

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

La recherche pour un avenir durable

N° 2
22

Aménagement du territoire: ce que la numérisation change, p. 24

Écosystèmes froids: comment la neige influe sur la nature, p. 27

Avalanches: des câbles de fibre optique comme observateurs sur le terrain, p. 31

ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,
Mener une recherche de pointe qui permette de relever des défis de société globaux et développer des solutions régionales, voici en quelques mots notre mission, telle que l'exprime aussi notre devise «Recherche pour l'être humain et l'environnement». Nous agissons ainsi dans le sens des «Objectifs de développement durable» (ODD). Ces derniers constituent un riche catalogue de 17 objectifs majeurs définis par la Communauté internationale en vue d'un avenir durable pour tous. Toutes celles et ceux qui le peuvent doivent œuvrer pour qu'ils soient atteints. Aussi présentons-nous dans ce numéro de DIAGONALE certaines de nos contributions. Je suis impressionnée par leur diversité et leur ampleur – et aussi assez fière que nous ayons déjà travaillé dans le sens des ODD, bien avant qu'ils n'aient été formulés.

Vous avez peut-être remarqué la couverture spéciale de cette édition. Avec celle-ci, nous célébrons un anniversaire: vous tenez aujourd'hui entre les mains le vingtième numéro de notre Magazine. Chère lectrice, cher lecteur, nous vous remercions de votre fidélité et serions très heureux que vous continuiez à nous accompagner encore longtemps!



Beate Jessel
Directrice du WSL



THÈME CENTRAL

Le WSL et les ODD



ESPACES SAUVAGES ET ZONES D'HABITATION

Le paysage existe pour tout le monde. Pour sauvegarder cet aspect, il faut des idées nouvelles lors de la planification.

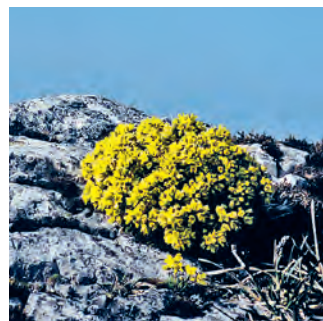
→ **6**



17 OBJECTIFS POUR UN MONDE MEILLEUR

Les Objectifs de développement durable de l'ONU doivent nous guider vers un avenir durable. Le WSL joue aussi son rôle.

→ **2**



QUO VADIS, FLORA

Le changement climatique modifie la Terre. Des modélisations mettent en lumière les réactions potentielles des plantes.

→ **12**



LA SUISSE ET LE RENOUELABLE

Notre pays dispose de nombreuses ressources énergétiques renouvelables. Des chercheurs du WSL étudient la façon dont nous pouvons les utiliser.

→ **16**

THÈMES-CLÉS

- 20** FORÊT
- 23** PAYSAGE
- 26** BIODIVERSITÉ
- 30** DANGERS NATURELS
- 33** NEIGE ET GLACE

PORTRAITS

- 19** Kerstin Treydte, dendrochronologue
- 29** Eric Gehring, biologiste
- 34** Marco Hofmänner, cuisinier
- 35** IMPRESSUM, À L'HORIZON
- 36** LE SCHMILBLICK: Skippy

LA RECHERCHE POUR LA SOCIÉTÉ HUMAINE ET L'ENVIRONNEMENT Avec les Objectifs de développement durable, la Communauté internationale vise un avenir durable au sens le plus large du terme. La Suisse, la recherche et le WSL apportent des contributions notables en cette direction.

17 objectifs en vue d'un monde meilleur



OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



Aperçu des Objectifs de développement durable

D'ici 2030, le Monde doit devenir un lieu de vie meilleure – et ce de façon durable, c'est-à-dire sans que cela ne se fasse aux dépens de nos descendants. C'est la volonté de la Communauté internationale qui a développé en ce sens les «Objectifs de développement durable» (ODD). La Suisse veut également atteindre ces 17 objectifs sur son territoire et contribuer à leur réalisation à l'échelle mondiale.

Les ODD sont très généraux : «Pas de pauvreté», «Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques» ou encore «Partenariats pour la réalisation des objectifs». Un accord international contraignant sur leur mise en œuvre fait néanmoins défaut, de même qu'une «loi ODD» suisse. À la place, la Confédération appelle tous les acteurs non-gouvernementaux et gouvernementaux à s'efforcer de les inclure dans leurs activités, cette demande valant aussi pour le WSL. Selon sa Directrice Beate Jessel, la recherche du WSL s'inscrit déjà dans de nombreux ODD: «La forêt à elle seule joue un rôle dans l'atteinte des objectifs «Bonne santé et Bien-être», «Énergie propre et d'un coût abordable» ou encore «Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques » et «Vie terrestre». Nous cherchons comment la forêt peut y contribuer au mieux.»

Ce n'est pas un hasard si Beate Jessel a choisi l'exemple de la forêt: le concept «durabilité» est issu de la foresterie. Jadis, il désignait une exploitation équilibrée qui devait procurer une quantité suffisante de bois de chauffage et de bois de construction sur le long terme. Mais il en est venu à désigner un concept général et dynamique d'une évolution viable au niveau économique, social et écologique – et ne se restreint pas à la forêt.

Photo: www.un.org/sustainabledevelopment Le contenu de cette publication n'a pas été approuvé par les Nations-Unies et ne reflète pas les points de vue des Nations Unies, de ses fonctionnaires ni des États-membres.

Toutefois, l'aspect et l'entretien de la forêt seront différents selon que la forêt devra stocker le plus de carbone possible ou viser avant tout, dans les conditions climatiques du futur également, à livrer du bois et offrir un habitat aux plantes et aux animaux. Or ce sont tous deux des sous-objectifs des ODD. Ce dilemme illustre un problème lié aux ODD: les objectifs et sous-objectifs se contredisent parfois. Beate Jessel identifie dès lors le rôle important qui peut incomber au WSL: celui de simuler différents scénarios. Cela signifie démontrer, grâce à des simulations scientifiquement fondées, l'avenir qui nous attend avec la prise de telle ou telle décision politique. «Nous élaborons ainsi des options d'action et illustrons les conséquences qui en découlent. La politique peut alors prendre des décisions en connaissance de cause.» Le WSL fait ce que le Conseil fédéral attend de la recherche lorsqu'il la qualifie de «moteur» pour l'atteinte des Objectifs de développement durable.

Des conflits d'intérêts pourront aussi parfois être résolus, comme le montre la multifonctionnalité de la forêt (voir l'infographique page 5). La recherche du WSL aide par exemple à combiner au mieux l'exploitation du bois et la protection de la nature. Des études de chercheurs en sciences sociales permettent par ailleurs de planifier les éoliennes dans un contexte de meilleure acceptation pour la population.

Longtemps déjà avant la formulation des ODD, la recherche du WSL se concentrait sur ces thématiques. Mais celles-ci fournissent désormais de nouvelles impulsions. Beate Jessel mentionne l'objectif «Villes et communautés durables» qui inclut la campagne environnante. Certes, la fonction importante des forêts périurbaines pour la santé et la détente, ainsi que l'écologie urbaine sont depuis longtemps des thèmes de recherche du WSL. Les aspects sanitaires, de même que les arbres en ville et la foresterie urbaine en particulier, sont néanmoins un domaine de développement porteur d'avenir de la recherche forestière.

Quand les actes sont en accord avec les paroles

Enfin, le WSL, en tant qu'institution de recherche environnementale, est tenu de concevoir ses propres activités professionnelles de façon durable. Pour Beate Jessel, le WSL est sur la bonne voie. Ainsi, depuis longtemps déjà, le site est entretenu de façon proche de la nature, conformément aux prescriptions de la Fondation «Nature et économie». À Birmensdorf, on chauffe avec des copeaux de bois, à Davos on a recours à la géothermie. Néanmoins, des conflits d'intérêts apparaissent aussi dans le cadre de l'organisation: les ODD exigent et encouragent par exemple la collaboration à l'échelle mondiale. Les voyages nécessités par les activités internationales de recherche détériorent pourtant le climat. «Bien sûr, nous devons à chaque fois vérifier de façon critique si un voyage est pertinent», déclare Beate Jessel. «Or parfois il l'est. Nous devons alors l'entreprendre et compenser les émissions de CO₂.»

La mise en œuvre des 17 ODD est ainsi loin d'être simple pour le WSL, la Suisse et le monde entier. Pour que notre Planète devienne véritablement un lieu de vie meilleure, les contributions de la recherche et du WSL sont donc indispensables.

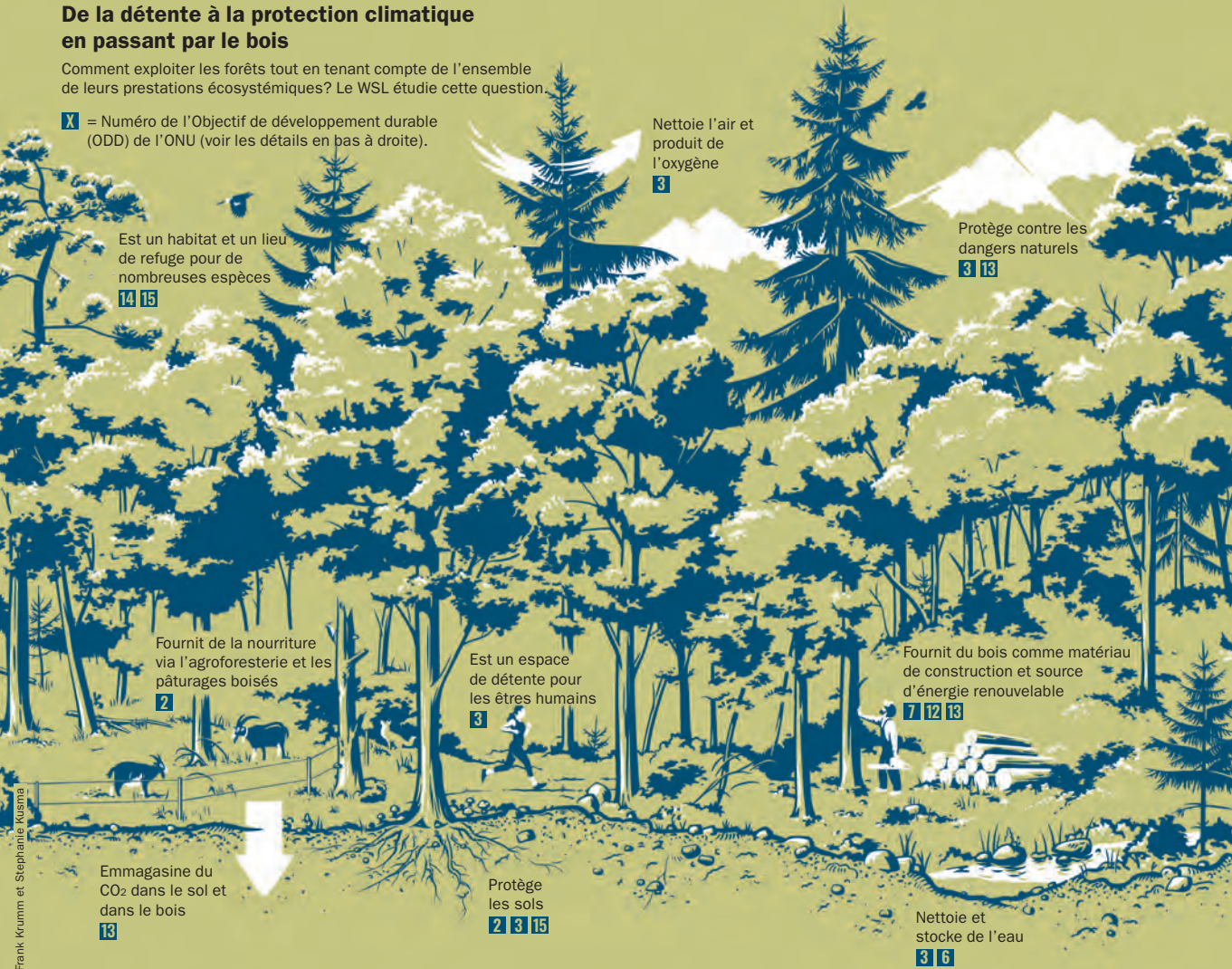
(bio)

INFOGRAPHIQUE L'apport des forêts. Les forêts jouent un rôle central dans l'atteinte des Objectifs de développement durable (ODD). Il est donc essentiel qu'elles soient exploitées de façon durable sur l'ensemble du globe.

De la détente à la protection climatique en passant par le bois

Comment exploiter les forêts tout en tenant compte de l'ensemble de leurs prestations écosystémiques? Le WSL étudie cette question.

X = Numéro de l'Objectif de développement durable (ODD) de l'ONU (voir les détails en bas à droite).



Un tiers de la Terre est boisé

... et est exploité. À l'échelle mondiale, 2,4 milliards de personnes se chauffent et cuisinent par exemple avec du bois, et 75% de l'eau potable accessible de la Terre proviennent de bassins versants boisés.



La forêt et les ODD

Les prestations de la forêt jouent un rôle dans les ODD les plus divers – de la sécurité alimentaire à la protection et à la mise à disposition d'habitats aquatiques ou terrestres.

- 2** Faim «zéro»
- 3** Bonne santé et bien-être
- 6** Eau propre et assainissement
- 7** Énergie propre et d'un coût abordable
- 12** Consommation et production responsables
- 13** Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques
- 14** Vie aquatique
- 15** Vie terrestre

UTILISATION DU PAYSAGE **Des espaces sauvages aux zones d'habitation: la durabilité signifie la combinaison d'exigences différentes.** Le paysage existe pour tout le monde. Pour sauvegarder cet aspect, il faut des idées nouvelles lors de la planification – venues par exemple des jeunes.



«Nous devons continuellement renégocier ce qui nous importe et ce à quoi nous pouvons renoncer», déclare Silvia Tobias, directrice du Centre de recherche sur le paysage du WSL, au sujet de l'aménagement du territoire. Des évaluations minutieuses sont nécessaires pour que le paysage puisse offrir toutes ses prestations: proposer par exemple de la place aux espaces sauvages et à la détente, mais aussi à la mobilité, à l'industrie et aux zones d'habitation, ou permettre la production de nourriture ou d'énergie. Et ce de façon durable – comme l'exigent les Objectifs de développement durable de l'ONU.

Silvia Tobias, qui applique entre autres des procédures transdisciplinaires dans l'aménagement du territoire, plaide pour une implication accrue de la jeune génération. Que cette dernière envisage souvent d'autres solutions que les générations plus âgées a été récemment démontré par l'un de ses projets de recherche. Lors d'ateliers, Silvia Tobias et son équipe ont développé avec les participants des visions d'avenir des paysages dans le Seetal lucernois. De telles régions rurales à proximité des villes sont confrontées à un problème fondamental: plus les gens sont nombreux à y déménager afin d'habiter dans un écrin de verdure, plus les constructions se multiplient. Le trafic pendulaire croît lui aussi et entraîne une surcharge des infrastructures routières et des centres des villages. Disparaît ainsi une part importante de l'attrait recherché: la valeur récréative du paysage. Mais que faut-il changer, et comment?

Les jeunes ont alors pensé de façon plus créative que les plus âgés. Ils ont ainsi installé de grands parcs éoliens dans des endroits adaptés, ou prévu davantage de densification verticale dans les centres des villages sous forme de tours végétalisées. Il importe de prendre en compte de telles idées dans la planification, explique la chercheuse: «Elles montrent dans quelle direction l'esprit du temps pourrait évoluer.»

Les répercussions déjà perceptibles et les impacts futurs du changement climatique devraient eux aussi, selon elle, être pris en considération dans les décisions en matière d'aménagement du territoire. Sur la base de scénarios climatiques, Silvia Tobias et son équipe élaborent actuellement des photos avant/après. Ces dernières montrent l'état présent des paysages et ce à quoi ils pourraient ressembler vers la fin du XXI^e siècle. Des lacs pourraient notamment s'amenuiser de façon radicale ou des sols aujourd'hui fertiles être impropres à la culture de céréales. «L'objectif consiste à sensibiliser les experts et la population à cette problématique», affirme la chercheuse.



Dans un projet de recherche du WSL, les jeunes gens étaient très ouverts vis-à-vis des parc éoliens.

Vision d'avenir «Biocity»

Les villes font elles aussi partie du paysage et peuvent combiner les fonctions les plus diverses. Dans le cadre d'un projet international, Nicole Bauer, spécialiste en psychologie environnementale au WSL, a récemment élaboré, lors d'ateliers, des concepts pour les «Biocities» avec des experts européens. «Il s'agit de créer une meilleure harmonie entre la ville et la nature, et de repenser de ce fait complètement la ville», explique-t-elle. D'après les sources bibliographiques sur les évolutions futures des centres urbains, les chercheurs ont développé, dans le cadre de ces ateliers, dix variantes de la vision Biocity.

L'une d'entre elles est la «Biocity» comme forêt. Elle repose sur l'idée d'une absence de séparation entre ville et forêt, la ville faisant partie intégrante de la forêt. «L'objectif d'une telle Biocity est de ne pas émettre de CO₂, mais au contraire d'en absorber et d'en stocker», précise Nicole Bauer. On pourrait par exemple imaginer des allées interconnectées qui nettoient l'air, le rafraîchissent, et font de l'ombre – des fonctions importantes sur fond de changement climatique.

«Une question demeure cependant: toutes les villes peuvent-elles devenir des Biocities, quelle que soit leur situation initiale?». Les villes sont en effet confrontées à des défis différents à l'échelle internationale. Les pays d'Europe du sud-est font ainsi face à des problèmes majeurs liés à la pollution atmosphérique; la pauvreté accrue est problématique en Grande-Bretagne tandis que chez nous, c'est le trafic. Idéalement selon Nicole Bauer, recherche et politique s'inspireront à l'avenir de ces visions et prendront toute la mesure de ce que la nature apporte à la ville et de ce qui contribue à réduire les émissions de CO₂.


«La planification actuelle façonne le milieu de vie des générations futures», précise Silvia Tobias. «Ainsi, la possibilité s'offre à nous d'utiliser le paysage de façon plus durable. Cela signifie toutefois ne pas construire partout, savoir renoncer au développement d'une infrastructure, démanteler et densifier ailleurs en échange».

(sru)


Pour en savoir plus sur le Centre de recherche sur le paysage du WSL: wsl.ch/centre-paysage



Dans le sillage du changement climatique, les coulées de boue, les avalanches rocheuses et les laves torrentielles devraient représenter un danger croissant: on s'attend par exemple à des dégâts accrus. Les Objectifs de développement durable de l'ONU exigent des actions à l'encontre de ces conséquences du changement climatique. Pour agir, il est toutefois nécessaire de mieux comprendre encore les processus en œuvre. La recherche du WSL livre de précieuses informations à cet effet.

An aerial photograph of a valley. A river flows through the center, with a town visible on the left bank. The surrounding mountains are rocky and partially forested. A white line points from the text box to the town area.

Les données de mesures, notamment sur la vitesse, les forces ou la composition des laves torrentielles, permettent de mieux comprendre celles-ci et de décrire leur comportement d'écoulement. Ces informations aident à leur tour à développer des systèmes d'alerte efficaces et des ouvrages de protection optimisés, pour les zones d'habitation par exemple.

A close-up view of a rocky slope. A debris flow, consisting of a mixture of rocks and mud, is visible on the slope. A white line points from the text box to the debris flow.

En raison d'une situation géologique particulière, la fréquence des laves torrentielles dans l'Illgraben est inhabituellement élevée. C'est pourquoi le WSL y exploite depuis plus de vingt ans une station d'observation dotée de divers appareils de mesures. Plusieurs scanners laser (LiDAR) prennent ainsi des mesures tridimensionnelles des laves torrentielles.



ENTRETIEN «Une économie qui respecte les limites planétaires». Les ressources naturelles de la Terre s'épuisent, la crise climatique modifie et la planète et notre vie. La croissance économique explique en partie cette situation selon l'économiste Irmi Seidl.



Irmi Seidl est économiste et dirige au WSL l'Unité de recherche Sciences économiques et sociales. Elle y mène entre autres des recherches sur les instruments et mesures économiques dont les effets écologiques sont pertinents.

Irmi Seidl, vous êtes une voix critique de la croissance. Pourquoi?

Parce que la croissance économique est une raison importante des crises écologiques actuelles. Avec elle augmentent les consommations d'énergie et de ressources, ainsi que les atteintes à l'environnement. Le début de la croissance continue date des années 1950; depuis, elle a dépassé les limites planétaires: nous avons besoin d'une quantité de ressources supérieure à celle qui peut être reproduite.

Avec les Objectifs de développement durable (ODD), l'ONU veut concevoir l'avenir de façon durable. Qu'en pensez-vous?

Ces objectifs soutenus au niveau mondial sont les bienvenus et peuvent contribuer à désamorcer les crises environnementales. Mais il existe des conflits d'intérêts: l'ODD8 vise ainsi «une croissance économique soutenue et durable». La croissance augmente toutefois la consommation au niveau de l'environnement et des ressources, elle ne peut pas être durable. L'ODD7 veut «garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables, modernes, à un coût abordable». Cela suggère que notre consommation énergétique occidentale pourrait aussi s'appliquer à l'échelle

mondiale. Or elle devrait diminuer pour respecter les conventions internationales en matière d'environnement comme l'Accord de Paris et ne pas dépasser les limites planétaires, c'est-à-dire s'inscrire dans le cadre des ressources disponibles. Une condition sine qua non: mettre un terme à la dépendance vis-à-vis de la croissance économique.

Notre économie, les entreprises, peuvent-elles fonctionner sans croissance?

De nombreuses petites et moyennes entreprises s'en sortent bien sans croissance. L'une de nos doctorantes a étudié des PME du secteur de la construction – des menuiseries, des entreprises d'installation électrique et de travaux de peinture. Les résultats démontrent que nombre d'entre elles ne veulent même pas s'agrandir du tout. D'autres entreprises ne visent pas le profit et ne sont ainsi pas obligées de croître. Citons par exemple le système suisse d'approvisionnement en eau ou les coopératives.

A-t-on besoin de davantage d'interventions étatiques?

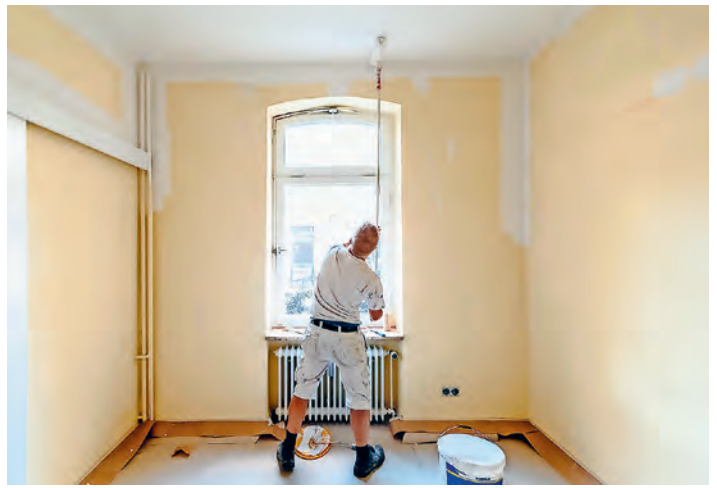
Pas forcément. Il faut surtout des interventions adéquates. Ces dernières décennies, les interventions, dont les subventions, se sont

«Il faut que le prix des ressources environnementales reflète leurs coûts écologiques.»

multipliées pour encourager la croissance. Or il y a deux ans, nous avons identifié dans une étude plus de 160 subventions et incitations inopportunes qui détérioraient la biodiversité. Il serait possible de désamorcer la crise de la biodiversité si les subventions n'étaient accordées que si elles ne nuisent pas à la biodiversité, ou à défaut si elles étaient susceptibles de résoudre sérieusement des conflits d'intérêts. Le système fiscal encourage lui aussi la croissance, ne serait-ce que par des allègements fiscaux ou des déductions pour les intérêts passifs. Mais l'intervention la plus urgente est la suivante: il faut que le prix des ressources environnementales telles que les sources d'énergie reflète leurs coûts écologiques – par exemple les répercussions climatiques. Depuis les années 1980, des économistes travaillent à élaborer des concepts en vue d'une réforme financière écologique qui reflèterait dans le prix les coûts environnementaux externes.

Est-ce que cela n'augmenterait pas le prix de beaucoup de choses?

Certaines seraient plus chères. Car à ce jour, nombre de prestations ou de produits sont devenus meilleur marché aux dépens de l'environnement alors que parfois, seules certaines personnes en profitent. Ainsi, uniquement 20 % des passagers aériens en provenance de Suisse volent vers un autre continent. Or ce sont eux avant tout – souvent des «frequent flyers» – qui bénéficient du kérozène non imposé. Si l'on intégrant l'impact climatique des émissions de CO₂ dans le calcul, un vol vers Bangkok ou Londres coûterait respectivement 900 ou 100 francs de plus. Mais d'autres choses pourraient aussi devenir moins coû-



Selon une étude du WSL, une partie des PME relevant du secteur de la construction ne veut même pas croître du tout.

teuses: si les ressources environnementales étaient plus fortement taxées, et si les revenus l'étaient moins, il resterait plus dans le porte-monnaie, et les prestations d'un mécanicien vélo ou d'une aide-soignante par exemple deviendraient moins chères.

Y a-t-il d'autres approches?

Il existe également des incitations à vivre de manière plus économique. La France a par exemple introduit de plus longues durées de garantie pour les produits, et encourage les réparations plutôt que les échanges. L'Autriche quant à elle paie une partie des coûts de réparation à tous ceux qui font réparer leurs appareils électroménagers. De telles mesures aident aussi à faire progresser la durabilité.

Cela va également dans le sens des ODD, n'est-ce pas?

Tout à fait. La diversité des ODD reflète le nombre de secteurs où des modifications de la consommation et de la production sont nécessaires pour vivre, travailler et participer aux activités économiques dans le respect des limites planétaires. (sru). (sru)

CHANGEMENT CLIMATIQUE **Quo vadis, Flora?** Le changement climatique modifie les habitats naturels, phénomène auquel va réagir le monde végétal. Mais comment? À l'aide de modèles informatiques, des chercheurs du WSL tentent de le découvrir.



Nos petits-enfants se promèneront-ils en Suisse en hiver sous les feuillages persistants des chênes verts ou des oliviers? Une telle projection semble étrange. Mais les températures moyennes augmentent, les étés deviennent plus chauds, les hivers plus humides, les périodes de sécheresse plus longues et les fortes précipitations plus fréquentes. Et les habitats évoluent eux aussi avec le climat. Certaines plantes ont ainsi de nouvelles possibilités de se répandre, tandis que d'autres se retrouvent en difficulté.

Des chercheurs du WSL tentent de comprendre ces processus et d'évaluer les futures réactions de la flore. Grâce à des modèles statistiques, ils modélisent par exemple les sites où les plantes alpines pourraient pousser à l'avenir, et les endroits où les arbres seraient adaptés génétiquement aux conditions climatiques attendues. De telles projections permettent de préparer la forêt au climat à venir ou de protéger des plantes menacées. Cela correspond aux Objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU qui signalent, au-delà de la protection des écosystèmes terrestres et de la biodiversité, la nécessité de «prendre d'urgence des mesures de lutte contre le changement climatique et ses répercussions».

Qu'est-ce qui poussera à l'avenir, et où? Il faut des modèles climatiques fiables pour répondre à cette question. «Lorsque l'on sait, pour une région donnée, à quelles conditions climatiques s'attendre dans cent ans, on recherche des lieux où ce climat est déjà établi aujourd'hui», explique Niklaus Zimmermann, chercheur du WSL, qui met en avant cette méthode comparative simple. «Il est alors possible de se rendre sur place et d'analyser les communautés végétales présentes dans ces sites.»

Une telle méthodologie a été appliquée il y a quelques années dans le Programme «Forêts et changements climatiques» de l'Office fédéral de l'environnement et du WSL. Aux côtés de Peter Brang, chercheur forestier du WSL décédé en juillet 2022, les chercheurs ont alors identifié des régions d'Europe continentale dont le climat actuel correspondrait à ce que serait à peu près le climat de Genève, Bâle ou Chiasso dans cent ans. Avec un réchauffement de 6 degrés – scénario climatique étudié le plus extrême –, des régions comme Genève ressembleraient à celles de la Maremme et du centre de l'Italie, Bâle se rapprocherait de la situation actuelle du sud de la France et de la plaine orientale du Pô, et Chiasso connaîtrait des conditions similaires à celles présentes le long de la Côte adriatique et en Toscane. Dans ces régions, les forêts y sont souvent sempervirentes.

De lents voyageurs

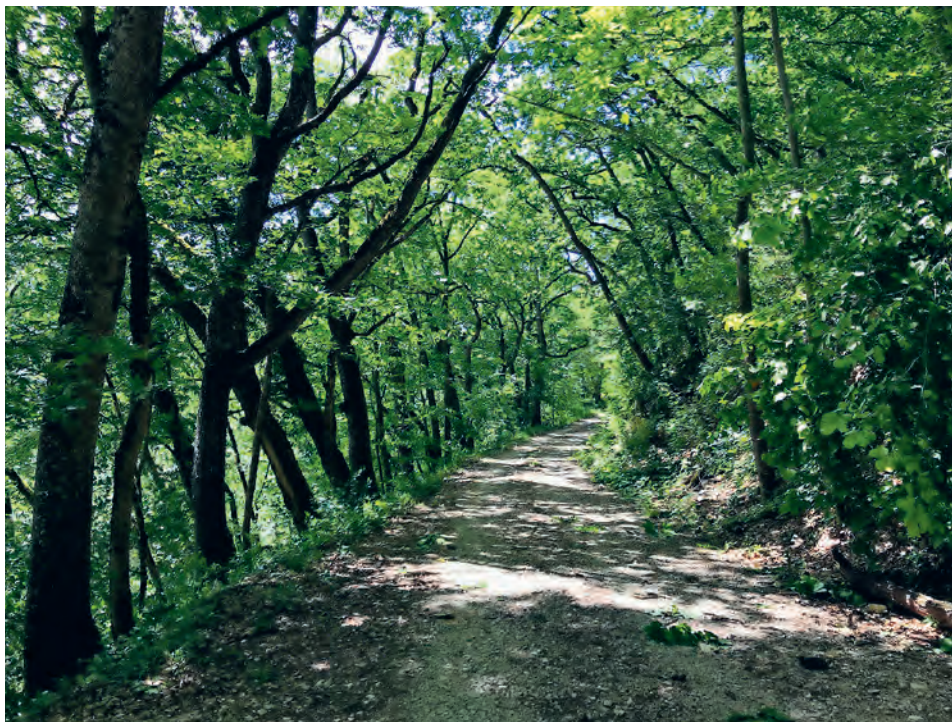
Cela ne signifie toutefois pas qu'une forêt méditerranéenne croîtrait demain sur le Plateau suisse. De nombreux obstacles seraient à surmonter, et pas seu-

lement dans les Alpes. De plus, les arbres «se déplacent» très lentement: sans intervention humaine, seules les espèces les plus rapides parcourent un kilomètre par an, comme les peupliers ou les bouleaux qui croissent vite et dont les graines sont disséminées par le vent. «Le modèle statistique donne néanmoins des indications aux forestiers sur les essences qu'ils pourraient tester», constate Niklaus Zimmermann.

Grâce à des modèles d'habitats, il tente de déterminer les sites susceptibles d'offrir à l'avenir des milieux de vie aux espèces. «Pour le dire de façon succincte, nous étudions les conditions climatiques qui permettent à une espèce de prospérer aujourd'hui», explique le chercheur. «Puis, par des calculs, nous cherchons à localiser les lieux où les mêmes conditions règneront dans le futur.» Des modèles dynamiques, nettement plus complexes, précisent le long de quelles trajectoires des aires de répartition pourraient se déplacer ces espèces et identifient ainsi les éventuels obstacles.

Toutefois, si un modèle simple, qui repose sur des méthodes statistiques, indique que dans cent ans le hêtre ne trouvera plus de climat adapté sur le Plateau, cela ne signifie pas pour autant qu'il aura complètement disparu de cette région. En effet, en l'absence d'événements extrêmes dramatiques – succession par exemple de plusieurs longues périodes de sécheresse –, les plantes peuvent parfois perdurer pendant des siècles dans des habitats qui ne leur sont plus vraiment adaptés. «Ce phénomène porte le nom de dette d'extinction», précise Niklaus Zimmermann.

Une étude du WSL et de l'Université de Vienne qui porte sur plus de cent plantes alpines, a révélé qu'il existe une dette d'extinction pour 60% d'entre elles. Ces espèces poussaient dans la partie inférieure de leurs aires effectives



D'après les modèles d'habitats, les chênes, espèces thermophiles et le plus souvent résistantes à la sécheresse, sont considérés comme de possibles vainqueurs sur fond de changement climatique. Les populations peuvent toutefois se différencier au niveau génétique et être de ce fait plus ou moins adaptées aux conditions futures.

de répartition, dans des habitats où, selon les modèles appliqués, elles ne devraient plus être présentes. «De telles modélisations ne sont donc pas des prédictions de faits. Elles ne font que souligner des potentiels», explique le chercheur.

Armé génétiquement pour l'avenir?

Ces modèles surestiment peut-être la dette d'extinction sur fond de changement climatique. Généralement, ils ne se fondent par exemple que sur un seul habitat optimal pour toute l'espèce. Or dans la réalité, différentes populations d'une espèce peuvent être plus ou moins tolérantes vis-à-vis des conditions locales du site étudié, en ce qui concerne leur besoin minimal en eau notamment. Ces modèles ne prennent pas non plus en compte le fait que les espèces peuvent s'adapter aux conditions environnementales modifiées au fil des générations – lors d'une période suffisamment longue et d'une diversité génétique suffisante.

C'est ce que les chercheurs tentent de démontrer avec de nouvelles méthodes: ils modélisent la composition future idéale de populations sur la base de données génétiques et de prévisions climatiques. «Pour ce faire, on détermine tout d'abord la composition génétique actuelle de populations sur la base de séquences caractérisables dans le patrimoine génétique», explique Christian Rellstab, chercheur au WSL. C'est en 2016 que le généticien fut l'un des premiers à décrire une telle méthode sur les chênes.

Parmi les séquences de patrimoine génétique étudiées, les chercheurs déterminent celles dont la variation est liée à la modification des facteurs climatiques – par exemple des séquences qui sont distinctes lorsque les populations croissent dans des sites frais ou chauds. Ils ont donc besoin des données génétiques de plantes relevant de régions géographiques ou de périodes climatiques variables – par exemple d'arbres d'âges différents, qui ont germé et se sont développés dans des conditions climatiques différentes. Des chercheurs se sont fondés sur ce type de données dans une étude du WSL récemment publiée sur les aroles. Environ cent séquences du patrimoine génétique des arbres étaient en corrélation avec les températures des sites, selon les découvertes de l'équipe de Benjamin Dauphin, Christian Rellstab et Felix Gugerli. Pour les précipitations, il s'agissait même de plusieurs centaines de séquences du patrimoine génétique.

Le modèle calcule ensuite, sur la base de telles données, la composition génétique qui conviendrait à un climat futur. Plus l'état génétique effectif d'une population est éloigné de l'état optimal dans ce climat futur, plus cette population risque un jour de ne plus être adaptée. De telles informations peuvent aider à protéger la biodiversité: «Si l'on veut sauver une espèce, on pourrait par exemple surtout protéger les populations déjà sur place qui présentent le risque le plus faible d'être mal adaptées, et qui ont de ce fait les plus grandes chances de survie», déclare Christian Rellstab.

Les résultats sont aussi utiles pour la foresterie: dans son étude sur le chêne publiée en 2016, Christian Rellstab avait par exemple démontré que le chêne pédonculé risquait le plus d'être mal adapté si le climat devenait plus sec, mais que le risque était au contraire le plus faible si les températures augmentaient. Ceci se voit d'ailleurs sur le terrain, l'espèce croissant déjà chez nous dans des sites chauds et humides. L'ampleur du risque variait toutefois en fonction des

Quelle essence est prête à accueillir le climat futur? La Tree App y répond
tree-app.ch



Le saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga aizoides*) fait partie des plantes alpines qui ont dû se réfugier en altitude face au réchauffement climatique.

populations. Grâce à ces informations, les forestiers peuvent ainsi, pour la récolte de graines, sélectionner des populations qui semblent particulièrement robustes en vue du climat futur.

De précieuses informations

À l'image des habitats, les modèles génétiques ne couvrent pas tous les facteurs pertinents. Ils se limitent notamment à la variation génétique actuelle. Or les populations peuvent – par exemple via l'échange de gènes avec d'autres espèces, voire des croisements avec des espèces étroitement apparentées – s'enrichir de nouvelles variantes génétiques éventuellement favorables.

La combinaison de tels modèles fournit de précieuses données qui aident à réagir face au changement climatique et à protéger le fonctionnement des écosystèmes forestiers (voir le graphique page 5) ou la biodiversité – comme l'exigent les ODD. Les chercheurs ne peuvent toutefois pas renoncer aux expériences en laboratoire et dans les pépinières, ni à des plantations expérimentales. De tels essais sont certes coûteux en temps et en argent, mais ils livrent des données comparatives importantes et des «reality checks» ou contrôles de réalité pour les modèles informatiques.

(kus)

ÉNERGIE **La Suisse et le renouvelable: un couple qui peut fonctionner?** Notre pays dispose d'abondantes ressources énergétiques renouvelables: le soleil dans les Alpes, le vent dans le Jura, la biomasse en forêt et dans les fermes. Des chercheurs du WSL étudient la façon dont on peut – et dont on veut – les utiliser.



Les installations photovoltaïques en montagne pourraient améliorer de façon considérable l'approvisionnement en électricité.

11 mars 2011: La catastrophe nucléaire de Fukushima au Japon contamine l'air, les sols et l'eau sur de vastes territoires et expose les habitants aux rayonnements radioactifs. C'est un choc à la suite duquel le Conseil fédéral décide la sortie progressive du nucléaire. En 2017, le peuple approuve la stratégie énergétique de 2050 avec ses trois piliers: interdiction de construire de nouvelles centrales nucléaires, promotion des énergies renouvelables et réduction de la consommation grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique.

D'après l'Office fédéral de l'énergie, nous consommons environ 220 térawattheures (TWh) d'énergie par an. Près de la moitié provient des produits pétroliers et environ un tiers de l'électricité, notamment de celle issue de l'énergie nucléaire et de la force hydraulique. Le reste est obtenu en partie grâce au gaz, au charbon et à la chaleur résiduelle. Comment produire cette quantité de façon abordable et propre, conformément aux Objectifs de développement durable de l'ONU? Pour le savoir, la Confédération a investi 250 millions de francs dans le programme d'encouragement Énergie. Entre 2014 et 2021, 1300 cher-

cheurs et autres experts ont exploré des solutions techniques, sociétales et politiques en vue de la transition énergétique.

Les ressources sont disponibles

Le WSL a lui aussi participé à ces recherches. Depuis de nombreuses années, il collecte, parmi tant d'autres, des données sur l'évolution des forêts, des glaciers, de la neige. Grâce à ces informations, il développe des modèles de simulation et peut ainsi évaluer la disponibilité de chacune des ressources naturelles sources d'énergie renouvelable: la biomasse, l'eau, le vent et le soleil.

Les chercheurs ont ainsi découvert que la biomasse – c'est-à-dire des substances organiques comme le bois, les produits de la fauche, le fumier et le lisier – recelait un grand trésor d'énergie. «La biomasse est un précieux substitut aux combustibles et carburants fossiles. Elle est de toute façon présente et peut être transformée en énergie de manière efficiente», explique Oliver Thees, chercheur en sciences forestières et économiste du WSL. Dans le cadre du programme d'encouragement, son équipe a examiné le potentiel énergétique des biomasses ligneuses et non ligneuses. Résultat: leur contribution pourrait s'élever à 27 TWh d'énergie par an, soit une quantité impressionnante.

Le bois, qu'il s'agisse de bois forestier, de déchets de bois industriel, de bois hors forêt ou de vieux bois, est déjà utilisé de façon intensive, notamment à des fins de chauffage. Accroître d'environ un tiers son exploitation serait néanmoins envisageable, selon les conclusions de l'étude d'Oliver Thees, pour atteindre un total de 13,9 TWh par an avec une exploitation durable.

Les tas de fumier et les fosses à lisier renferment actuellement un grand potentiel énergétique encore largement inexploité, à savoir environ 6,6 TWh., précise une étude du WSL sur la fabrication du biogaz à partir de fumier et de lisier. Bien plus, les émissions de gaz à effet de serre diminueraient si l'épandage de ces engrais de ferme dans les champs et les prairies était moindre, ce qui réduirait en outre la surfertilisation.

Comblent la pénurie d'électricité l'hiver

Demain, la force hydraulique continuera de fournir la majeure partie de l'électricité en Suisse. Mais elle est confrontée à un problème en hiver: une fois l'eau liée sous forme de neige ou de glace, les niveaux des lacs de retenue baissent et la production d'électricité par là même. Les modèles climatiques prédisent qu'à l'avenir, la quantité de précipitations sera inférieure en été alors qu'elle sera supérieure en hiver. «Dans ce cas, le changement climatique facilite la transition énergétique», explique Michael Lehning, chef du groupe Processus de la neige au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF.

Cela ne comblera pas pour autant la pénurie hivernale. L'hiver, la Suisse compte sur ses importations d'électricité – mais que se passera-t-il si les pays voisins ne peuvent ou ne veulent plus effectuer de livraisons et si l'énergie nucléaire disparaît un jour? D'immenses réservoirs visant à accueillir l'électricité produite l'été seraient alors nécessaires, par exemple de nouveaux barrages plus élevés et des centrales à accumulation par pompage supplémentaires. Or de telles solutions sont écologiquement très discutables.

Une étude de simulation du SLF et de l'EPFL s'est penchée sur les façons de combler la pénurie hivernale à l'aide d'énergies nationales renouvelables.

Pour en savoir plus sur «La Suisse renouvelable!» wsl.ch/suisse-renouvelable

Le résultat: si l'on développait nettement l'énergie éolienne et solaire, celles-ci pourraient, en complément de la production hydroélectrique actuelle, réduire de 80 % les importations hivernales supplémentaires nécessaires en cas d'arrêt du nucléaire.

L'énergie solaire est prometteuse en montagne: l'hiver notamment, les installations solaires sur les barrages ou les paravalanches ont produit beaucoup plus d'électricité que celles dans les vallées brumeuses, explique Annelen Kahl. Elle est chercheuse en énergie solaire au SLF et co-directrice de l'entreprise solaire SUNWELL. En montagne en effet, les jours ensoleillés sont plus nombreux, la neige réfléchit davantage la lumière du soleil et contrairement à l'installation sur les toits, on peut parfaitement orienter les panneaux solaires vers le soleil hivernal. D'après les simulations, un développement de l'énergie solaire avec environ 100 km² de nouveaux panneaux serait envisageable, dont la moitié se situerait dans les Alpes. Environ mille nouvelles éoliennes devraient ensuite combler le reste de la pénurie hivernale.

Ensemble, ces installations produiraient environ 25 TWh d'électricité, par rapport aux 3 TWh d'énergie solaire aujourd'hui, et 0,15 TWh d'énergie éolienne. «Des réservoirs supplémentaires pour l'électricité estivale seraient certes encore nécessaires, mais dans une bien moindre mesure», précise Michael Lehning. «Du point de vue technique, la transition énergétique serait ainsi tout à fait réalisable en Suisse.»

Les obstacles à l'énergie éolienne

Les contraintes administratives tels les permis de construire constituent toutefois un frein. Plus important encore: le problème de l'acceptation par la société. Dans les régions intactes qui recèlent un grand potentiel en termes d'énergie éolienne, la population ne veut pas d'installations énergétiques. C'est ce qu'a révélé le projet Energyscape du WSL. Divers parcs éoliens sont aussi bloqués à cause de recours dans des régions habitées. «Ce n'est pas la technologie qui fait défaut, c'est la communication et l'acceptation», explique Boris Salak, spécialiste en sciences sociales et collaborateur au projet. Des études antérieures démontrent que la population évalue les installations énergétiques de façon plus positive si elle est impliquée tôt dans le processus de planification.

En ce qui concerne la participation, les coopératives énergétiques pourraient être un modèle. Il en existe environ trois-cents en Suisse. Elles exploitent, notamment à la campagne, de petites installations photovoltaïques ou aux copeaux de bois financées collectivement. Une enquête du WSL effectuée en 2016 a conclu que leurs forces étaient l'ancrage local, une vaste participation financière et une étroite collaboration avec les communes. Pour encourager cette forme d'organisation, une garantie d'achat de l'énergie produite, qui couvrirait les coûts, serait nécessaire au fil de la durée de vie des installations.

Selon Boris Salak, la transition énergétique n'a de chance de fonctionner que si les producteurs d'énergie et les autorités prennent en considération les aspects sociopolitiques – qu'il s'agisse des valeurs sociales à l'image de l'attitude des gens vis-à-vis de «leur» paysage, ou des coûts écologiques tels qu'une éventuelle perte de biodiversité. «Un choix d'emplacement pour les installations énergétiques qui ne repose que sur des bases techniques et économiques, n'est pas durable.» *(bki)*

Kerstin Treydte, Birmensdorf

«La musique complète parfaitement la recherche. Elle sollicite d'autres aspects de ma personnalité. Des masterclass régulières de flûte ou de musique ancienne à Arosa, ou des cours de musique de chambre à l'image de celui-ci sur l'île de Rheinau, sont les moments forts de mon année.»

LES CERNES, CES ARCHIVES CLIMATIQUES

Kerstin Treydte est dendrochronologue. Elle analyse les isotopes stables dans le bois afin de comprendre le climat du passé ou de découvrir les répercussions du climat actuel sur la croissance des arbres. De telles données aident à affiner les modèles climatiques et les prévisions

sur l'avenir des forêts. Avec une équipe internationale, elle reconstitue en ce moment le degré hygrométrique des 400 dernières années dans les plaines européennes. «J'aime beaucoup les échanges et la collaboration avec les autres collègues.» (KUs)



Les chablis peuvent parfois avoir des répercussions de longue durée sur le sol.

Les tempêtes causent des dégâts aux parties aériennes de la forêt, phénomène souvent longtemps visible: branches cassées, troncs pliés, arbres déracinés. Mathias Mayer, pédologue au WSL, étudie les modifications du stockage du carbone et de la biodiversité dans le sol occasionnées par les chablis.

Mathias Mayer et une équipe du WSL ont examiné les impacts sur le stockage du carbone grâce à des échantillons de sols prélevés dans 19 stations forestières suisses, vingt ans après Vivian et dix ans après Lothar. Ces placettes se situent entre 420 et 1550 mètres d'altitude. À titre de comparaison, les chercheurs ont prélevé des échantillons de sols de forêts voisines épargnées par les chablis.

Ils ont analysé les échantillons à la lueur de leurs réserves de carbone organique. Ils ont tout d'abord ob-

servé que la couche d'humus – c'est-à-dire la couche supérieure du sol, purement organique – emmagasinait généralement plus de carbone en montagne que sur le Plateau. Cela est lié aux températures: dans les régions de montagne où il fait plus froid et où les périodes de chaleur sont plus courtes, les processus de décomposition sont plus lents, ce qui se traduit par d'épaisses couches d'humus. Dans les sols plus chauds au contraire, la litière de feuilles ou d'aiguilles nouvellement constituée est presque aussitôt complètement décomposée par les organismes du sol.

Des forêts de montagne sensibles

Les épaisses couches d'humus sont toutefois particulièrement sensibles aux chablis comme l'a montré l'étude: au moment de l'échantillonnage, la

couche d'humus des sols en montagne comportait encore jusqu'à 90 % de carbone en moins qu'avant la tempête. La raison: sans les arbres à l'origine des chutes de feuilles ou d'aiguilles, la couche d'humus ne bénéficie de quasiment aucun nouvel apport en matériau organique. Comme en parallèle moins d'arbres ombragent le sol et en extraient de l'eau, celui-ci devient plus chaud et plus humide, ce qui accélère la décomposition de la couche d'humus existante.

Ce processus se déroule aussi à plus faible altitude. «Là-bas, le sol, c'est-à-dire la couche d'humus, s'y rétablit toutefois plus vite. La prochaine génération d'arbres croît plus rapidement qu'en montagne. Leurs dépôts de litière reconstituent très vite les stocks de carbone souterrains», précise Mathias Mayer. En effet, déjà dix ans après la tempête, les chercheurs n'observaient presque plus de répercussions dans les sols forestiers à faible altitude

Dans une deuxième étape, l'équipe a modélisé, pour l'ensemble de la forêt suisse, les pertes éventuelles de carbone du sol occasionnées par les chablis. Elle a utilisé pour ce faire la base de données sur les sols du WSL, alimentée par plus de 1200 stations forestières suisses. Le bilan: après des chablis, de nombreuses forêts de montagne perdent de grandes quantités de carbone à partir de la couche d'humus. Ces pertes après chablis correspondent à peu près à la quantité de carbone que la forêt stocke en quarante ans dans la même surface sous forme de biomasse. «Si le stockage de carbone de plusieurs décennies était ainsi annulé, les conséquences seraient négatives pour le climat», reconnaît Mathias Mayer.

Les chablis influent sur les champignons du sol

Les modifications dans les stocks de carbone des forêts de montagne ne sont pas la seule conséquence des tempêtes dont Mathias Mayer ait retrouvé la trace dans les sols forestiers. Avec des chercheurs de l'Université d'agronomie de Vienne, il a pu démontrer que les dégâts causés par la tempête influaient aussi fortement sur les champignons du sol. «La perte de la strate arborescente est particuliè-



Les chercheurs ont comparé des sols forestiers sur des surfaces de chablis à d'autres sols intacts.

rement dommageable aux champignons mycorrhiziens qui vivent en symbiose avec les arbres», précise-t-il. Mais si les arbres survivants et les chablis sont laissés en l'état, il est possible de compenser les conséquences négatives sur ce groupe de champignons. Du point de vue de la gestion forestière, il est néanmoins recommandé d'évacuer régulièrement les chablis afin de prévenir les infestations de ravageurs, explique le chercheur. Les chercheurs ont comparé des sols forestiers sur des surfaces de chablis à d'autres sols intacts. (sru)

Une violente tempête peut ravager une forêt – avec des conséquences désastreuses pour la foresterie et les prestations écosystémiques fournies (voir l'infographique p. 5). Lors d'événements à grande échelle, l'offre excessive en bois entraîne l'effondrement des prix sur le marché international, les scieries n'arrivent plus à



L'entreposage humide permet aux propriétaires de forêt de conserver la qualité du bois sur de longues périodes de stockage.

suivre le rythme. Qu'entreprennent alors les propriétaires de forêt et comment les scieries réagissent-elles dans un tel contexte?

Pour répondre à ces questions, une équipe de recherche en collaboration avec Janine Schweier, chercheuse en sciences forestières, a étudié sept tempêtes majeures, dont Lothar en 1999, et compilé les pratiques courantes de la foresterie en Suisse et dans les autres pays d'Europe. Les chercheurs ont aussi contacté les scieries pour savoir comment elles géraient les quantités de bois fluctuantes après les événements extrêmes.

Selon Janine Schweier, la priorité absolue est la sécurité des personnes en forêt car les branches non fixées dans la couronne et les arbres endommagés sont une menace pour les forestiers et les promeneurs en quête de détente. C'est seulement lorsque la sécurité est à nouveau garantie que les propriétaires de forêt décident de façon individuelle de la suite à donner aux travaux de déblaiement et à la vente de bois. Ce qu'ils entreprennent dépend de l'éventail des prestations écosystémiques que la forêt doit fournir: la matière première durable qu'est le bois, un espace de détente, un habitat pour les animaux et les plantes et/ou une protection face aux dangers naturels.

Si la vente du bois peut être retardée, ce report compense la réduction des prix et soulage les scieries. Lors de son stockage, le bois perd toutefois en qualité. «L'entreposage humide offre ici une solution étonnamment simple, encore trop rarement mise en œuvre», constate Janine Schweier. L'aspersion des troncs permet ainsi de conserver leur qualité.

Dans le cadre de plusieurs projets interdisciplinaires, Janine Schweier évalue la menace que les tempêtes font peser sur les forêts. L'objectif: une adaptation des entreprises forestières et de leurs stratégies d'exploitation, avec par exemple la plantation d'espèces plus robustes dans des peuplements forestiers menacés. De telles actions s'avèreront de plus en plus pertinentes car à l'avenir les tempêtes gagneront en fréquence et en intensité sur fond de changement climatique. *(mlg)*

wsl.ch/ONEforest

PAYSAGE Les parcs historiques sont bien plus que des poumons verts

Qu'ont en commun le Parc Rieter à Zurich et le jardin Eram à Shiraz, en Iran? Tous deux furent jadis des jardins privés de demeures somptueuses et sont aujourd'hui des éléments importants de l'«infrastructure verte». De tels parcs dotés d'une architecture de jardins historiques offrent des espaces de détente mais renforcent aussi les liens avec un endroit, c'est-à-dire l'attachement à cet endroit – en particulier chez les immigrés. C'est ce qu'ont découvert Mahsa Bazrafshan, doctorante au WSL, et son directeur de thèse, Felix Kienast.

Dans un laboratoire audiovisuel, les chercheurs ont montré des images de ces deux parcs à des personnes originaires de Suisse et d'Iran. Ils ont en même temps mesuré la conductibilité électrique de la peau, laquelle donne des indications sur la tension et la détente. Des questions sur les impressions et les avis sur les parcs ont permis d'évaluer l'attachement à l'endroit. «Plus cet attachement était fort, plus les images du parc concerné avaient un effet apaisant», explique

Mahsa Bazrafshan. De plus, selon des mesures, le parc iranien, issu de sa propre culture, exerçait un effet particulièrement apaisant.

L'expérience permet aussi d'étudier quand naît l'attachement à un lieu chez les migrants: selon les mesures, le Parc Rieter «étranger» a eu sur les Iraniens installés depuis quelques années déjà en Suisse un effet nettement plus apaisant que le jardin Eram sur les participants suisses qui ne s'y étaient jamais promenés.

Dans une autre étude de Mahsa Bazrafshan en Iran, des personnes originaires d'Afghanistan avaient pu découvrir, dans la structure historique du bâti des jardins persans, des éléments et des fonctions qu'elles pouvaient rattacher à des souvenirs d'enfance. «De tels liens sont probablement particulièrement nombreux dans les parcs historiques», avance Felix Kienast. «Il importerait donc de prendre soin d'eux, non seulement pour des raisons culturelles mais aussi pour des raisons d'intégration.» (kus)



Le jardin Eram en Iran relève de la tradition millénaire du jardin persan.

PAYSAGE Les plans numériques démocratisent-ils l'aménagement du territoire?

Presque chaque commune a aujourd'hui mis en ligne sur Internet des plans colorés qui distinguent les zones à bâtir des autres zones. Quels sont les avantages et les inconvénients de cette numérisation? Un projet à l'échelle de l'UE auquel a participé Anna Hersperger, chercheuse au WSL, a étudié cette question.

Anna Hersperger, qu'entend-on par plan numérique?

Il s'agit de données numériques sur l'aménagement du territoire. Elles comprennent non seulement des cartes mais aussi les résultats des enquêtes auprès de la population ou des analyses sur l'évolution démographique, par exemple dans un quartier. En Suisse, il existe notamment le cadastre RDPPF. Il énumère toutes les restrictions de droit public à la propriété foncière. Il répond ainsi aux questions suivantes: a-t-on le droit de construire ou d'installer une exploitation à tel endroit? Et si oui, qu'est-ce qui est autorisé? Qu'est-ce qui est en revanche protégé? Des sites sont-ils contaminés? Les autorités, les propriétaires de biens-fonds et les investisseurs ont besoin de ces informations pour planifier des projets et l'utilisation des sols.

Pourquoi des recherches sont-elles nécessaires en ce domaine?

La planification numérique se développe vite actuellement. Aussi est-il important de la considérer de façon critique: quelle approche fonctionne bien? À quoi doit-on faire attention? Pourquoi quelque

chose a-t-il moins bien fonctionné? Notre recherche appliquée aide les utilisateurs à élaborer les «meilleures pratiques».

Comment avez-vous procédé?

Nous avons effectué des relevés généraux pour quinze pays, et d'autres détaillés pour six pays, afin de savoir dans quelle mesure des plans étaient disponibles en ligne. Nous avons demandé quelles étaient les parties prenantes et si les plans étaient contraignants au niveau juridique pour les projets de construction. Nous voulions aussi savoir dans quelle mesure ces données influençaient les pratiques de planification.

Qu'avez-vous découvert?

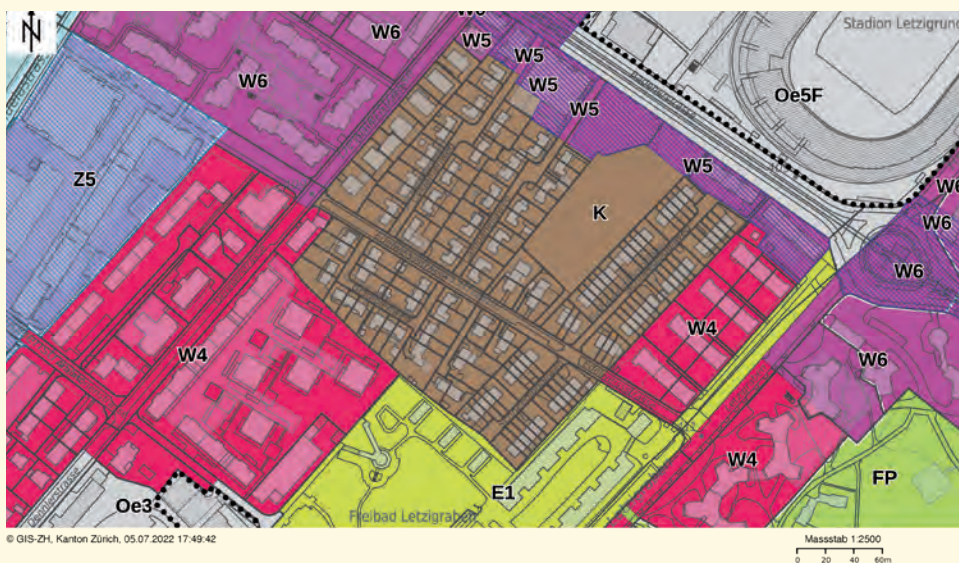
Nous avons découvert une immense diversité, depuis le simple scan du plan d'affectation au registre complet en ligne avec les géodonnées. De façon générale, la numérisation est synonyme de davantage d'efficacité. Jadis, nous devions consulter le plan suspendu au mur de la mairie, aujourd'hui nous avons très rapidement accès au système d'information géographique (SIG).

Existe-t-il d'autres avantages?

Les données numériques permettent une meilleure interconnexion entre le secteur de la construction, la protection de la nature, l'infrastructure et les prestations. La qualité de la planification s'améliore dans une certaine mesure, tout comme la transparence.



Anna Hersperger est cheffe du groupe de recherche Systèmes d'utilisation du territoire et membre de la Direction du WSL



Tout est en ligne: le cadastre des restrictions de droit public à la propriété foncière (cadastre RDPPF) comprend toutes les informations concernant le droit ou non d'utiliser un bien-fonds.

Qu'en est-il des difficultés ou des inconvénients?

Un défi majeur consiste à développer des normes, par exemple des systèmes de symboles et de couleurs homogènes, ou des formats de données. Il serait ainsi possible de répondre à des questions passionnantes sur les grandes régions, par exemple d'établir si une certaine zone s'est développée comme la planification l'avait prévu.

Vous avez formulé 25 recommandations à l'attention de la politique. Quelles sont les plus importantes?

Une stratégie à long terme pour la numérisation et une facilité d'utilisation sont évidemment nécessaires. Il importe d'encourager la numérisation dans les zones rurales et de penser en termes de chaînes de processus. Actuellement, la planification a lieu dans des sphères séparées, du permis de construire au monitoring en passant par la construction. Il serait pertinent de recourir au contraire à des bases de données homogènes.

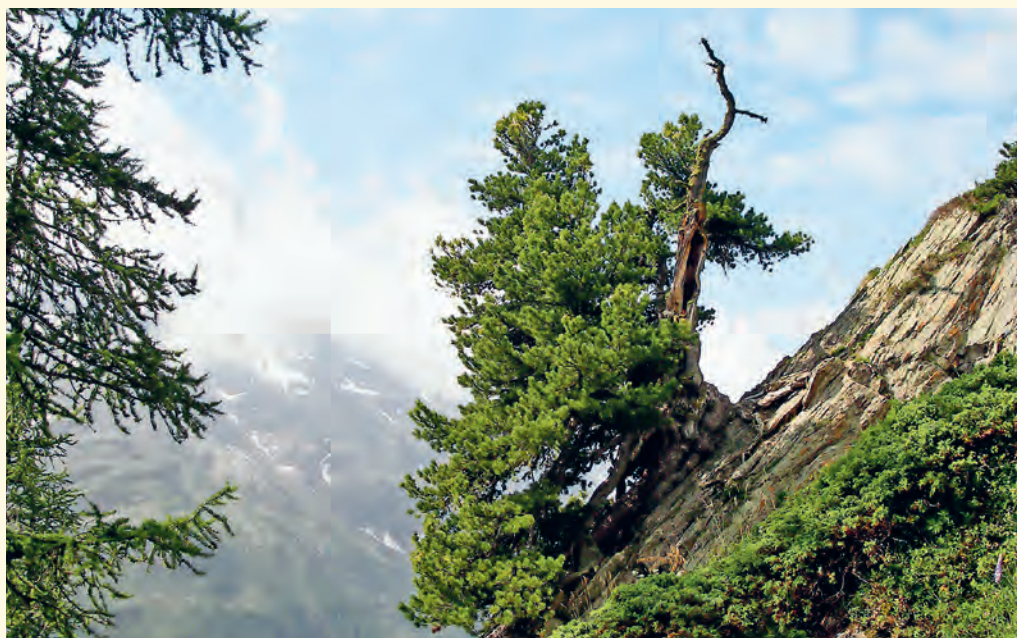
Les gens utilisent-ils davantage les plans si ceux-ci sont en ligne?

Désormais, les notaires ou les sociétés immobilières utilisent en effet souvent les plans numériques. Nous aurions toutefois pensé que les organisations de protection de la nature ou les associations de quartier y auraient davantage recours pour se tenir au courant.

Les plans numériques démocratisent-ils l'aménagement du territoire?

Si l'on s'y prend bien, oui. Il est indéniable que la population peut bien mieux s'informer grâce aux plans numériques et avoir plus facilement voix au chapitre. Certains craignent toutefois que l'aménagement du territoire ne devienne trop technocratique et manque de ce fait de transparence. La discussion politique ou la créativité de l'urbaniste pourraient ainsi passer à l'arrière-plan. Il importe de dire qu'il reste encore à s'améliorer au niveau de la transparence car de nombreuses planifications suprarégionales, telles que les programmes d'agglomération, n'ont pas encore été intégrées aux plans numériques. *(bki)*

espon.eu/digiplan



Impossible d'imaginer la limite forestière des Alpes sans lui: l'arole, *Pinus cembra*.

Il résiste au froid glacial et au soleil intense: l'arole, le roi des Alpes, là où il croît à la limite supérieure de la forêt alors qu'on ne le retrouve que de façon isolée dans les Carpates. Ce ne fut pas toujours le cas: les successions de périodes chaudes et froides pendant les glaciations obligèrent régulièrement l'espèce à migrer. Pour la première fois, les chercheurs du WSL ont reconstitué, grâce à des découvertes fossiles et à des données génétiques sur toute l'aire de répartition, les chemins qu'il a empruntés et les endroits où il s'est maintenu pendant les périodes chaudes ou froides.

Pour ce faire, l'équipe réunie autour de Felix Gugerli a étudié des découvertes fossiles d'aroles de plus de cent sites dont les plus anciens datent d'environ vingt mille ans. Les chercheurs ont aussi déterminé la diversité génétique dans près de cent-cinquante peuplements d'aroles. Les fossiles ont permis d'ancrer avec certitude l'espèce dans certaines régions

et certaines époques, les données génétiques fournissant des indications sur des événements qui remontent à des centaines de milliers d'années.

Deux lignées identifiées

Il y a plus de 200 000 ans, une partie des aroles a dû être longtemps séparée du reste de l'aire de répartition: une lignée «orientale» et une lignée «occidentale» de l'arole se sont ainsi constituées. «À partir d'un éloignement de cinq cents kilomètres environ, il n'y a presque plus d'échanges génétiques entre les différentes populations», explique Felix Gugerli. En conséquence, la lignée orientale aujourd'hui présente dans les Alpes orientales et les Carpates possède un autre modèle génétique que les aroles des Alpes occidentales.

Les données indiquent aussi que jadis, l'arole n'était presque jamais présent à vaste échelle. Même au stade de sa plus grande extension – vers la fin de la dernière glaciation, quand il

avait colonisé la zone entre les Alpes et les Carpates jusqu'à moyenne altitude en montagne –, ses peuplements étaient probablement isolés.

«Sur fond de réchauffement accru, l'épicéa s'est ensuite imposé car il se répandait plus rapidement et poussait plus vite», précise Felix Guggerli. L'arole s'est réfugié en altitude. De telles informations sur les migrations passées de l'essence aident à mieux prévoir son avenir dans le contexte du changement climatique.

En cas de réchauffement persistant, l'arole pourrait continuer de gagner en altitude, supposent les chercheurs. Mais pour cela, il a besoin d'aide humaine. En effet le cassenoix moucheté, qui dissémine ses graines, ne cache celles-ci que rarement en amont de la limite forestière. Des données génétiques aident à identifier les origines ou sites adaptés à des plantations éventuelles. (kus)

wsl.ch/arole

BIODIVERSITÉ Comment la neige influe sur la nature

La couverture neigeuse a une grande influence sur les écosystèmes alpins et arctiques. Christian Rixen, chercheur au WSL, explique pourquoi.

Christian Rixen, vous êtes spécialiste en écologie végétale et menez des recherches dans des écosystèmes très froids, en Arctique et dans les Alpes. Pourquoi précisément dans des régions où la végétation est rare?

Les plantes spécialistes du froid me fascinent car elles poussent, selon notre point de vue, dans un environnement hostile. Leurs habitats sont fortement touchés par le réchauffement climatique. Et je me demande quel sera l'avenir des plantes spécialistes en haute montagne. Où pourront-elles se réfugier lorsque le climat se réchauffera? Chez nous, les montagnes sont relativement élevées. Mais plus les plantes doivent migrer en altitude, plus leur habitat se rétrécit.

Mais pourquoi l'Arctique?

J'aime à dire que ce qui se passe en Arctique ne reste pas en Arctique. D'immenses quantités de carbone y sont stockées dans le pergélisol,



Christian Rixen est chercheur en écologie végétale au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF.

c'est-à-dire dans le sol gelé en permanence. Lorsque celui-ci dégèle, le carbone est libéré sous forme de gaz à effet de serre. Cela peut alimenter davantage encore le réchauffement climatique et par là même – pour le formuler de façon pessimiste – réduire à néant nos efforts pour lutter contre le changement climatique. Les plantes peuvent jouer un rôle important, aussi bien pour la fixation que pour la libération du carbone. Elles sont de surcroît d'excellents indicateurs des conditions environnementales, et éventuellement des stocks de carbone dans le sol.

Quel est l'impact de la neige dans ces froids écosystèmes?

L'impact de la neige y est particulièrement important car celle-ci reste au sol pendant une grande partie de l'année. La durée d'enneigement détermine la durée – courte ou longue - de la saison estivale. Le moment exact de la fonte des neiges exerce aussi une forte influence sur les associations végétales qui pourraient apparaître à un endroit donné.

La couverture neigeuse de l'Arctique se différencie-t-elle de celle des Alpes?

Dans les Alpes, nous avons beaucoup de précipitations sous forme de neige qui isole le sol. Si le manteau neigeux a plus d'un demi-mètre d'épaisseur, la température à la surface du sol est de zéro degré, celle en dessous de quelques degrés de plus. Dans les régions arctiques à haute altitude, le temps est au contraire souvent relativement sec et il y a moins de neige isolante. Les gelées au sol sont ainsi plus fortes et le sol se refroidit davantage, ce qui a des répercussions sur le pergélisol.

Que se passe-t-il si la neige fond plus tôt? Est-ce bénéfique pour les plantes?

C'est tout à fait intéressant. Lors d'une expérience hivernale à Davos, nous avons déblayé la neige chaque printemps sur des placettes prédéfinies en amont de la limite forestière. La plupart des plantes n'en ont pas tiré grand bénéfice. Pour beaucoup de plantes alpines, il est préférable que la neige reste plus longtemps au sol pour protéger du gel et garantir aux plantes davantage d'humidité au printemps. Dans notre expérience, la seule exception

fut l'azalée des Alpes. Celle-ci pousse naturellement au niveau des crêtes, là où la neige fond précocement, et elle a bénéficié d'une période de végétation plus longue.

Et qu'en est-il si la neige reste plus longtemps au sol qu'à la normale?

Nous l'avons aussi étudié de façon expérimentale et avons obtenu d'intéressants résultats. Car au lieu de déblayer la neige, on peut aussi ériger des clôtures à neige. Cela fonctionne là où il neige relativement peu et où le vent a une direction principale. La neige s'accumule sur la pente à l'abri du vent. Une telle expérience de chercheurs de la station de recherches Abisko au nord de la Suède a révélé que le pergélisol fondait en effet davantage sous un tas de neige. La neige empêchait le sol de se refroidir.

Le changement climatique a-t-il modifié la quantité de neige?

Ces dernières décennies, le temps s'est réchauffé et en parallèle, la couverture neigeuse s'est en règle générale maintenue moins longtemps. Sur le Weissfluhjoch à Davos, l'hiver dernier, nous avons par exemple observé la durée d'enneigement la plus courte depuis quatre-vingts ans, date des premières mesures. Le réchauffement va-t-il se traduire partout par une quantité moindre de neige? Nous ne le savons pas encore. Il est aussi possible que les températures supérieures entraînent une quantité accrue de précipitations et davantage de neige à altitude élevée en haute montagne ou dans le Grand Nord Arctique. Les corrélations entre réchauffement climatique et couverture neigeuse ne sont pas linéaires. (mlg)

Eric Gehring, Cadenazzo

«J'aime contempler mon environnement d'un regard sans cesse nouveau. C'est pour moi comme un jeu sans fin au cours duquel ma perception s'élargit quasi à l'infini. Le faire dans cette nature magnifique s'apparente à de la magie.»



SUR LES TRACES DES PLANTES INVASIVES

Eric Gehring travaille sur le site du WSL de Cadenazzo. Au sein du groupe Écosystèmes insubriques, il étudie des plantes exotiques à l'image du paulownia et de l'ailante, qui se multiplient à une vitesse fulgurante dans les forêts tessinoises. Passionné par cette recherche, il aime

rait découvrir ce qui rend ces espèces ligneuses si invasives et il élabore des solutions pour les gérer de façon judicieuse. «Même si ces plantes sont sources de problèmes, je trouve fascinante leur capacité de survivre dans des environnements hostiles.» (gpe)

DANGERS NATURELS Mieux estimer l'impact du bois mort sur les chutes de pierres et les avalanches

La forêt suisse protège les zones d'habitation ou les infrastructures des avalanches, des chutes de pierres ou des laves torrentielles. Mais les tempêtes renversent aussi les arbres à grande échelle, ce qui influe sur l'effet protecteur de la forêt. Comment? C'est ce qu'ont étudié des chercheurs du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF.

«Les torrents et les laves torrentielles deviennent plus dangereux en raison du bois mort avoisinant», explique Peter Bebi, chercheur au SLF qui supervise les travaux. Si le bois mort est emporté, le potentiel de dégâts provoqués par les coulées de boue s'accroît. «C'est pourquoi le bois mort est évacué des chenaux qui présentent un risque élevé de laves torrentielles. Pour les avalanches et les chutes de pierres, la situation est moins évidente.»

Ainsi, selon un essai d'Adrian Ringenbach, doctorant, seuls à peine 4 % des pierres artificielles d'un poids de 45 kilos ont franchi une zone avec des arbres à terre. En forêt avec les arbres sur pied ou après l'évacuation des troncs, il s'agissait de plus de 70 %. «C'est une question de proba-

bilité: si une pierre dévale la montagne, la probabilité qu'elle entre en collision avec un arbre à terre en travers de la pente est supérieure à celle qu'elle s'écrase contre un arbre sur pied», précise Peter Bebi. «Nos modèles indiquent que même dix ans plus tard, le bois mort à terre protégera encore mieux des chutes de pierres que les arbres sur pied. Dans les terrains très pentus, les pierres éparses derrière les troncs en décomposition représentent néanmoins un risque résiduel car elles pourraient se remettre à rouler.»

Une protection à long terme

Le bois mort protège aussi des avalanches pendant des années, comme l'a découvert Natalie Brozová, doctorante. Au bout de dix à quinze ans, la protection atteint toutefois son niveau le plus bas. C'est parce que les branches pourrissent ou se brisent et que la barrière en bois s'affaisse sur elle-même. Ensuite, la tendance repart à la hausse lorsque la forêt repousse. Un processus similaire s'applique aux chutes de pierres.

Les chercheurs ont aussi découvert des moyens de mieux représenter



Les arbres sur pied (jaunes/orange) et à terre (blancs) influent sur la vitesse des pierres qui dévalent la pente (en vert dans la visualisation).

la «rugosité» du sol – obstacles comme le bois mort, arbres isolés sur pied ou irrégularités du terrain – dans des modèles en vue de l'analyse des risques ou de simulations. Selon Peter Bebi, ce facteur est encore sous-représenté. Or, il gagne en importance étant donné que l'on s'attend à ce que les tempêtes, la sécheresse et les infestations de scolytes occasionnent une plus grande quantité de bois mort dans le contexte du changement climatique.

Natalie Brozová a réussi à trouver à cet effet un algorithme pour les avalanches, et à l'adapter à la situation en montagne. Elle a aussi démontré que certaines données de télédétection étaient adaptées à l'évaluation

de la rugosité. Les intégrer permettrait une analyse des dangers à bien plus grande échelle que ne le permettent de seules inspections. Les données d'Adrian Ringenbach ont aidé à intégrer correctement le bois à terre dans les modèles pour les chutes de pierres.

«Il s'agit désormais de collecter des valeurs empiriques avec les modèles adaptés», déclare Peter Bebi. «Nous pourrions ensuite fixer par exemple des valeurs seuil à partir desquelles le bois mort protégerait en présence d'une certaine inclinaison de pente, et déterminer les risques résiduels. Cela pourrait aider le service forestier dans sa décision d'évacuer le bois ou de le laisser à terre.» (*kus*)

DANGERS NATURELS Potentiel inexploité: détection des avalanches à l'aide de câbles à fibre optique

En montagne, la plupart des avalanches restent inaperçues. Or, pour la sécurité routière notamment, il serait important de savoir précisément où et quand un épisode avalancheux a eu lieu afin que les autorités puissent minimiser le temps de fermeture des routes. De plus, le service de prévision des avalanches a aussi besoin de ces données pour affiner ses prévisions.

Les observateurs d'avalanches sur le terrain pourraient désormais avoir recours à des câbles de fibre optique utilisés dans les télécommunications. Ceux-ci réagissent aux vibrations du sol par des déformations minimes. Un appareil émetteur d'impulsions laser dans les câbles peut alors être utilisé pour mesurer ces déformations, transformant les câbles en capteurs sismiques. «La technologie n'est pas nouvelle. C'est néanmoins la première fois qu'elle sert à détecter des avalanches», explique

Alec van Herwijnen, chercheur au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF.

Les tests au col de la Flüela (GR) ont donné des résultats positifs. Sous la direction du groupe Sismologie et physique des ondes de l'EPF de Zurich, l'équipe du chercheur Pascal Edme a identifié plusieurs avalanches qui sont descendues au-dessus ou à côté d'un câble le long du col. La mise en œuvre dans la pratique pose pourtant problème, chaque vibration du sol produisant un signal qui se répercute sur les données. «En cas de surveillance à grande échelle, l'évaluation d'énormes quantités de données nécessitera de nouvelles méthodes telles que l'intelligence artificielle», reconnaît Alec van Herwijnen, persuadé qu'en ce domaine la recherche avancera à grands pas ces prochaines années. (*lbo*)

DANGERS NATURELS Détection et cartographie des avalanches par des drones autonomes



Ici, le drone a encore besoin d'un pilote – à l'avenir, les drones devraient pouvoir voler et cartographier des avalanches de façon complètement autonome.

Chaque jour, des drones «avion» s'élèvent dans les Alpes suisses. Ils survolent de vastes étendues et saisissent des zones ruptures, des trajectoires et des dépôts de toutes les avalanches. Ils mettent immédiatement ces informations à la disposition du service de prévision des avalanches du SLF et des responsables locaux en matière de sécurité. Les bureaux d'ingénieurs qui établissent les cartes des dangers et planifient les mesures de protection utilisent aussi ces données.

Cette vision correspond à une vision d'avenir esquissée par Yves Bühler, chercheur en télé-détection du SLF. «Nous ne savons aujourd'hui que de façon fragmentaire où se produisent les avalanches», explique-t-il. «C'est toutefois important pour découvrir pourquoi des avalanches se dé-

clenchent dans certaines conditions – ou pas».

Intelligence artificielle et drones autonomes

Il y a encore beaucoup à faire pour transformer cette vision en réalité: à ce jour, seuls les êtres humains peuvent détecter des avalanches sur photos. Pour les images satellites, Elisabeth Hafner, doctorante sous la direction d'Yves Bühler, a cependant déjà entraîné une intelligence artificielle de façon à ce que l'ordinateur puisse cartographier des avalanches de façon indépendante. Elle le fait désormais pour les photos de drones. Lorsque les drones photographient chaque avalanche sous plusieurs angles, l'ordinateur peut aussi calculer leur volume par photogrammétrie.

L'«Autonomous Systems Lab» de l'EPF de Zurich travaille à la technologie des drones en collaboration avec le SLF. En effet, le drone doit non seulement fonctionner malgré le gel, les parois rocheuses et les vents descendants, mais il doit aussi rester dans les airs assez longtemps pour atteindre les zones reculées. Il doit aussi adapter sa trajectoire pour passer d'un vol d'exploration à une saisie détaillée dès qu'il découvre une avalanche ici ou là. Cela signifie que le programme doit reconnaître les avalanches en temps réel et interagir de façon fiable avec le pilotage du drone. Yves Bühler sait que ce n'est pas simple: «Le projet peut aussi échouer. Mais s'il réussit, il constituera un immense progrès pour la protection contre les avalanches!». (bio)

wsl.ch/avalmapper

NEIGE ET GLACE Une nouvelle méthode pour mesurer les manteaux neigeux à l'échelle mondiale

D'importantes parties de la surface de la Terre sont recouvertes de neige pendant certaines saisons ou toute l'année, ce qui a une influence notable sur le climat mondial. Pour évaluer celle-ci, l'exactitude des informations sur le manteau neigeux est décisive. Or les vastes zones enneigées – et de ce fait celles qui influent particulièrement sur le climat – à savoir l'Antarctique, le Groenland, le nord du Canada et de la Sibérie, sont extrêmement reculées. D'où la rareté des mesures au sol du manteau neigeux dans ces contrées.

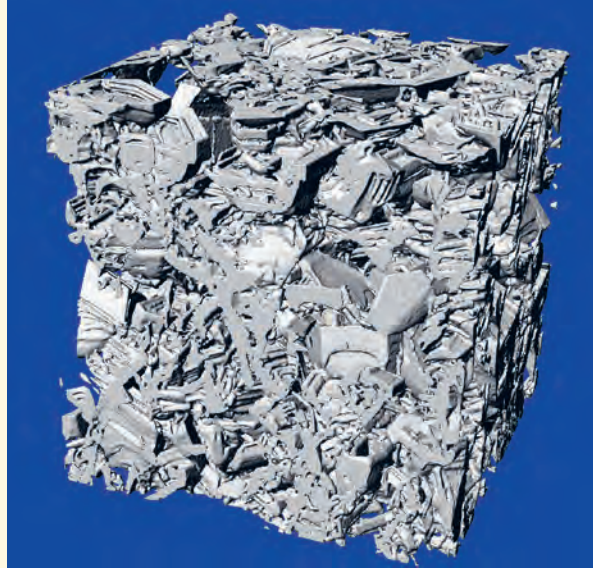
Pour obtenir des données à grande échelle dans ces régions, on a recours à des satellites. L'évaluation de ces données de télédétection était toutefois jusqu'à présent liée à de nombreuses incertitudes. Avec des chercheurs venus de France et du Canada, Henning Löwe du WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF a développé une méthode qui permet des mesures plus exactes.

La clé de la compréhension

Les satellites mesurent les microondes émises par la surface de la Terre. Le signal reçu par le satellite dépend d'une part de la présence ou non de neige au sol, et de sa quantité. D'autre part, le type de neige, c'est-à-dire sa microstructure, influence le rayonnement mesuré par le satellite. Les chercheurs doivent comprendre précisément ces interrelations pour pouvoir déduire les quantités de neige des données de télédétection.

Henning Löwe et ses collègues ont dans cette optique analysé des échantillons de différents types de neige avec un tomodensitomètre

dans le laboratoire réfrigéré du SLF. Grâce à ces mesures, ils ont acquis de nouvelles connaissances sur la microstructure de la neige. Celles-ci leur ont permis de déterminer l'influence



Tomodensitométrie d'un échantillon de neige en provenance de l'Arctique: lors de l'interprétation des données de télédétection, la microstructure doit être prise en considération.

du type de neige sur le rayonnement micro-ondes diffusé dans le manteau neigeux, les résultats étant ensuite corroborés par des mesures satellite. Si à l'avenir ces progrès sont pris en compte lors de l'analyse des données de télédétection, Henning Löwe s'attend à ce que ces informations plus précises sur le manteau neigeux contribuent à des prévisions météorologiques et climatiques plus exactes. *(mbe)*

Marco Hofmänner, Davos

«L'hiver, c'est calme ici, dans ce parc VTT et aventure qui est fermé. J'y roule seulement à vélo jusqu'au travail. Mais l'été, en tant que vététiste passionné je m'y entraîne, c'est le point de rencontre à Davos. J'aime l'atmosphère décontractée.»



VARIÉTÉ ET LIBERTÉ EN CUISINE

Au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF à Davos, Marco Hofmänner est responsable du bien-être des collaborateurs: «Planifier les menus, faire les courses, la cuisine, les gâteaux, nettoyer, assurer le contact direct avec tous – j'aime

énormément la variété de mon travail.» Il est reconnaissant de ses horaires agréables et inhabituels dans le secteur de la gastronomie et il lui importe que tout le monde quitte la cafétéria satisfait. Les feedbacks sont les bienvenus! (sni)



Les frontières séparent, mais constituent également des zones de rencontre. Elles sont nettes ou floues, discontinues ou imperméables. Lors de leur travail, les chercheurs du WSL se trouvent régulièrement aux prises avec des frontières et les étudient: que se passe-t-il à la frontière entre l'eau et les terres? Comment la limite forestière se déplace-t-elle lorsque les températures augmentent? Et comment empêcher les espèces invasives de franchir les frontières suisses? Les chercheurs quant à eux dépassent eux-mêmes souvent ces frontières et travaillent ensemble au-delà des disciplines de recherche, des institutions et des continents.

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), Majken Grimm (mgl),
Martin Heggli (mhe), Beate Kittl (bki),
Stephanie Kusma (kus), Birgit Ottmer (bio), Sara Niedermann (sni), Gottardo Pestalozzi (gpe), Santina Russo (sru)

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,
2/22. 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

ROBOT PHOTOGRAPHIQUE «SKIPPY»

Appareil photo avec objectif macro

Photos sans distorsion des cernes

Série de photos prises:

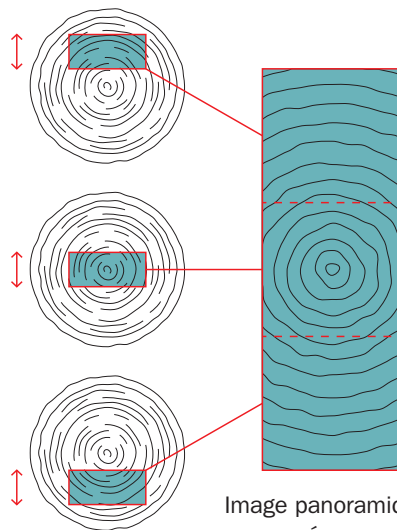


Image panoramique composée

Section de tronc

Anneau lumineux en LED provenant de l'imprimante 3D

Plaque mobile

Les cernes nous donnent des informations importantes sur le climat du passé. Pour cette raison, les dendrochronologues du WSL prennent chaque année des mesures de centaines de milliers d'entre eux. Jusque-là, ils devaient le faire manuellement, à l'aide de clics de souris, sur une photo «en direct» d'une carotte ou d'une section de tronc. Depuis peu, un robot photographique nommé «Skippy» les déleste de ce travail: la carotte ou la section de tronc sont posées sur une plaque coulissante qui, pilotée par ordinateur, avance de quelques millimètres à chaque fois. Un appareil photo installé sur un support prend une photo à chaque arrêt. Ensuite, un programme informatique assemble toutes les photos sans aucune distorsion. Il est alors possible de mesurer chaque cerne avec précision sur la photo panoramique à haute résolution. (bki)

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



MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Quelles sont les prestations des régions de montagne?

N°1
13

Longicorne asiatique: De nouvelles méthodes génétiques, p. 20	Flétrissement du frêne: Découverte d'une nouvelle voie d'infection, p. 23	Evolution du paysage: Les aires de loisirs sous pression, p. 24
--	--	--

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Sécheresse dans le château d'eau helvétique?

N°2
13

Utilisation des sols: Les certificats négociables sont un instrument efficace, p. 26	Nouveaux produits: Découvrir et mieux connaître la neige et les avalanches, p. 29	Transition énergétique et nature: Où des conflits surviennent-ils? p. 30
---	--	---

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Dangers naturels: une maîtrise optimale?

N°1
14

Photovoltaïque: A-t-il un avenir sur les paravalanches? p. 24	En ligne depuis peu: Portail destiné à tous sur les dangers naturels, p. 26	Protection des sols: Régénération des omières en forêt par les aulnes noirs, p. 28
--	--	---

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Espèces invasives: amies ou ennemies?

N°2
14

Oiseaux des forêts de montagne: Comment survivre au changement climatique? p. 22	Nouveau logiciel: Planification systématique des réserves naturelles, p. 27	Accidents d'avalanche: La composition du groupe influe sur le risque, p. 28
---	--	--

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Sur les traces des changements environnementaux

N°1
15

Après des tempêtes: Comment une jeune forêt se reconstruit-elle? p. 22	Étalement urbain: Son recul s'explique par diverses raisons, p. 24	Énergie hydraulique: Le paysage énergétique du Grimsel plaît-il tel qu'il est envisagé? p. 28
---	---	--

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Le sol: une boue précieuse à nos pieds

N°2
15

Scolytes: Suivre les prévisions de leur développement à l'écran, p. 25	Transition énergétique: Le canton d'Argovie, cas modèle, p. 26	Entrée des tunnels: Une meilleure protection contre la neige en surplomb, p. 29
---	---	--

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Recherche XXL: la nature comme laboratoire

N°1
16

Pergélisol: Températures inférieures, vie accrue, p. 20	Histoire du paysage: De la période glaciaire à aujourd'hui, p. 27	Avalanches: Quelle méthode de minage est la plus efficace? p. 28
--	--	---

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

De l'électricité sans le nucléaire: comment négocier le virage?

N°2
16

Téledétection: Étude de la biodiversité en forêt à l'aide de données 3D, p. 22	Nouveau logiciel: Des photos anciennes illustrent le développement du paysage, p. 26	Sports de neige: Quel est le risque encouru lors de randonnées hors-piste? p. 29
---	---	---

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Réserves forestières: Priorité à la nature

N°1
17

Fructification complète: Pourquoi les arbres produisent-ils massivement des fruits? p. 20	Roumanie: Oui à des espaces sauvages, mais aucune restriction s'il vous plaît, p. 22	Jungfraubahn: Une expertise pour une meilleure protection contre la rupture du glacier, p. 29
--	---	--

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

MAGAZINE DU WSL

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

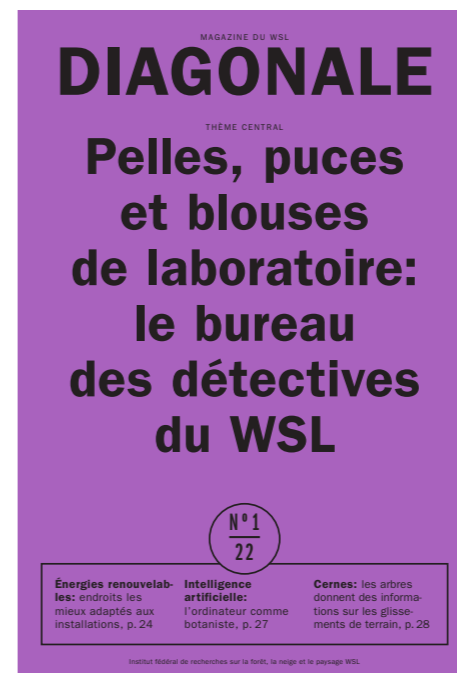
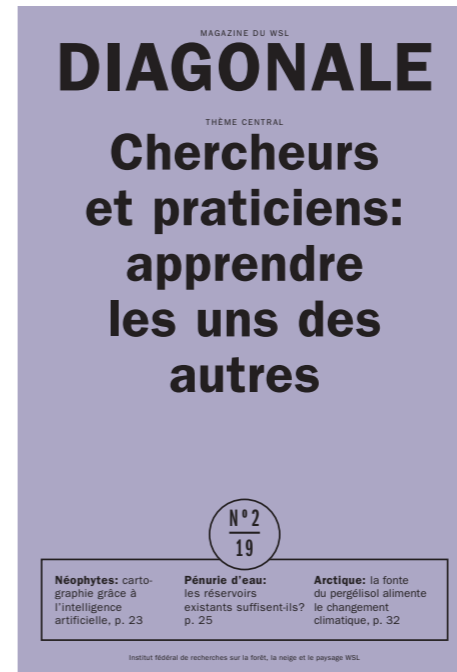
Le paysage: bien plus qu'un simple décor

N°2
17

Test forestier: Préparer la forêt au climat de demain, p. 22	Biotoques: Les photos aériennes aident à mieux les protéger, p. 24	Basses fréquences: Saisir des avalanches par infrasons, p. 30
---	---	--

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

Les pages de titres des Magazines Diagonale depuis 2013.



Les pages de titres des Magazines Diagonale depuis 2018.

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.

