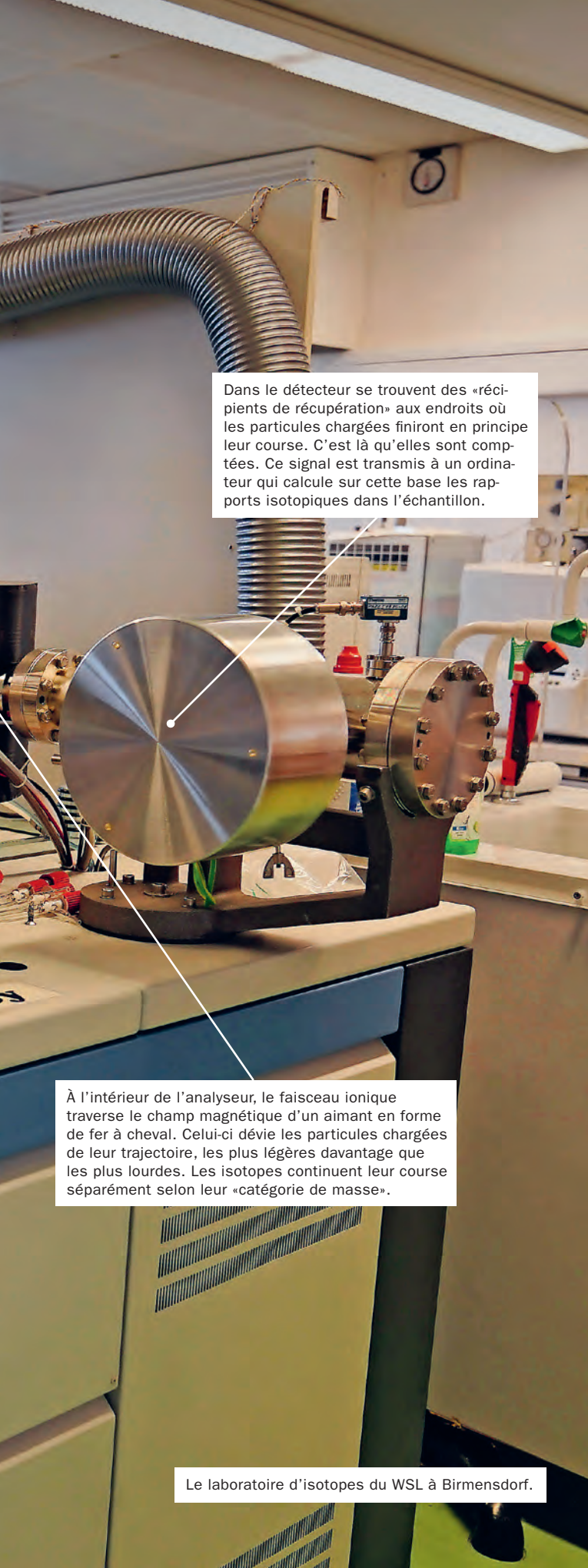
36 LE SCHMILBLICK: Dendromètre par points

D'INFIMES PARTICULES Dans le laboratoire d'isotopes du WSL, les chercheurs se transforment en détectives: ils peuvent suivre les traces de réseaux alimentaires invisibles ou reconstituer le chemin emprunté par l'eau dans un arbre.

Là où les chercheurs trient les atomes

Un spectromètre de masse permet l'analyse de différents types d'atomes – les isotopes, – et comprend trois composants principaux. Dans le premier, la source des ions, les particules sont chargées électriquement, accélérées et concentrées en un faisceau ionique.





Dans le détecteur se trouvent des «réceptacles de récupération» aux endroits où les particules chargées finiront en principe leur course. C'est là qu'elles sont comptées. Ce signal est transmis à un ordinateur qui calcule sur cette base les rapports isotopiques dans l'échantillon.

À l'intérieur de l'analyseur, le faisceau ionique traverse le champ magnétique d'un aimant en forme de fer à cheval. Celui-ci dévie les particules chargées de leur trajectoire, les plus légères davantage que les plus lourdes. Les isotopes continuent leur course séparément selon leur «catégorie de masse».

Le laboratoire d'isotopes du WSL à Birmensdorf.

Photo: Stephanie Kusma, WSL

Sur le terrain du WSL à Birmensdorf, un hêtre de vingt mètres de haut se dresse dans une petite forêt. Il est quasiment impossible d'entourer de nos bras son tronc gris et lisse. Ses fortes racines l'ancrent bien dans le sol. Nous pouvons tout à fait imaginer qu'elles aillent chercher l'eau en profondeur dans la terre.

Or cette image est bien loin de la réalité: le hêtre tire en effet plus de la moitié de son eau des cinq centimètres supérieurs du sol. Même lorsque cette fine couche supérieure se dessèche en cas d'aridité, l'arbre ne parvient pas à compenser la perte en puisant davantage d'eau dans les couches plus profondes.

C'est ce qu'a découvert Arthur Gessler, écologiste forestier du WSL, grâce à l'analyse des isotopes stables – les différents types d'atomes d'un élément qui se distinguent les uns des autres par leur masse. Ils permettent d'étudier le transport de l'eau dans l'arbre. Cela est possible car les isotopes peuvent être utilisés comme une sorte de «marqueur».

Les particules légères s'évaporent plus facilement

Dans la nature, les divers isotopes se manifestent dans des rapports différents. Dans l'eau du sol par exemple, il existe un gradient: les molécules d'eau qui contiennent l'isotope d'oxygène ^{16}O habituel sont plus légères que celles avec l'isotope ^{18}O beaucoup plus rare. C'est la raison pour laquelle elles s'évaporent aussi plus vite. L'eau des couches supérieures (d'où l'humidité s'évapore davantage) comprend ainsi moins d'isotopes d'oxygène légers, et plus d'isotopes d'oxygène lourds, que l'eau des couches profondes.

Arthur Gessler a utilisé ce «marqueur» de l'eau: il a comparé le rap-

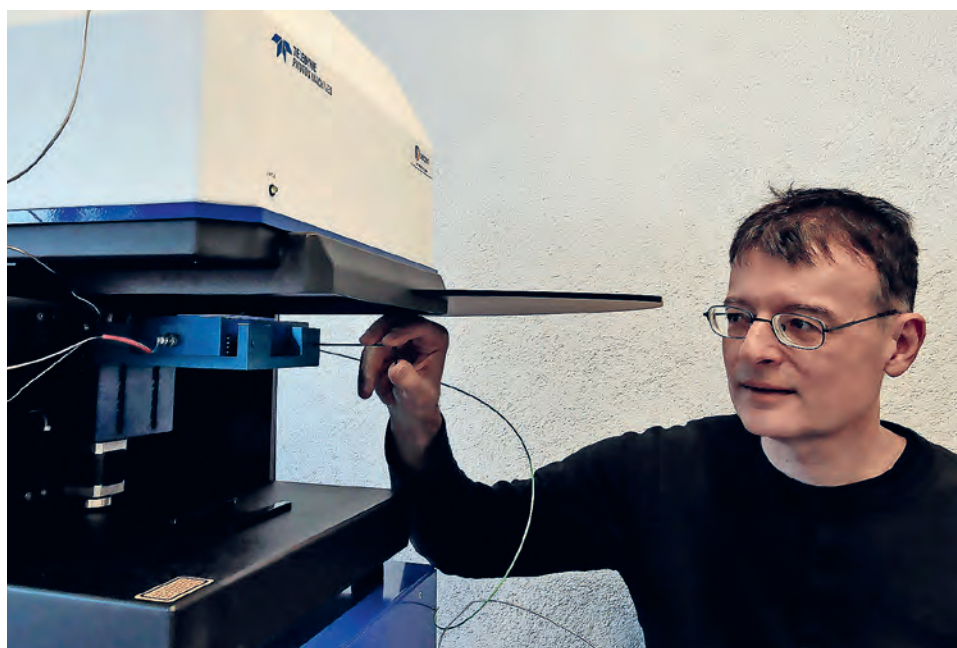
port entre les isotopes d'oxygène à différentes profondeurs du sol, avec celui qui apparaît dans le tronc du hêtre. C'est ainsi qu'il a compris que l'eau de l'arbre devait provenir essentiellement de la couche supérieure du sol.

«Notre étude explique pourquoi les hêtres réagissent de façon si sensible à la sécheresse», indique le chercheur, «mais aussi pourquoi ils peuvent récupérer si vite». Les analyses d'isotopes ont révélé en effet que malgré une sécheresse de plusieurs semaines, les racines n'avaient pas subi de dégâts durables; elles étaient au contraire capables, quelques heures seulement après une forte pluie, de prélever à nouveau de l'eau de la couche supérieure du sol.

Arthur Gessler a identifié les rapports isotopiques dans l'eau directement en forêt grâce à une nouvelle méthode en ligne. Cette démarche a habituellement lieu dans le laboratoire d'isotopes du WSL qui abrite de nombreux spectromètres de masse. Ceux-ci séparent les différents isotopes d'un échantillon en fonction de leur masse. Une comparaison des mesures avec des échantillons normalisés permet aux chercheurs de déterminer le rapport isotopique dans le matériel étudié.

Le «laboratoire d'isotopes du WSL, véritable bureau de détectives» a déménagé en 2017 de l'Institut Paul Scherrer au WSL. Après une exploitation conjointe, le WSL l'exploite seul depuis 2019. Néanmoins, il n'est pas réservé uniquement aux chercheurs du WSL. «Nous sommes aussi heureux de soutenir des projets d'autres institutions», déclare Matthias Saurer, le responsable du laboratoire.

Dans le laboratoire sont analysés non seulement des isotopes d'oxygène, mais aussi d'hydrogène, de carbone et d'azote. Comme ces éléments sont présents dans tous les organismes, des chercheurs de diverses disciplines se côtoient. Martin Gossner, entomologiste forestier, travaille par exemple principalement avec l'azote. Il explore le réseau alimentaire dans le bois mort, c'est-à-dire cherche à savoir qui dévore qui (ou quoi) dans un arbre dépérissant.



Matthias Saurer, responsable du laboratoire, devant l'appareil d'ablation au laser au WSL: l'échantillon de bois se trouve dans le compartiment bleu; les petits tuyaux servent à l'acheminement et à l'évacuation des gaz.



Du bois d'un arbre de Jatobá en provenance du Costa Rica: on aperçoit nettement les lignes et pores de couleur claire, ainsi que la ligne de trous percés par combustion au moyen de l'appareil d'ablation par laser, chaque trou ayant un diamètre de 0,1 millimètre.

Ces réseaux alimentaires sont une base importante mais cachée de l'écosystème forestier, et participent à la décomposition du bois mort. «Pour comprendre s'ils évoluent ou non en parallèle avec l'exploitation d'une forêt et si oui, comment, ou si une espèce se raréfie ou devient soudain plus fréquente, il faut bien connaître les interrelations entre les animaux», explique Martin Gossner. Or, grâce à l'analyse des isotopes, on peut reconstituer ces dernières.

Des dizaines de mesures dans un seul cerne

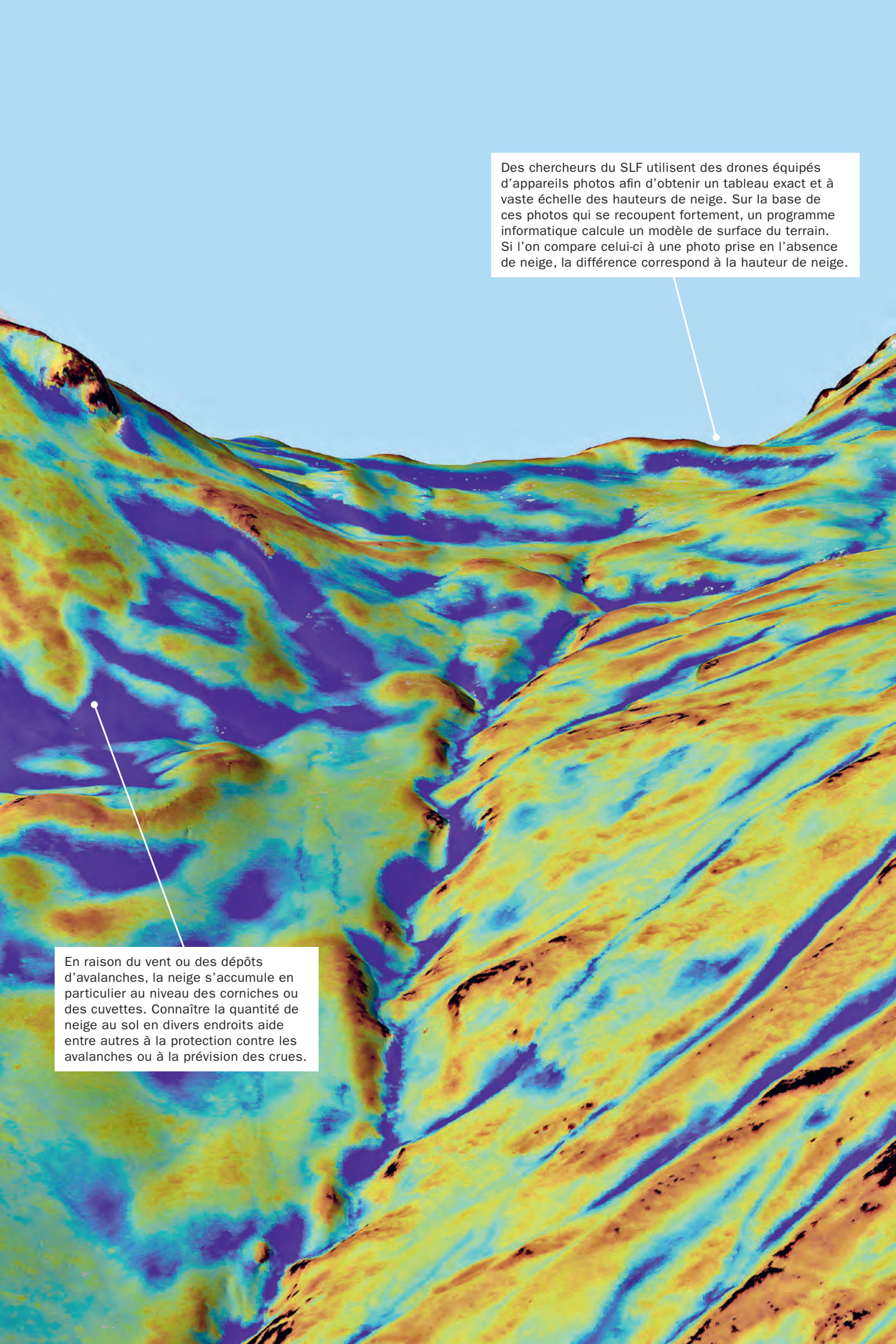
Les analyses d'isotopes permettent par ailleurs de déchiffrer des informations climatiques contenues dans du vieux bois. Chaque cerne correspond en effet exactement à une année. Grâce à l'étude des rapports isotopiques dans un cerne, les chercheurs obtiennent des informations qui portent précisément sur l'année en question. Les rapports entre deux isotopes de carbone et deux d'oxygène donnent en les combinant des indications sur la sécheresse: si la proportion d'isotopes «lourds» est accrue, cela signifie des températures élevées et des précipitations faibles.

Les résultats sont même encore plus pointus: le laboratoire d'isotopes possède un appareil très particulier, un appareil d'ablation au laser: «Au niveau mondial, c'est l'un des premiers utilisé par la recherche», affirme Matthias Saurer, responsable du laboratoire. Il perce en les brûlant des trous infimes et extrêmement précis dans le bois. La «fumée» qui se dégage et les isotopes qu'elle comporte sont ensuite étudiés dans le spectromètre de masse.

«Avec l'appareil d'ablation par laser, des dizaines d'analyses peuvent être effectuées à l'intérieur d'un cerne», poursuit Matthias Saurer. «Lors de reconstitutions du climat, on peut dire non seulement que la sécheresse a sévi telle année, mais aussi aux mois de mai et de juin de telle année». Les méthodes disponibles à ce jour ne permettaient pas ces différenciations. Les nouvelles données à résolution plus fine aident ainsi à rendre les modèles climatiques plus précis.

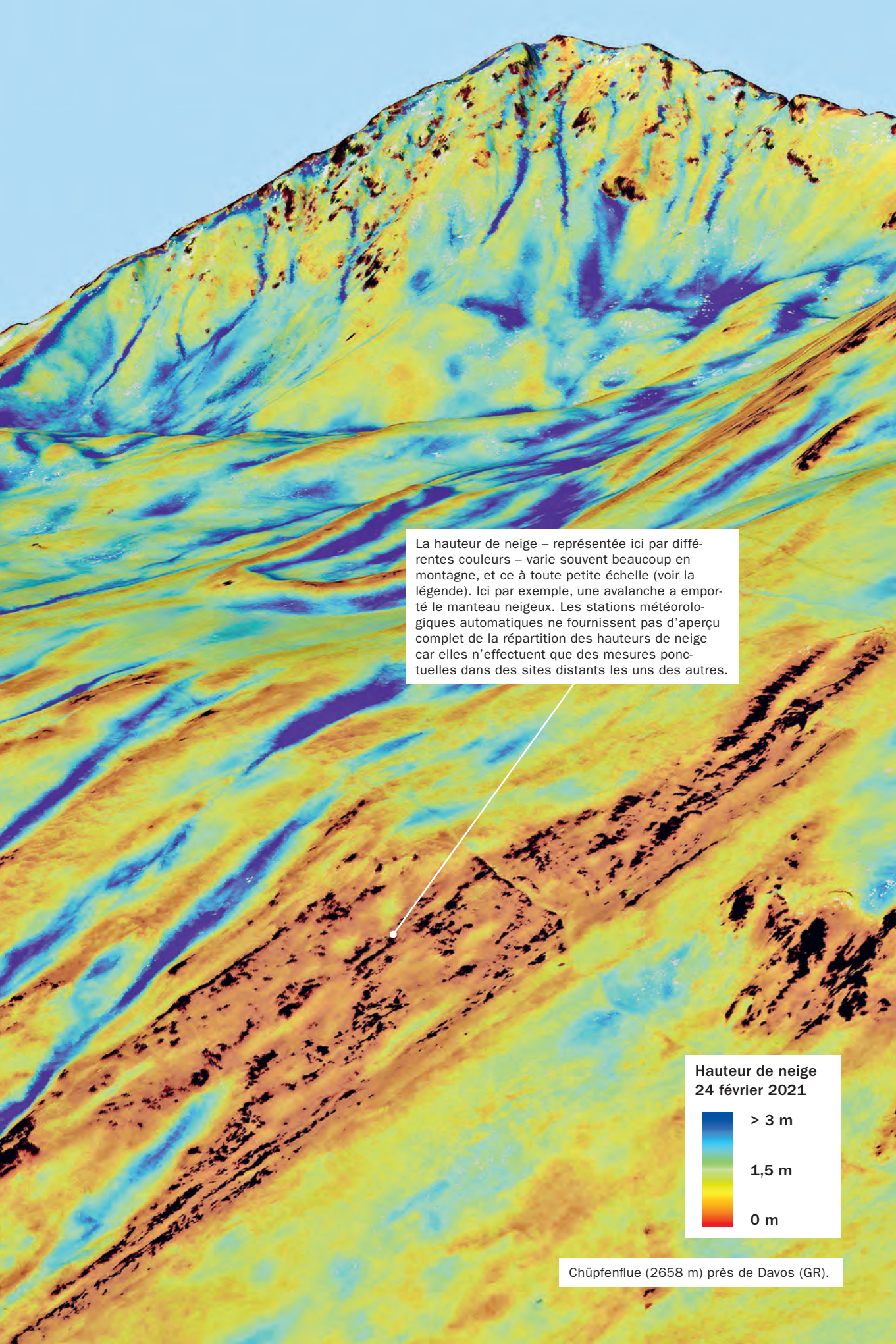
Dans le laboratoire, des bois tropicaux sont actuellement étudiés avec cette nouvelle méthode. Ces bois ne présentant pas de cernes, il est difficile d'établir leur âge. «Mais le bois a d'autres structures, des bandes claires notamment», indique Matthias Saurer. Grâce aux mesures à haute résolution, les chercheurs veulent par exemple découvrir si les structures visibles représentent les périodes sèches ou pluvieuses.

De ces démarches pourrait résulter une profusion de données climatiques et météorologiques. Or, «étant donné la rareté des études sous les Tropiques, de telles informations font largement défaut, et vu l'immense surface concernée, il serait important d'y connaître les répercussions du changement climatique» explique le chercheur. L'analyse des isotopes pourrait combler cette lacune. *(kus)*

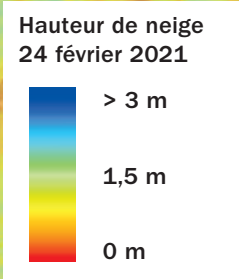


Des chercheurs du SLF utilisent des drones équipés d'appareils photos afin d'obtenir un tableau exact et à vaste échelle des hauteurs de neige. Sur la base de ces photos qui se recourent fortement, un programme informatique calcule un modèle de surface du terrain. Si l'on compare celui-ci à une photo prise en l'absence de neige, la différence correspond à la hauteur de neige.

En raison du vent ou des dépôts d'avalanches, la neige s'accumule en particulier au niveau des corniches ou des cuvettes. Connaître la quantité de neige au sol en divers endroits aide entre autres à la protection contre les avalanches ou à la prévision des crues.



La hauteur de neige – représentée ici par différentes couleurs – varie souvent beaucoup en montagne, et ce à toute petite échelle (voir la légende). Ici par exemple, une avalanche a emporté le manteau neigeux. Les stations météorologiques automatiques ne fournissent pas d’aperçu complet de la répartition des hauteurs de neige car elles n’effectuent que des mesures ponctuelles dans des sites distants les uns des autres.



Chüpfenflue (2658 m) près de Davos (GR).

PERGÉLISOL **Détecter la glace cachée.** Depuis près de 25 ans, les chercheurs du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF examinent les sols en haute montagne. Leur objectif: découvrir les sols gelés en permanence et identifier les modifications.

Qui souhaite construire doit connaître la constitution du sous-sol. Or celle-ci n'est pas toujours facile à déterminer, notamment en montagne. On y trouve du pergélisol, c'est-à-dire des sols dont la température est toute l'année au-dessous du point de congélation. L'été, la couche supérieure de ces sols se réchauffe néanmoins au-dessus de zéro degré Celsius, la glace fond et l'eau suinte à travers les couches. Ces processus modifient la structure du sol et de ce fait la portance du sous-sol. Les stations de remontées mécaniques, les restaurants ou les ouvrages paravalanches en montagne peuvent ainsi devenir instables. Le changement climatique renforce ces problèmes et accélère le dégel.

Identifier les pergélisols est toutefois difficile car il s'agit d'un phénomène thermique invisible. Pour ce faire, les chercheurs du SLF ont dès 1996 procédé à des forages dans le pergélisol des Alpes suisses et placé des capteurs de températures à des profondeurs de vingt à cinquante mètres. On dénombre depuis cette date plus de trente trous de forage, tous protégés des intempéries par un puits couvert. Neuf de ces trous font partie du réseau suisse d'observation du pergélisol PERMOS, en charge du monitoring du pergélisol à l'échelle suisse. Le SLF est l'un des six instituts partenaires de PERMOS et dirige le réseau de mesures avec l'Université de Fribourg. La plupart des instruments de mesures envoient leurs données automatiquement au SLF, les chercheurs doivent toutefois se rendre auprès de certains forages en haute montagne l'été afin de sécuriser l'enregistrement des données.

Pour Marcia Phillips, chef du groupe Pergélisol au SLF, on se croirait alors dans un polar: «Nous ne savons jamais dans quel état nous allons trouver les forages et les instruments de mesure. Une fois, un immense bloc rocheux s'était effondré et bloquait le couvercle d'un puits. Nous avons dû le dynamiter.» Lorsque les données enregistrées sont sécurisées, le travail de détective peut enfin commencer. «Nous essayons par exemple de comprendre quelle fut l'influence du manteau neigeux ou des températures atmosphériques sur le sol.»

Difficulté supplémentaire, les pergélisols se réchauffent et se refroidissent en différé par rapport aux températures extérieures: les étés chauds ne seront décelables dans les données que plusieurs mois plus tard. Les chercheurs ne découvrent aussi l'influence du changement climatique dans leurs données qu'avec un décalage dans le temps. Mais il est clair désormais que le dégel touche également les couches profondes des sols jusqu'alors gelés en permanence.

Les sols sous courant électrique

Ces mesures ne donnent toutefois pas d'informations cruciales: si la température dans le sol est à zéro degré Celsius, on peut y trouver de la glace comme de l'eau. La glace étant un matériau très plastique capable de se déformer et de

Carte SLF des
pergélisols et des
sols gelés:
www.slf.ch/pgim-fr



Dans les Alpes suisses, à l'intérieur de plus de trente forages, les chercheurs mesurent les températures dans le sol de montagne.

glisser, sa présence modifie la stabilité du sol. Les chercheurs du SLF misent ainsi sur d'autres méthodes de mesures pour détecter la glace dans le sol. En collaboration avec Jacopo Boaga, géophysicien à l'Université de Padoue, ils ont par exemple testé la tomographie à résistance en 2019 au Schafberg. Celle-ci livre des informations sur le sous-sol depuis la surface.

Des électrodes en acier inoxydable sont ainsi enfoncées dans le sol, à un demi-mètre de profondeur et à intervalles réguliers. Via ces électrodes, les chercheurs font circuler du courant. Du fait de la conductivité différente de la glace, de l'eau, de l'air et de la roche, on peut déterminer la constitution du sol.

De façon indirecte, il est possible par ailleurs d'identifier le pergélisol via les formes de terrain. Au pied des versants se trouvent souvent des glaciers rocheux, une forme de terrain typique pour le pergélisol de montagne. Mélanges d'éboulis et de glace, ces glaciers rocheux se déplacent lentement par reptation vers la vallée. Robert Kenner, arpenteur-géomètre au SLF, mesure ces changements de la topographie en montagne à l'aide de scanners laser, de photos aériennes et d'autres méthodes.

Robert Kenner a combiné les données de toutes les mesures pour élaborer la carte SLF des pergélisols et des sols gelés. Celle-ci, très appréciée, distingue ceux qui sont riches ou pauvres en glace: «Elle livre aux bureaux d'ingénieurs et aux entreprises de construction des indications sur la présence potentielle de pergélisol. D'autres clarifications sont encore nécessaires sur place avant le premier coup de pelle», précise Marcia Phillips. *(lbo)*

Travaux sur le terrain
en montagne:
www.slf.ch/
glaciers-rocheux

POLLUTION ENVIRONNEMENTALE **Sur les traces des polluants et des toxines environnementales.** Pour protéger l'être humain et l'environnement, des chercheurs du WSL surveillent les types et les quantités de polluants qu'ils peuvent détecter en forêt et dans d'autres écosystèmes. Le laboratoire central les soutient dans leur démarche.

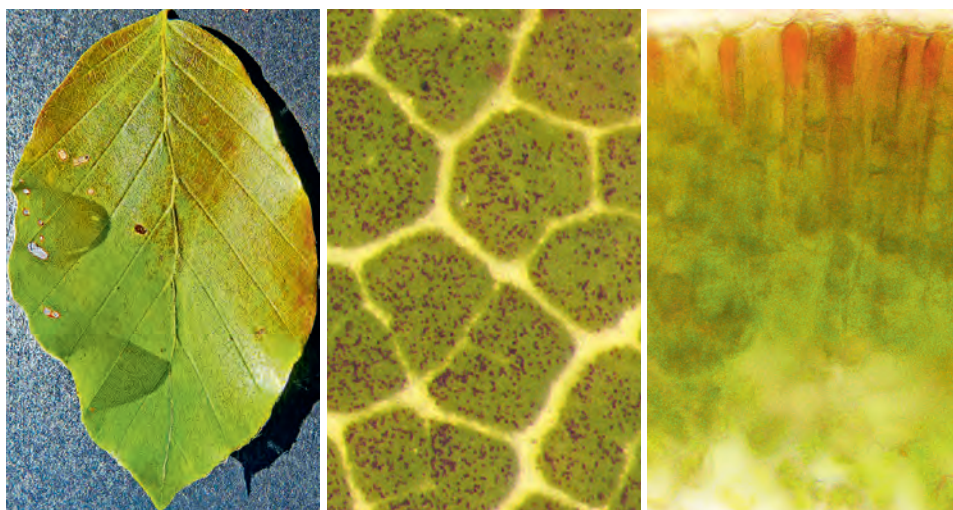
Ils sont invisibles et néanmoins partout: les polluants, à l'image de l'oxyde d'azote, du chlore, des métaux lourds, de l'ammoniac ou du nitrate. Ils gagnent l'atmosphère à la suite de la combustion du pétrole et de l'essence par l'industrie et l'agriculture; la pluie les introduit dans le sol où des organismes vivants les absorbent. Certaines toxines attaquent les cellules végétales, d'autres mettent les flux de substances de la nature sens dessus dessous. En recherche écologique, l'analyse des polluants est incontournable.

La boucle est bouclée dans le laboratoire central du WSL. Là, des échantillons issus du terrain et de la forêt suivent un parcours d'analyses. Sur fond de bourdonnement, un préleveur-échantillonneur automatique aspire une petite quantité de solution et la pulvérise dans un appareil gris. En son antre se trouve l'endroit le plus chaud du WSL: 10 000 degrés de température, et une petite flamme verte de plasma d'argon qui flamboie. L'appareil, un spectromètre d'émission atomique, permet de détecter les particules chargées positivement, dont les métaux lourds – plomb, cadmium, cuivre, zinc – très toxiques selon leur concentration.

Les liquides testés proviennent d'un sol forestier situé quelque part en Suisse. Sur plus de deux-cents placettes, Stephan Zimmermann, pédologue au WSL, collecte de la terre à différentes profondeurs. Il répète un inventaire de sols sys-



Répétition d'un échantillonnage du sol à l'échelle de la Suisse. Cela permet par exemple d'identifier des sites contaminés par l'azote.



L'ozone, gaz réactif et toxique, endommage les cellules assimilatrices dans les feuilles. Les symptômes d'ozone fournissent des bioindications de la dose absorbée par les plantes.

tématiques à l'échelle de la Suisse, réalisé dans le cadre de l'inventaire sur l'état des forêts en 1993. «Nos données nous permettent d'évaluer l'état des sols dans la plupart des stations forestières suisses», explique-t-il. Ces informations servent de référence pour des mesures politiques comme des valeurs limites plus strictes. «Avec la répétition des inventaires, nous pourrions détecter des modifications.»

Les conséquences de la production industrielle

Les produits chimiques, les gaz d'échappement et la surfertilisation figurent parmi les conséquences de deux-cents ans d'industrialisation, largement renforcées au XX^e siècle par la croissance de la population et une prospérité florissante. À partir des années 1970, le grand public a de plus en plus pris conscience des effets secondaires. Parmi les premiers lanceurs d'alerte du WSL se trouvaient Theo Keller et Madeleine Günthardt-Goerg. Dès 1971, ils effectuèrent entre autres un monitoring environnemental qui, d'après les dégâts sur le feuillage du hêtre, surveillait les répercussions du chlore et des métaux lourds issus d'une usine d'incinération de déchets située dans le canton de Glaris.

L'explosion du réacteur nucléaire de Tchernobyl en 1986 a mis en évidence l'importance d'une surveillance régulière des polluants. Un nuage de césium 137 radioactif s'est alors répandu au-dessus de l'Europe du nord et de l'ouest; en Suisse, des retombées radioactives ont atteint le Tessin, le Jura et le nord-est du pays. Quelle chance que le premier Inventaire forestier national de 1983 à 1985 ait permis de collecter des échantillons de sol sur l'ensemble des 12 000 placettes! Après l'inventaire des sols de 1993 mentionné ci-dessus, il a donc été possible de comparer les valeurs césium avec celles mesurées avant l'accident. Selon Stephan Zimmermann, elles confirment que le césium était encore présent dans les horizons supérieurs aux endroits où il avait plu pendant l'épisode de pollution. Cette donnée allait dans le sens des mesures de précaution, comme celle incitant à ne pas consommer les champignons collectés à ces endroits.

Des polluants en forêt

Sur les années 1980 planait aussi l'ombre menaçante de la mort des forêts: les polluants atmosphériques rendaient-ils les arbres malades? Ce fut, à l'échelle

Pour en savoir plus sur le LWF: wsl.ch/lwf-fr

de l'Europe, le début d'une surveillance intensive des dépôts de polluants et de l'état de santé des forêts, surveillance toujours en place aujourd'hui. La Suisse y contribue notamment par la transmission de données issues des dix-neuf placettes du programme de recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers (LWF). Depuis 1994, celui-ci procède à des relevés minutieux des concentrations de polluants dans l'air, l'eau, le sol et les plantes pour déterminer les flux de substances présentes.

Les analyses des échantillons provenant des placettes LWF sont depuis devenues quasiment un mandat permanent du laboratoire central. Dans les extraits de sols et des échantillons de plantes et d'aiguilles, de même que dans l'eau de pluie et de surface, la chromatographie ionique identifie les particules chargées négativement. Les chlorures, nitrates, phosphates et sulfates peuvent – selon la quantité – agir comme fertilisants ou comme polluants.

Le programme LWF a corroboré les succès des mesures de protection de l'air dans les années 1990. La loi a dès lors rendu obligatoires les catalyseurs automobiles, le fioul désulfuré et les filtres à gaz de combustion dans l'industrie. Par la suite, les sulfates, l'une des sources des «pluies acides», et l'aluminium dans l'eau des sols ont nettement diminué. C'est ce que révèlent les données du monitoring forestier européen où sont aussi intégrés les résultats du LWF.

Les dépôts d'azote en forêt ont aussi baissé, bien qu'ils demeurent trop élevés. Les transports et l'agriculture sont les principaux responsables de ces polluants atmosphériques. Même si l'azote est en fait un nutriment, lors de dépôts importants il peut ralentir la croissance des arbres, explique Sophia Etzold, collaboratrice au sein du LWF. «Un déséquilibre de nutriments peut menacer le bon fonctionnement d'un écosystème forestier.»

D'après le Rapport forestier suisse de 2015, les charges critiques pour l'azote – en dépit des améliorations – continueront d'être dépassées sur environ 90 % de la surface forestière. L'inventaire des sols de Stephan Zimmermann fournit à cet effet des indications utiles: «Si nous connaissons les surfaces où les dépôts sont les plus élevés, nous pouvons prendre des mesures aux endroits en question», déclare-t-il. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) effectue des essais pilote en vue de traiter les sols forestiers fortement acidifiés avec de la chaux. «La stratégie principale doit néanmoins consister à réduire les émissions à la source», affirme le chercheur.

Cela a fonctionné pour les métaux lourds: des normes environnementales plus strictes ayant permis de diminuer leurs émissions, ils ne sont plus surveillés en priorité. Le laboratoire central a donc réduit les capacités d'analyse les concernant: «Nous sommes des prestataires», précise Daniele Pezzotta, responsable du laboratoire central. «Nous examinons ce que désirent les chercheurs.»

Les métaux lourds ont toutefois une extrême longévité, le problème n'est donc pas résolu une fois pour toutes. Dans le cadre d'une étude en cours au Valais, Beat Frey, microbiologiste au WSL, examine les répercussions du mercure sur la diversité des microorganismes des sols. Entre 1930 et 1990, ce métal lourd s'est échappé de l'usine Lonza à Viège pour gagner l'environnement. Les résultats ont surpris Beat Frey: «La microflore des sols peut s'adapter à long terme aux valeurs élevées de mercure dans le sol.» Les microorganismes transforment en effet le mercure toxique soluble des cellules en une forme gazeuse, puis le rejettent.

Film sur le LWF:
wsl.ch/fr/lwf-video



Une arboriste-grimpeuse escalade un épicéa sur la placette LWF de Seehornwald, près de Davos, afin de collecter des aiguilles pour des analyses en laboratoire.

Reconnaître les toxines aux dégâts qu'ils occasionnent

Un problème non résolu lié à des polluants demeure l'ozone. Dans les couches basses de l'atmosphère, ce gaz très réactif se forme à partir d'oxydes d'azote issus des gaz d'échappement générés par le trafic, en interaction avec des composés organiques volatils et sous l'effet du rayonnement solaire. Les feuilles et les aiguilles endommagées par l'ozone présentent des altérations ponctuelles de la coloration du feuillage, de couleur jaunâtre à rouge brun, parsemées dans des décolorations plus uniformes du feuillage. «On a reconnu précocement le potentiel de diagnostic offert par les dégâts foliaires causés par l'ozone», explique Pierre Vollenweider, spécialiste en physiologie végétale. «Aujourd'hui, ces symptômes sont systématiquement utilisés en tant que bioindications des effets de la pollution par l'ozone dans tous les programmes de monitoring forestier en Suisse et en Europe.»

Le travail des détectives de polluants au WSL ne s'arrête pas à la documentation des dégâts et des concentrations: en sciences, ce travail de détective consiste aussi à compiler toutes les mesures et les résultats, et à les interpréter. Cette tâche complexe, qui ressemble parfois à un puzzle, fournit ensuite les bases permettant à la politique de prendre des mesures avisées. *(bki)*

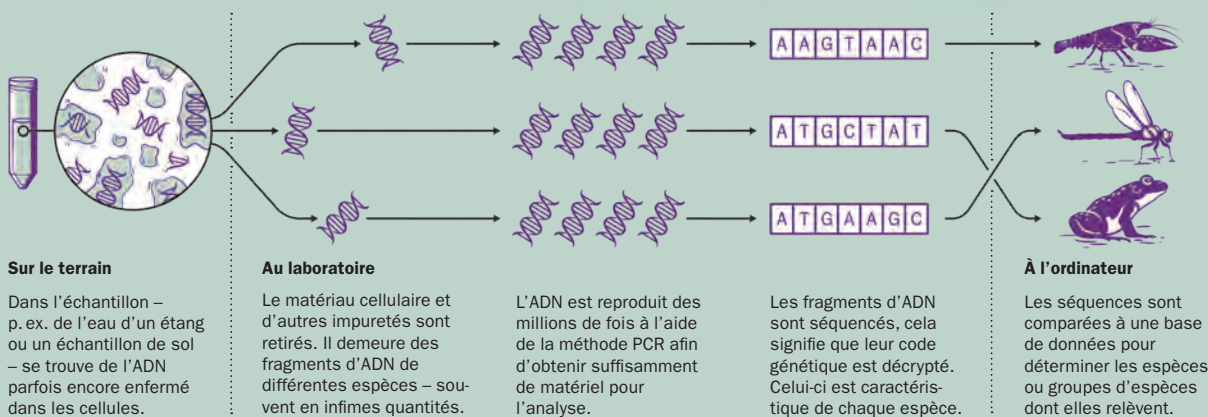
INFOGRAPHIQUE Qui était là? Chaque organisme vivant laisse dans l'environnement des traces typiques de son patrimoine génétique. Des chercheurs du WSL analysent cet ADN environnemental pour identifier les animaux, les plantes, les champignons et les microorganismes.

Collecter des échantillons

L'ADN se trouve partout: les animaux le perdent par exemple avec les cellules mortes de la peau, les cheveux ou la salive; les champignons libèrent des spores; les plantes produisent du pollen disséminé par le vent.



De l'ADN à l'organisme



Dans quel but la méthode est-elle utilisée?



Saisir la répartition des espèces de champignons pour la «Liste rouge»



Détecter à temps des espèces invasives comme l'agrile du frêne



Comparer des biocénoses dans deux habitats différents



Identifier des réseaux de pollinisateurs et de fleurs



Déterminer quels amphibiens vivent dans les milieux aquatiques

UNE-DEUX «Le potentiel de l'ADN environnemental est énorme». Identifier des dizaines de champignons en une seule fois ou découvrir des espèces cachées: c'est possible avec l'ADN environnemental. Andrin Gross, mycologue, et Benedikt Schmidt, herpétologue, débattent des situations où son utilisation est pertinente, et de celles où elle ne l'est pas.

Qu'est-ce que l'ADN environnemental?

BS: Il est possible de répondre par un exemple: lorsque l'on va à la piscine, on est content que l'eau ait été nettoyée. Mais tout ce qui aurait pu autrement s'y trouver – cellules cutanées, muqueuses ou déjections –, aurait intéressé un biologiste. Ces traces contiennent en effet de l'ADN, c'est-à-dire du patrimoine génétique. Il est possible d'extraire celui-ci de l'eau et de déterminer l'espèce dont il relève (voir l'infographique p. 14). Dans une piscine, il s'agirait avant tout de personnes, mais dans un étang toutes les espèces qui y vivent à un moment seraient concernées.

AG: Et cela ne s'applique pas uniquement à l'eau. L'ADN peut provenir de n'importe quel échantillon environnemental: eau, sol, sédiments de cours d'eau ou carotte de glace. Tous ces échantillons contiennent du patrimoine génétique. D'où le nom d'ADN environnemental ou eDNA, de l'anglais «environmental DNA».

Quelles problématiques de recherche peut-on ainsi clarifier?

BS: La question clef est: certains organismes sont-ils présents dans un habitat, oui ou non? Il peut s'agir de groupes d'espèces ou d'une espèce donnée.

AG: Un domaine possible d'utilisation de l'eDNA est de ce fait le monitoring des espèces. On inventorie ainsi les espèces présentes à tel et tel endroit. Ces données nous sont par exemple nécessaires pour les Listes rouges, lesquelles se fondent sur des données d'observation afin que soit évaluée la catégorie de menace des espèces.

Est-ce que l'on ne peut pas, dans ce but, aller simplement sur le terrain et rechercher les espèces?

AG: En principe oui. C'est d'ailleurs ainsi que l'on procède actuellement. Mais mon domaine de travail, le royaume des champignons, est extrêmement riche en espèces. Rien qu'en Suisse, près de 10 000 espèces ont été à ce jour identifiées, et le nombre véritable est sans doute bien plus élevé. L'eDNA possède dès lors un immense potentiel. Une fois sur le terrain pour le monitoring, de nombreuses espèces de champignons nous échappent car elles sont trop petites. Et les autres demandent cinq spécialistes pour être déterminées. C'est un travail colossal. La situation est toute autre avec l'eDNA: avec un échantillon environnemental et une charge de travail assez faible, des centaines d'espèces pourront être identifiées simultanément.



Benedikt Schmidt est herpétologue dans le Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse (info fauna karch) et chef d'un groupe de recherche à l'Université de Zurich.



Andrin Gross travaille comme mycologue dans le WSL et est responsable du centre national de données «SwissFungi».

BS: Lors du monitoring des amphibiens, on peut également économiser du temps et de l'argent avec l'eDNA. Nous collectons par exemple des données sur leur répartition pour documenter leurs conditions de vie en Suisse. Lorsqu'il est difficile de voir l'intérieur d'un étang à cause des plantes qui l'obstruent ou d'une large ceinture de roseaux, il est fastidieux d'y effectuer des recherches. Si l'on utilise l'eDNA à la place, il suffit de prélever un échantillon d'eau pour y rechercher le patrimoine génétique des amphibiens. C'est nettement plus facile.

SwissFungi:
swissfungi.wsl.ch

Existe-t-il d'autres avantages?

BS: Oui, ne serait-ce qu'au niveau de la protection des animaux. Si nous voulons nous assurer de la présence ou non dans un étang d'une mycose dangereuse pour les amphibiens, nous pouvons analyser un échantillon d'eau avec l'eDNA, au lieu de capturer les amphibiens en vue de prélèvements cutanés. Nous obtiendrons alors éventuellement de multiples informations en une seule fois, alors qu'un monitoring classique se limite à la collecte de données sur les amphibiens. Ces échantillons d'eau avec l'eDNA permettraient aussi d'identifier les libellules vivant sur les lieux étudiés. Cette recherche me plairait beaucoup.

AG: De surcroît, on découvre parfois davantage d'espèces que celles connues jusqu'ici, même dans un groupe de champignons donné. Ainsi, lors de nos études sur l'eDNA, nous avons identifié beaucoup plus de prairies coralliennes

différentes génétiquement – il s'agit de champignons avec des fructifications de type corallien –, que celles décrites jusqu'à présent. Il existe manifestement plus d'espèces que celles déjà répertoriées. Cela mériterait une analyse plus poussée.

BS: Chez les amphibiens, la grenouille verte est un cas emblématique. Il existe quatre ou cinq espèces de grenouilles invasives, et deux indigènes. L'une d'entre elles est issue d'un croisement de deux autres espèces de grenouilles. Et elles peuvent toutes se mélanger les unes aux autres. Des caractéristiques extérieures ne permettront pas d'aller plus loin. Les méthodes avec l'eDNA sont alors très précieuses car elles donnent des attributions bien plus claires que des méthodes traditionnelles.

Si l'eDNA possède tant de points forts, a-t-on encore besoin d'un monitoring classique?

BS: Nous, oui. Pour nous, l'eDNA est simplement un outil supplémentaire très pertinent dans certaines situations comme pour les grenouilles vertes ou un étang recouvert de végétation. Si l'on voit bien l'intérieur d'un étang, le monitoring classique reste meilleur. Il apporte en effet de précieuses informations additionnelles notamment sur la présence ou non de jeunes animaux, ou sur la taille de la population.

AG: Cette distinction est moins pertinente pour nous. Car chez les champignons, les nombres d'individus sont difficiles à recenser avec des méthodes classiques.

«L'eDNA peut permettre une économie de temps et d'argent.»

L'eDNA permet-il aussi de découvrir de très petites populations qui auraient sinon échappé à notre regard?

BS: Non. Avec l'eDNA, il sera parfois même plus difficile qu'avec les méthodes classiques de recenser des espèces rares ou de petites populations. Si dans un étang l'on a capturé avec difficulté un seul triton, son patrimoine génétique pourra éventuellement ne pas être détecté. Pourquoi? Parce que l'ADN ne se répand pas de façon homogène dans l'eau, et qu'il risque de ce fait d'être absent de l'échantillon prélevé.

AG: Nous connaissons le même problème. Si nous capturons, dans un piège à spores, des spores fongiques présentes dans l'air, il est peu fréquent d'y trouver des espèces rares. La grande majorité des spores tombent en effet à terre à quelques mètres seulement des fructifications fongiques. Il faut donc bien réfléchir à l'endroit où seront installés les pièges à spores.

Lors du travail de détective avec l'eDNA, est-on parfois confronté à des surprises ?

BS: Oui, nous avons déjà vécu de telles situations: on reçoit une liste d'espèces du laboratoire où figure un triton que l'on n'avait encore jamais vu à l'endroit indiqué. La question qui se pose alors est la suivante: le résultat est-il juste? À partir de combien de séquences d'ADN de cette présumée espèce de triton suis-je sûr que l'identification sera correcte? Nous travaillons à la définition de telles valeurs seuil. Si j'avais un triton dans la main, ces questions ne se poseraient pas, même s'il peut y avoir des erreurs d'identification.



Grâce à des pièges à spores (sur la photo à gauche un piège passif, à droite un piège actif), les chercheurs «capturent» des spores fongiques présentes dans l'air. Au laboratoire, ils étudient ensuite leur patrimoine génétique.

AG: Des surprises peuvent aussi survenir lorsque l'on évalue à nouveau les données de l'eDNA à un moment ultérieur, avec de meilleures bases de données de référence. Car nous ne pouvons identifier des espèces à l'aide de l'eDNA que si leur empreinte digitale génétique est archivée dans une base de données. Or c'est loin d'être le cas pour toutes les espèces de champignons. Dans un projet du WSL, nous sommes en train de recenser les empreintes digitales génétiques de tous les champignons de la Liste rouge de Suisse, soit plus de neuf-cents espèces. Quand nous disposerons de ces empreintes, nous pourrions rechercher dans les précédents sets de données d'eDNA si une espèce était déjà présente auparavant. Il sera ainsi possible de remonter le temps. C'est un immense avantage de l'eDNA: les sets de données prennent de la valeur. *(kus)*

Karch:
www.karch.ch

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE **Lorsque la machine apprend à prédire le danger d'avalanches.** Dans de nombreuses situations, l'ordinateur est désormais capable d'évaluer le danger régional d'avalanches quasiment aussi bien que les spécialistes. Une chercheuse du SLF le lui a appris.

Chaque jour, les prévisionnistes du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF étudient des milliers de données sur les conditions météorologiques et le déroulement de l'hiver afin d'estimer le danger d'avalanches grâce à leur grande expérience. Dans les années 1990 déjà, des essais avaient été entrepris pour les soutenir à l'aide d'analyses de données automatisées. Sans grand succès – les données et la puissance de calcul faisaient alors défaut.

Cristina Pérez Guillén, spécialiste en recherche des données, a réalisé une percée majeure en collaboration avec le service de prévision d'avalanches du SLF et le Swiss Data Science Center. «Notre prévision automatique du degré régional de danger d'avalanches est à peu près aussi bonne que celle de l'être humain», déclare la chercheuse espagnole. Elle a testé différents types d'apprentissage automatique pour permettre à l'ordinateur de détecter les rapports entre les données météorologiques et les degrés de danger tels que les définissent les spécialistes. Sur la base d'informations issues des vingt hivers précédents, l'ordinateur a ainsi appris à effectuer lui-même des prévisions d'après les données. L'approche intitulée «Random Forest» a été la plus efficace. Ceci est apparu lorsque la chercheuse a fourni à l'ordinateur des données de mesures issues de deux autres hivers, non pris en compte jusque là, et qu'elle l'a laissé effectuer ensuite des prévisions d'avalanches.

Pour les avalanches sèches uniquement

Lors de l'apprentissage automatique, ce que l'ordinateur apprend et la façon dont il l'apprend ne sont pas perceptibles. Cristina Pérez Guillén peut toutefois déterminer les paramètres que la machine considère comme étant particulièrement importants. Or fait intéressant, il s'agit essentiellement des mêmes facteurs que ceux qui sont considérés comme primordiaux par les prévisionnistes humains, en raison de leur compréhension des processus et de leur expérience: par exemple la quantité de neige fraîche et le transport de la neige par le vent.

Les prévisions automatiques comportent encore des faiblesses face au problème de la neige ancienne, présente en particulier dans les vallées intra-alpines. Le modèle est aussi uniquement adapté aux avalanches sèches. Dès l'hiver 2019/20, de même que cet hiver, le service de prévision des avalanches a évalué la nouvelle méthode en vue d'une utilisation opérationnelle. Thomas Stucki, responsable du service de prévision des avalanches, précise: «L'ordinateur aide à améliorer la cohérence des prévisions et devrait pouvoir nous livrer un deuxième avis valable. Nous, êtres humains, pourrions ainsi nous concentrer d'autant plus sur la traduction des résultats en une prévision compréhensible». Les prévisionnistes auront donc bien toujours du travail. *(bio)*

Chasper Buchli, Davos

«Le col de la Flüela revêt une importance particulière à mes yeux car il relie Davos, mon lieu de résidence et de travail, à l'Engadine. C'est là-bas que j'ai grandi, à Sent, et j'y ai mes racines. Dès que je suis en Engadine, je parle ma langue maternelle, le romanche.»

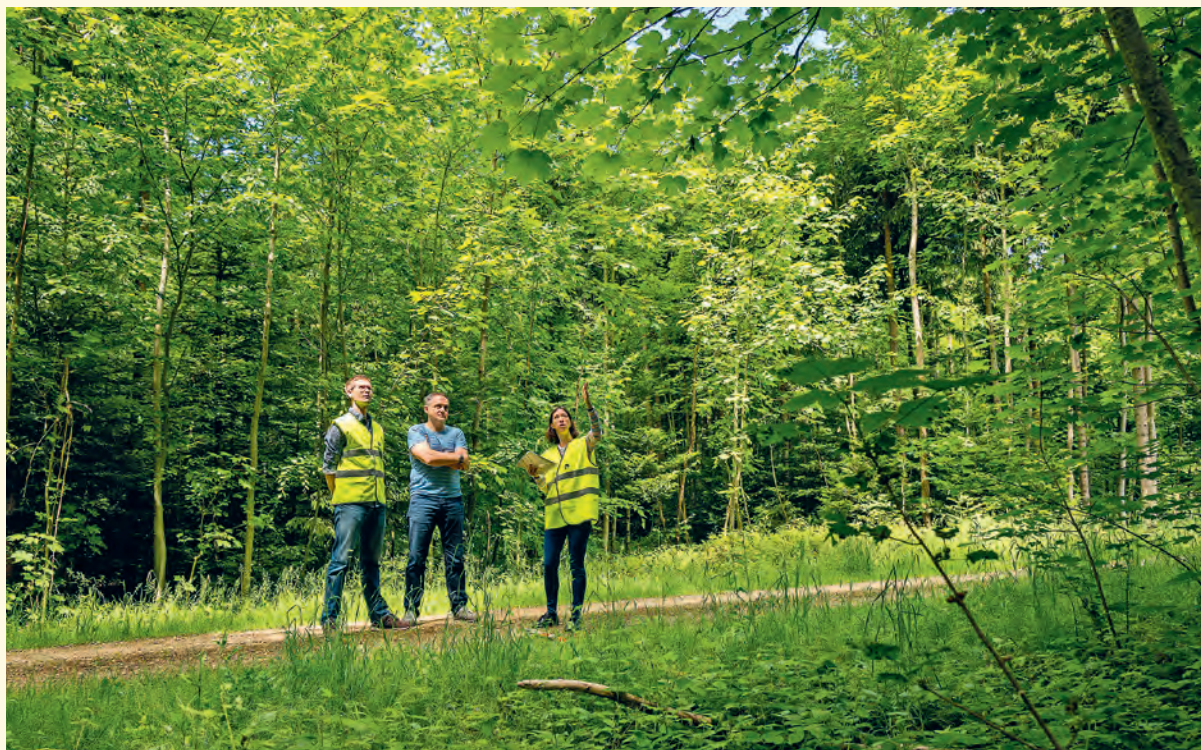


FASCINÉ PAR LES DANGERS NATURELS

Chasper Buchli, électroingénieur, est responsable de l'entretien et du perfectionnement des stations de mesures dans les Alpes suisses qui enregistrent la hauteur de neige, la température et la vitesse du vent. Ces données sont cruciales pour

la recherche et l'élaboration du bulletin d'avalanches. Il trouve passionnant ce travail en relation avec les dangers naturels. «J'aime aussi passer du temps en plein air et apprécie l'alternance entre travail de bureau et sur le terrain.» (sni)

FORÊT Détente et loisirs en forêt: comment la dimension humaine est-elle intégrée dans l’Inventaire forestier national?



Deux chercheurs demandent à un promeneur à quel point la forêt lui plaît.

La forêt doit remplir de nombreuses exigences: fournir du bois, protéger des dangers naturels, favoriser la biodiversité et servir de lieu de détente par exemple. Deux grands programmes d’observation du WSL suivent de près l’évolution de ces fonctions forestières depuis de nombreuses années: l’Inventaire forestier national IFN surveille l’état physique et les modifications de la forêt suisse, tandis que le Monitoring socioculturel des forêts (WaMos) observe le rapport de la population à la forêt.

Grâce à WaMos et à des études antérieures, l’on sait que les caractéristiques physiques de la forêt contribuent à son attrait visuel et à sa valeur récréative. «Mais à ce jour, l’IFN ne prend guère en compte la détente

bien que celle-ci soit une fonction forestière à part entière», regrette Tessa Hegetschweiler du groupe du WSL Recherche en sciences sociales sur le paysage. Le projet «WaMos meets LFI» relie désormais ces deux composantes. Hiver et été, son équipe de recherche a demandé à quelque mille promeneurs ce qui leur plaisait dans cinquante stations IFN très fréquentées. Dans une autre partie de l’étude, mille personnes ont évalué lors d’une enquête en ligne des photos des environs des placettes de l’IFN.

Les résultats se recourent avec ceux d’autres études: les forêts à la diversité structurelle élevée sont appréciées, de même que celles dont la strate buissonnante est peu dense. Les ronces, le lierre et les chablis sont mal

notés, les arbres à terre deviennent à peu près acceptables. Pour la première fois, l'attrait exercé par la forêt est relié à des données et à des sites concrets de l'IFN.

La Suisse est ainsi l'un des premiers pays à avoir intégré une dimension sociale dans les inventaires forestiers originellement axés sur la

production de bois. Selon Christoph Fischer, responsable du Service scientifique de l'IFN, les forestiers s'intéressent beaucoup à ce travail. «Pour eux, la fonction de détente gagne sans cesse en importance.» (bki)

www.wsl.ch/en/wamos-meets-lfi

FORÊT Boom du bois d'énergie: comment influence-t-il les nutriments du sol forestier?

Les matières premières renouvelables à l'image du bois doivent progressivement remplacer les énergies fossiles. C'est pourquoi les entreprises forestières ne récoltent plus seulement les troncs, mais aussi des parties du houppier ou des arbres entiers pour la production d'énergie. Problème: dans certains sites, la forêt se retrouve privée d'une trop grande quantité de nutriments et la fertilité des sols en est menacée.

Pour y remédier, les chercheurs du WSL ont lancé en juin 2020 un projet dans lequel ils étudient le bilan nutritif de deux hêtraies zurichoises. Ils souhaitent mieux pouvoir évaluer la quantité de bois susceptible d'être récoltée en fonction du site. À cet effet, ils mesurent entre autres la teneur en éléments nutritifs de divers éléments de l'arbre tels que les rameaux ou les branches, ainsi que leur part au bilan nutritif complet de la forêt. L'analyse prend aussi en compte d'autres processus d'apports et de pertes de nutriments qui influent sur le bilan, notamment l'apport d'azote en raison de la pollution atmosphérique. Grâce aux données recueillies, les chercheurs développent un modèle qui évalue les répercussions de différentes formes d'exploitation sur le ra-

tio d'éléments nutritifs et sur la fertilité du sol.

«L'objectif consiste à donner aux entreprises forestières un outil pour planifier la récolte, afin qu'elles



Stephan Zimmermann collecte des branches de différentes tailles pour déterminer leur teneur en nutriments.

puissent contribuer de façon active à une production durable et efficace de bois d'énergie», déclare Stephan Zimmermann, responsable du projet. Le modèle identifiera les sols au bilan nutritionnel positif, ceux où la récolte de bois ne menace pas la fertilité du sol. Il doit être disponible à partir de l'automne 2023. (fga)

PAYSAGE Une agriculture productive qui soit bénéfique à l'environnement, à l'être humain et au paysage: est-ce possible?



Vallée de la Reuss en 1933 (en haut) et en 2020 (en bas): la forte réduction du nombre d'arbres est notable. Elle est d'une part liée à l'abattage des arbres fruitiers encouragé par la Confédération dans les années 1950, et d'autre part à la mécanisation croissante de l'agriculture. En témoignent les parcelles de champs nettement plus étendues.

Depuis les années 1950, l'agriculture en Europe a drastiquement changé. Grâce à des parcelles agricoles plus étendues, cultivables mécaniquement, et à l'utilisation d'engrais et de pesticides, elle produit nettement plus de denrées alimentaires par mètre carré. Cette intensification a néanmoins eu lieu aux dépens de la nature et du paysage. Comment y remédier?

Tel est l'objet d'étude du projet européen SIPATH auquel participent des chercheurs du WSL, d'Agroscope et de Vrije Universiteit (VU) Amsterdam. La question est la suivante: «Comment produire davantage de calories avec des effets négatifs moindres?», demande Matthias Bürgi, co-chef du projet relevant de l'Unité de recherche Dynamique du paysage du WSL.

L'équipe de recherche examine entre autres cette intensification durable grâce à seize régions d'études de cas réparties dans l'ensemble de l'Europe. «Nous étudions les modifications de l'exploitation ces dernières décennies et en recherchons les éléments moteurs», explique Franziska Mohr, issue du groupe du WSL Systèmes d'utilisation du territoire. Une fois ces éléments identifiés, nous espérons une adaptation des lois ou des subventions en vue de favoriser une production de denrées alimentaires plus écologique, et néanmoins économique.

Où sont passés tous les arbres fruitiers?

La vallée de la Reuss fait partie des régions étudiées – une zone agricole typiquement suisse. Franziska Mohr et Livia Lehmann, étudiante en master de l'Université de Berne, y ont interviewé dix agricultrices et agriculteurs âgés de 57 à 82 ans. Selon eux, l'intensification a été marquée par plusieurs jalons historiques: d'abord, dans les années 1970, l'assainissement de la vallée de la Reuss, avec des mesures de protection contre les crues

et le drainage. Cela a créé de nouvelles terres pour l'agriculture, mais aussi des réserves naturelles. Ensuite, un remaniement parcellaire a permis aux agriculteurs d'exploiter des surfaces d'un seul tenant. Les décennies suivantes, les terres cultivées et les machines devenant de plus en plus grandes, les arbres fruitiers et les haies ont dû s'effacer.

Un moment décisif à l'échelle politique fut, en 1993, le passage de l'aide à la production au système de paiements directs. Les subventions furent dès lors liées aux conditions écologiques, afin de limiter par exemple les quantités d'engrais azotés. «Lorsque le prix du lait a fortement chuté, les paiements directs furent évidemment une importante source de revenus», a reconnu un agriculteur.

D'autres modifications furent d'ordre technique, comme des salles de traite plus efficaces, ou liées à des bouleversements sociaux. Des citadins venus s'installer dans des villages agricoles se sont plaints de l'odeur du fumier. Un agriculteur a pour cette raison vendu son bétail et planté des sapins de Noël. «Si aucune nourriture n'est plus produite pour l'être humain, cela ne contribue en rien à une intensification durable», constate Matthias Bürgi.

Ces dernières années, l'évolution s'est poursuivie dans le sens d'une libéralisation du marché. Certaines entreprises se sont agrandies pour demeurer concurrentielles, d'autres ont dû cesser leurs activités. Les programmes d'encouragement de la biodiversité permettent, sur certaines parcelles d'obtenir une plus grande diversité des espèces plutôt que des denrées alimentaires tout en gagnant de l'argent. De nombreux agriculteurs recherchent ce juste milieu:

«Nous sommes tributaires de bons rendements et d'une exploitation intensive, mais la nature doit aussi trouver sa place», déclare l'un d'entre eux.

Quel avenir voulons-nous?

Le bilan provisoire du projet qui s'étend jusqu'en 2023 est le suivant: dans toutes les zones faisant l'objet d'études en Europe, les circonstances politiques et économiques influent sur les décisions individuelles des agriculteurs. Il est dès lors important que les réglementations prennent en compte les spécificités locales et régionales. «La société doit choisir sa vision de l'avenir», explique Franziska Mohr. Une production efficace grâce aux robots, donc des entreprises de plus grande taille et moins nombreuses? Davantage de surfaces de haute valeur écologique, mais aussi davantage de denrées alimentaires importées? «Il nous importe de thématiser ce dilemme en vue du débat qui sera consacré à ce sujet», précise la chercheuse.

L'équipe du projet veut ainsi élaborer des scénarios possibles en vue d'une intensification durable de l'ensemble de l'agriculture européenne. Ceux-ci prennent aussi en compte des mégatendances telles que le changement climatique, l'évolution démographique, des normes environnementales plus strictes et l'évolution des prix sur le marché mondial. «Ces prochaines décennies devront avoir lieu des modifications profondes de la production alimentaire et de l'exploitation des terres agricoles», soulignent les chercheurs. (bki)

www.wsl.ch/sipath

PAYSAGE Alpes sauvages ou plaines peuplées? Où les installations énergétiques seraient-elles le mieux acceptées?



Les installations d'énergie renouvelable contribuent à la production d'énergie durable. Mais le paysage qui les accueillera doit, selon la population, être en harmonie avec elles pour qu'elles soient acceptées. (Sur la photo, un parc éolien et photovoltaïque à Lachtal, AT.)

Quelque 750 nouvelles éoliennes et des panneaux solaires sur un tiers des toits: voilà ce qui serait nécessaire en Suisse pour atteindre les objectifs de la stratégie énergétique 2050 en matière d'énergie liée au vent et au soleil. Une telle progression s'accompagnera inévitablement de répercussions sur le paysage. Mais où les installations énergétiques seraient-elles le mieux adaptées, et où ne le seraient-elles pas? Des chercheurs du WSL se sont interrogés grâce à l'enquête nationale représentative en ligne «Infrastructures énergétiques dans des paysages suisses typiques». L'un de ses résultats: il règne un consensus au sein de la population sur les endroits pouvant accueillir des installations énergétiques – et sur ceux qui seraient au contraire à préserver.

«On a tendance à vouloir protéger les paysages intacts des Alpes, des Préalpes et du Jura de ces développements», résume Boris Salak, cher-

cheur au WSL. Si on y trouve déjà des infrastructures à l'image de remontées mécaniques, les installations énergétiques dérangent moins. La population helvétique identifie surtout les espaces urbains et les agglomérations des plaines comme «paysages potentiellement adaptés à la production énergétique».

Les expériences individuelles sont importantes

Une installation énergétique est-elle considérée par la population comme adaptée ou inadaptée au paysage (en anglais «landscape technology fit»)? La réponse dépend largement de l'attitude individuelle face à la nature, comme des expériences personnelles liées aux installations énergétiques. Croire en l'utilité de la nature pour l'être humain ou avoir déjà des installations énergétiques près de chez soi conduit à une plus grande acceptation. Autre point essentiel: la per-

ception même des paysages et des installations énergétiques. À travers ceux-ci, les habitants voient-ils plutôt une mécanisation du paysage ou un symbole de la durabilité?

Le type d'installation compte aussi: les paysages énergétiques avec – peu de – panneaux solaires sont même plus appréciés que ceux qui en sont dépourvus. Ce n'est en revanche pas le cas des éoliennes et des lignes à haute tension: peut-être, suggère Boris Salak, à cause de «l'image de marque» des installations: «On lit souvent des articles soulignant les problèmes liés aux éoliennes alors que l'énergie solaire a rarement mauvaise presse à ce jour.»

C'est pourquoi, selon lui, il faut bien être conscient de tous ces proces-

sus lors de la planification. «En plus des aspects pratiques et écologiques, il faut prendre en compte le paysage lui-même et son importance pour la population», insiste le chercheur. Telle fut aussi la conclusion d'une autre étude du WSL sur ce thème centrée sur la région. «Dans ce cas également, il est recommandé d'impliquer le plus tôt possible la population dans les processus de décision.» Les habitants veulent en effet qu'on soit à leur écoute, constate Boris Salak: l'enquête donnait aussi la possibilité de ne pas choisir de scénario particulier et ainsi de s'abstenir. Cette option n'a quasiment pas été utilisée. (kus)

www.wsl.ch/en/energyscape

PAYSAGE Se promener pour un travail de recherche

Zurich, trafic pendulaire du soir. Une voiture après l'autre nous dépasse en vrombissant. Les jardinets sur rue sont en fleurs. Nous nous promenons en ville. Cette balade est-elle vraiment apaisante? Julia Schaupp souhaite le découvrir: la doctorante du WSL étudie à quel point la verdure environnante et le bruit de la circulation influent sur l'effet relaxant des promenades en forêt ou en ville.

Elle demande donc à des personnes test d'aller se promener. Leur niveau de stress est mesuré avant, pendant et après cette promenade, via des indicateurs de stress corporel à l'image des niveaux de cortisol.

L'étude de Julia Schaupp relève d'un projet sur le bruit dans les espaces verts, mené conjointement par le WSL et l'EMPA, le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche. «Nous voulons découvrir dans quelle mesure le bruit nuit à la

détente», explique Silvia Tobias, responsable du projet, «et quelles qualités acoustiques et paysagères favorisent la détente en plein air».

Ces questions sont mises en lumière dans une perspective à 360 degrés: via des essais en laboratoire sur les réactions face au stress par exemple, mais aussi grâce à une enquête à l'échelle suisse sur le caractère reposant du paysage. L'étude de Julia Schaupp sur le terrain est ainsi une sorte d'«interface» entre le laboratoire et la réalité.

Dans un contexte d'urbanisation croissante, connaître l'influence du bruit sur l'effet apaisant des espaces verts s'avère important. Les résultats du projet, attendus en 2024, illustreront les manières de préserver ou de revaloriser des havres de paix en ville et autour des villes. (kus)

www.wsl.ch/restore

BIODIVERSITÉ Petits mais précieux: les habitats des arbres augmentent la biodiversité en forêt

De grandes branches mortes, des cavités, des champignons sur l'écorce: de telles structures sur un arbre vivant offrent aux coléoptères, aux araignées ou aux oiseaux d'importants microhabitats. Plus la forêt comprendra d'arbres sur pied de ce type, plus elle sera précieuse sur le plan écologique. Si du bois mort s'y ajoute, les bases d'une biodiversité élevée sont posées.

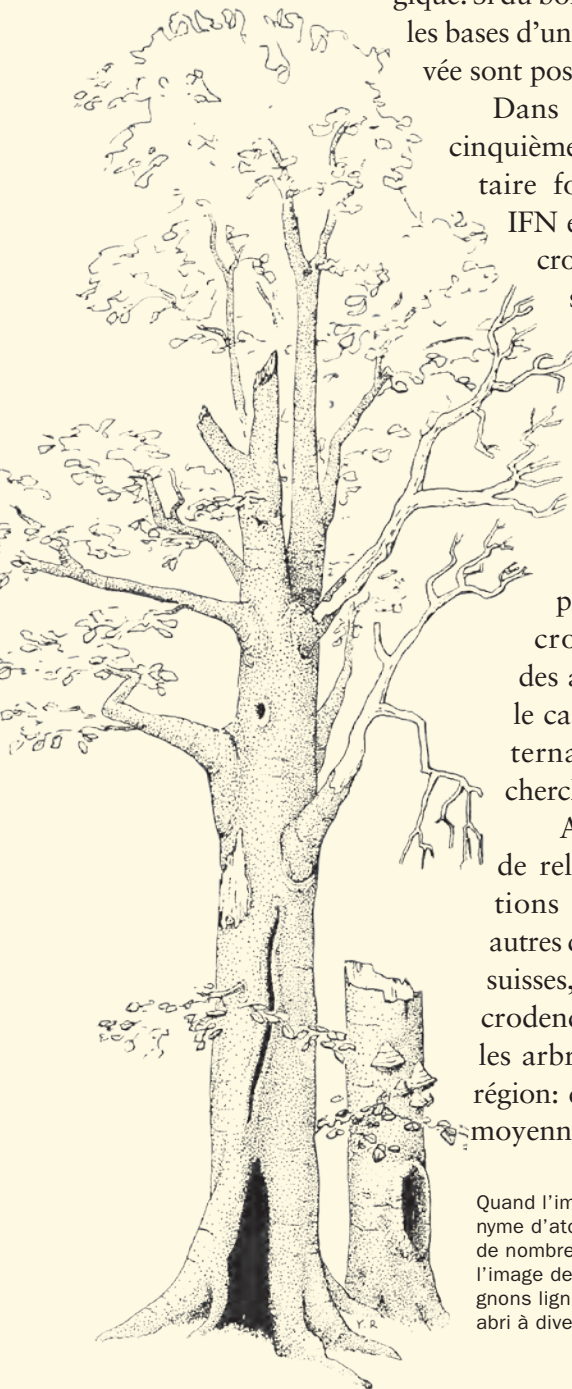
Dans le cadre de son cinquième relevé, l'Inventaire forestier national IFN enregistre ces microhabitats de façon systématique, une première pour un inventaire forestier national. Cette démarche utilise une nouvelle typologie européenne sur les microdendrohabitats des arbres créée dans le cadre du projet international de recherche «Integrate+».

Après trois années de relevés, les évaluations révèlent entre autres que dans les forêts suisses, le nombre de microdendrohabitats dans les arbres varie selon la région: d'environ 450 en moyenne par hectare au

sud des Alpes à seulement 230 dans le Jura oriental. «Ici, mais aussi sur le Plateau, existent encore des potentiels d'amélioration en termes de diversité», explique Meinrad Abegg, collaborateur dans le service scientifique de l'IFN. Car dans la forêt exploitée, laisser sur pied des arbres comportant des microhabitats, c'est favoriser aussi la biodiversité. Les microhabitats les plus fréquents sont actuellement les lichens et les mousses, les cavités au pied du tronc et les branches mortes dans le houppier, les plus rares étant les trous de pics et les fructifications de champignons.

Le relevé standardisé des microdendrohabitats a également permis des comparaisons internationales, par exemple entre des hêtraies suisses exploitées et la plus grande forêt de hêtres primaire d'un seul tenant située dans la réserve d'Uholka-Schyrokyj Luh au sud-ouest de l'Ukraine. L'un des résultats surprend: une densité des microhabitats par hectare tout aussi élevée dans les deux forêts. Des différences existent toutefois au niveau des types d'habitats. Ainsi les profondes cavités d'arbres, remplies de matériau organique, sont plus fréquentes dans la forêt primaire de hêtres. «Ces cavités sont cruciales pour des espèces rares à l'image du pique-prune, une espèce de coléoptère saproxylique», explique Meinrad Abegg. La forêt primaire de hêtres compte aussi trois fois plus de bois mort que les hêtraies suisses. Tout ne dépend donc pas seulement du nombre de microhabitats, mais aussi de leur qualité. (lbo)

Quand l'imperfection est synonyme d'atout: les arbres dotés de nombreux microhabitats, à l'image de cavités ou de champignons lignicoles, proposent un abri à divers animaux.



www.wsl.ch/gc-dendromicrohabitats

BIODIVERSITÉ L'intelligence artificielle permet d'identifier les plantes sur le terrain



Lucienne de Witte photographie une sélection de plantes indigènes en Suisse. Ses photos permettent d'entraîner l'algorithme.

Équipé d'un smartphone et de l'appli correspondante, chacun de nous peut aujourd'hui identifier n'importe quelle plante. Il suffit de charger une photo dans l'appli pour recevoir aussitôt une liste d'espèces potentielles, et ce grâce à un logiciel de reconnaissance d'images en arrière-plan. La détermination de l'espèce n'est cependant pas toujours correcte, notamment pour celles qui se ressemblent fortement.

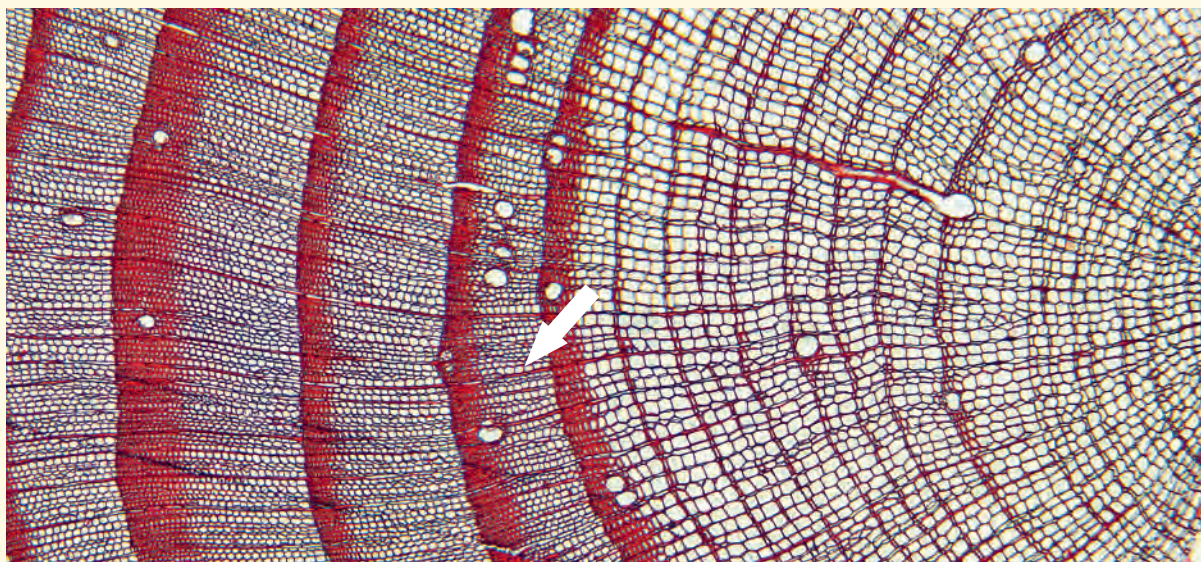
Les chercheurs du WSL développent désormais un outil de reconnaissance spécialement conçu pour les espèces végétales suisses, qui relie les photos des plantes aux données sur les conditions stationnelles. « Cette combinaison vise à améliorer considérablement l'exactitude de la détermination », explique Philipp Brun, programmeur de l'outil. Ce dernier repose sur les réseaux neuronaux artificiels et complètera la « FlorApp » du centre de données InfoFlora qui intègre aujourd'hui le signalement

des plantes, mais ne permet pas encore leur identification.

Pour que l'algorithme apprenne à reconnaître les plantes, il doit avoir été entraîné avec le maximum de photos possibles. Celles-ci proviennent de « Citizen Scientists », personnes qui chargent leurs photos dans des bases de données et les mettent à disposition de la science. Or, même si des millions de clichés sont disponibles, peu concernent de nombreuses espèces discrètes et difficiles à distinguer. C'est pourquoi Lucienne de Witte, botaniste au WSL, a photographié en Suisse près de 260 espèces végétales, « injectant » ainsi dans l'ordinateur près de 18 000 photos supplémentaires. Les botanistes, qui passeront en revue leurs archives photographiques privées, doivent fournir d'autres photos. Un prototype de la « FlorApp » élargie devrait être disponible à partir de l'automne 2022. *(lbo)*

www.wsl.ch/comeco-fr

DANGERS NATURELS Regard vers le passé: ce que les cernes dévoilent sur les glissements de terrain en montagne



Au microscope: après avoir été mise à nue à cause d'une fissure dans le sol (flèche), la racine forme de plus petites cellules.

Près de Brienz (GR), la montagne est en mouvement. En 1881, la revue scientifique britannique «Nature» relatait déjà de profondes fissures dans le sol et la menace que représentait la montagne pour le village. Depuis les années 2010, la situation se détériore de façon dramatique, ce qui a conduit le canton à observer avec attention tous les glissements de terrain. Mais que s'est-il passé avant cette surveillance intensive?

Les arbres qui bordent la zone de glissement peuvent fournir des informations. S'ils se retrouvent ainsi en position inclinée – par exemple parce que le sol en-dessous d'eux est en train de glisser –, ils essaient de se redresser. Sur la face inférieure, les résineux forment alors un bois de compression qui se distingue du bois normal par son anatomie. Il est donc facilement reconnaissable à ses cernes, et chaque cerne peut être daté avec précision. Les spécialistes peuvent dès lors savoir quand un arbre s'est penché dans telle ou telle

direction – et de ce fait de façon indirecte quand et comment le sous-sol s'est déplacé. Les cernes dans les racines constituent une autre source de renseignements: elles modifient leur structure microscopique lorsqu'elles sont mises à nues. On peut ainsi détecter à l'année près quand une fissure s'est formée dans le sol.

De précieuses informations en vue de la sécurité

L'analyse sur des arbres de Brienz effectuée par la chercheuse Nadja Studer et deux étudiants en bachelor démontre que les glissements étaient particulièrement actifs entre 1850 et 1890, ainsi qu'entre les années 1950 et 1980. Holger Gärtner et Hansueli Bucher, chefs de projet de l'école supérieure de Suisse orientale expliquent: «Nos découvertes sur le moment et sur la direction des glissements sont inédites et précieuses pour les responsables sur place en vue d'une meilleure compréhension des mouvements complexes.»

Les chercheurs souhaitent désormais utiliser les glissements comme laboratoires en plein air. «À ce jour, personne ne sait ce qui se passe exactement lorsqu'un arbre forme du bois de compression», reconnaît Holger Gärtner. Ses collaborateurs et lui fixent donc des capteurs de mouvements sur plusieurs troncs et deux

dendromètres sur chacun d'entre eux. Ces derniers mesurent précisément les endroits et moments où le tronc gagne en diamètre (voir p. 36). «Nous pourrions ainsi observer les arbres de Brienz en train de former leur bois de compression.» (bio)



Lorsque des arbres se retrouvent en position inclinée ou que leurs racines sont mises à nues, il demeure des traces dans le bois que les chercheurs pourront dater.

La demande de protection de la population augmente

La volonté de se protéger des dangers naturels s'est accrue sur fond de pandémie du coronavirus. Telle est la conclusion d'une étude d'Elisabeth Maidl et Matthias Buchecker, chercheurs au WSL: «Notre objectif consistait à découvrir ce qui influe sur le désir de prévoyance et à savoir si celui-ci évoluait au fil du temps», explique la première. L'équipe a donc interrogé plus de 15 00 habitantes et habitants en Suisse, d'abord en 2015 puis à nouveau en 2021.

Des sacs de sable contre les crues

Les participants ont entre autres répondu à des questions sur leur conscience des risques, les mesures personnelles de prévoyance et leur comportement en matière d'informations. Les résultats l'ont démontré: la conscience des risques des sondés et leur confiance élevée à l'égard des autorités sont restées stables, de même que la fréquence de confrontation personnelle à des sinistres. La disposition à prendre des mesures concrètes – déposer des sacs de sable comme

protection contre les crues – a toutefois augmenté d'environ 10 %. Pourquoi?

Il était déjà apparu en 2015 que les gens qui participaient à la vie en communauté et recherchaient le dialogue, étaient plutôt prévoyants. L'enquête répétée en 2021 a de plus souligné que les personnes voulaient être impliquées dans la gestion publique des risques et que cela encourageait leur aptitude à la prévoyance, même si les modifications liées à ces points furent rares.

L'insécurité générale liée à la pandémie s'est avérée être la raison sous-jacente de ces réponses. Cette conclusion a pu apparaître car les chercheurs ont, pour la deuxième enquête, complété leur questionnaire par d'autres questions ciblant la pandémie. «Nous savions qu'un tel événement était susceptible de changer l'attitude de la population», reconnaît Elisabeth Maidl. Les préoccupations liées à la pandémie semblent en effet se répercuter sur d'autres domaines de la vie. *(cho)*

Mettre en lumière la naissance des avalanches de glissement

Elles représentent un défi majeur pour les services concernés: les avalanches de glissement. Elles surviennent souvent en début d'hiver, lorsque le sol est encore chaud ou que l'eau de fonte ou de pluie pénètre dans le manteau neigeux – conditions qui pourraient gagner en fréquence sur fond de changement climatique.

Elles apparaissent lorsqu'un manteau neigeux, qui glisse tout d'abord très lentement vers le bas d'une pente herbeuse, se met soudain à gagner rapidement en vitesse. À ce jour, il est impossible de prédire de façon fiable ce type d'avalanche. Car même si l'on sait, grâce aux observations, qu'avec une avalanche de glis-



Les avalanches de glissement se forment sur un sol lisse à l'image d'une pente herbeuse.

sement une plus grande quantité d'eau est présente entre la neige et le sol, les facteurs d'une accélération soudaine d'un glissement tout d'abord très lent – enchaînement à l'origine de l'avalanche – sont aujourd'hui inconnus.

Des chercheurs du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF ont voulu se pencher sur cette problématique. En collaboration avec des pédologues de l'EPF de Zurich, dans le cadre d'études sur le terrain, d'expériences en laboratoire et de simulations informatiques, ils étudient pour la première fois de façon systématique le transport de chaleur et d'eau entre la neige et le sol. Ils soupçonnent la formation d'une «barrière capillaire» à la frontière entre ces deux matériaux poreux. Celle-ci empêcherait le passage de l'eau entre la neige à pores fins et le sol à pores plus gros. L'eau s'accumu-

lerait ainsi au niveau de cette interface, jouant le rôle de film lubrifiant qui favorise le glissement du manteau neigeux.

Michael Lombardo, doctorant, étudie ces processus lors d'expériences en laboratoire. Pour ses mesures, il remplit un cylindre d'une couche de sable ou de sol naturel, à laquelle il ajoute de la neige. Il intègre en outre à plusieurs endroits des capteurs de températures et d'humidité. Pendant les différents essais, le chercheur réchauffe lentement la neige jusqu'à ce que l'eau de fonte suinte à travers, et il observe si celle-ci s'accumule au niveau de la zone frontière avec le sol.

Une grande installation de recherche ouvre de nouveaux horizons

Michael Lombardo réalise une partie de ces expériences à la source de neu-

trons de l'Institut Paul Scherrer PSI. Dans cette grande installation de recherche, il étudie grâce à la radiographie neutronique la répartition de l'eau entre la neige et le sol. De façon similaire à une radiographie, les échantillons sont «passés au peigne



Ce dispositif du laboratoire permet à Michael Lombardo, doctorant, d'étudier quand l'eau s'accumule au niveau de l'interface entre la neige et le sol. La neige se situe au-dessus d'une couche de sable qui simule le sol.

fin» à l'aide de neutrons. Ces particules permettent en effet de «voir à travers» de nombreux matériaux quasiment sans entrave – par là même aussi à travers le sol. L'eau, qui crée au contraire un très fort contraste, est de ce fait bien visible. Dans le cadre d'enregistrements répétés, les chercheurs voient les modifications de la répartition de l'eau avec le réchauffement de la neige. Michael Lombardo souligne: «Les expériences menées avec des neutrons s'accompagnent d'un défi: nous n'avons que quelques jours pour les mesures. Nous devons donc préparer le tout très bien, l'expérience ne pouvant être répétée que quelques mois plus tard.» Les mesures effectuées à ce jour ont démon-

tré que cette méthode pouvait effectivement représenter le transport de l'eau. Dans d'autres essais, les chercheurs souhaitent désormais étudier l'influence du type de neige, de sol et de la vitesse du réchauffement.

Ils veulent utiliser les données ainsi obtenues pour simuler à l'ordinateur les processus au niveau de l'interface neige-sol. Ce qui doit enfin permettre, grâce aux mesures des températures et de la neige des stations météorologiques, de mieux prédire la probabilité des avalanches de glissement. «Nous espérons ainsi, dans quelques années, pouvoir mettre des outils adéquats à la disposition du service de prévention et des services locaux des avalanches,» explique Michael Lombardo. (mbe)

A woman with short, wavy brown hair and glasses is smiling. She is wearing a bright blue jacket over a dark floral patterned top and blue jeans. She is holding a large black umbrella. The background shows a gravel path leading through a lush green landscape with trees and bushes under a bright sky.

Jacqueline Annen, Birmensdorf

«J'aime beaucoup aller me promener, par exemple à midi.

Je peux ainsi bouger et m'aérer l'esprit. L'été je préfère la forêt, l'hiver les champs pour faire le plein de lumière.

Je peux alors me perdre dans mes pensées, c'est si agréable.»

L'ART DE CRÉER DE BEAUX PRODUITS

Qu'il s'agisse de cartes de visite, de rapports du WSL ou de Notices pour le praticien, Jacqueline Annen, graphiste, conçoit et embellit depuis plus de dix ans les produits imprimés du WSL et du SLF. Elle est typographe de formation, profession

qui a beaucoup changé au fil du temps. Ce qui lui plaît dans son travail, ce sont la créativité et la variété des défis. «J'aime, au fil du texte et des images, créer un produit et pouvoir ensuite le tenir entre les mains.» (bki)

Janine Schweier, Birmensdorf

«J'aime passer du temps en forêt. Le calme est source d'énergie et je peux y puiser de nouvelles forces. Cet habitat me fascine également. En plus de la ressource bois, il nous propose tant d'autres prestations à l'image de l'eau propre ou de la protection contre les dangers naturels.»



DES FORÊTS VIRTUELLES POUR LES PRATICIENS

Janine Schweier dirige le groupe de recherche «Gestion forestière durable». Avec son équipe, elle développe des solutions pour les entreprises forestières, afin que celles-ci puissent exploiter la forêt avec pertinence au niveau écologique tout en couvrant leurs coûts. La spécialiste en sciences

forestière met ainsi au point des instruments informatiques comme la forêt virtuelle qui permet aux entreprises de planifier et visualiser leurs interventions. «Je suis heureuse lorsque nos résultats de recherche et nos outils contribuent à une gestion forestière durable.» (Ibo)



Comment façonner notre avenir de façon durable? Les Nations Unies ont formulé dix-sept objectifs – les Objectifs de développement durable – en vue d'une telle évolution au niveau écologique, social et économique. Les chercheurs du WSL travaillent aussi pour atteindre ces objectifs, par exemple grâce à des études sur le développement territorial, l'exploitation des forêts ou les impacts de la transition énergétique. Dans le prochain numéro de Diagonale, nous vous présenterons la contribution du WSL au développement durable.

www.un.org/sustainabledevelopment. Le contenu de cette publication n'a pas été approuvé par les Nations Unies et ne reflète pas ses opinions ni celles de ses fonctionnaires ou de ses États membres.

Possibilité de s'abonner gratuitement à Diagonale: www.wsl.ch/diagonale

Pour obtenir des exemplaires individuels:

Institut fédéral de recherches WSL
Zürcherstrasse 111,
CH-8903 Birmensdorf
eshop@wsl.ch

IMPRESSUM

Responsable de l'édition:
Institut fédéral de recherches WSL

Textes:

Lisa Bose (lbo), Fiona Galliker (fga),
Martin Heggli (mhe), Claudia Hoffmann
(cho), Beate Kittl (bki), Stephanie
Kusma (kus), Sara Niedermann (sni),
Birgit Ottmer (bio)

Direction rédactionnelle:

Claudia Hoffmann, Stephanie Kusma;
diagonal@wsl.ch

Traduction: Jenny Sigot Müller, WSL
Relecture: Philippe Domont, Zurich

Maquette:

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

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

Tirage: 1100 exemplaires, deux
numéros par an. Le Magazine du WSL
Diagonale paraît aussi en allemand
et en anglais.

Référence bibliographique:

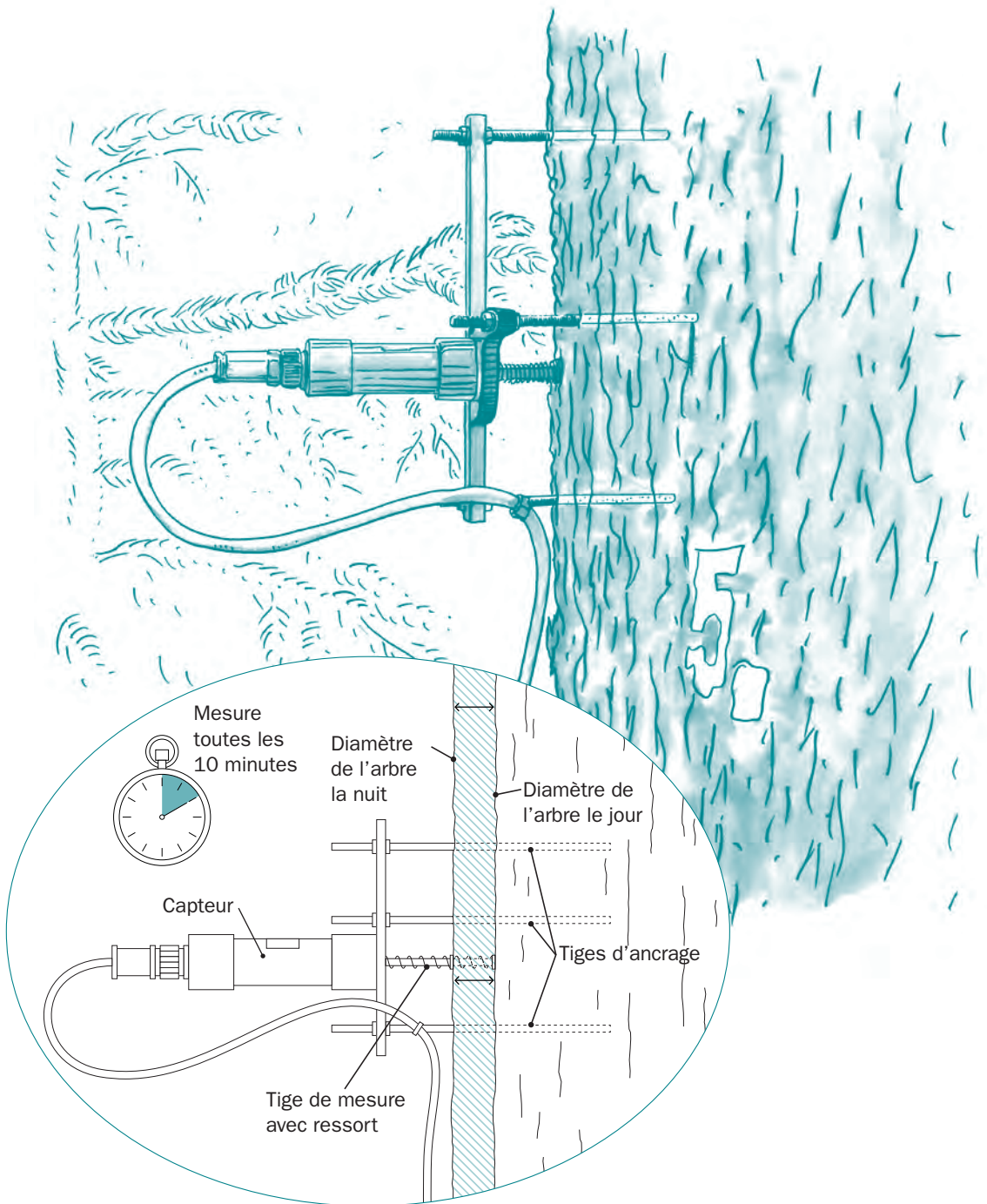
Institut fédéral de recherches WSL
2022: Magazine du WSL Diagonale,
1/22. 36 p., ISSN 2296-3596

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

DENDROMÈTRE PAR POINTS



Pour découvrir les effets des phases de sécheresse sur les forêts, le dendromètre par points est un instrument central. Cet appareil mesure la croissance et le déficit en eau de l'arbre en enregistrant d'infimes fluctuations du diamètre. Pendant la journée, le tronc se rétrécit car l'eau s'évapore via les stomates situés sur les feuilles. La nuit, ces stomates sont fermés et le tronc se dilate à nouveau car il peut absorber plus d'eau du sol qu'il n'en perd. Son diamètre augmente également pendant la période de croissance. Les chercheurs de TreeNet (treenet.info), un réseau de recherche sous la direction du WSL, ont installé plus de 350 dendromètres par points dans la forêt suisse. Au niveau de la résolution temporelle, les données qu'ils mesurent sont uniques en leur genre.

Vidéo à l'adresse:
www.wsl.ch/schmilblick







Microdendrohabitats: un refuge pour divers animaux, p. 26

SITES

Birmensdorf

Eidg. Forschungsanstalt
für Wald, Schnee und
Landschaft WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
Telefon 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
Telefon 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
Telefon 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
Telefon 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
Telefon 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.

