

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

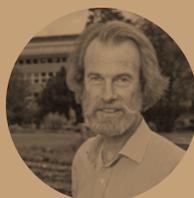
ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,
Les Nations Unies ont déclaré 2015
«Année internationale des sols»
afin de souligner l'importance des
sols, tant pour les écosystèmes
naturels que pour notre production
alimentaire. Cette raison suffit
à elle seule pour que ce Magazine
nous invite à jeter un coup d'œil
sous la surface de la Terre. Il y
a seulement 20 ans, nous étions pour
le sol en terre presque inconnue.
On disposait certes de connaissances
sur sa structure, mais d'aucune
quasiment sur les organismes qui y
vivent. Ces dernières années, la
recherche, ne serait-ce qu'au WSL,
a réalisé d'énormes progrès.
Grâce à de nouvelles méthodes
d'analyse, nous savons ainsi
maintenant que dans une poignée
de terre venue du sol vivent un plus
grand nombre d'organismes que
la Terre ne compte d'êtres humains.
Zones d'habitation qui jaillissent
littéralement du sol, polluants
atmosphériques, lourds engins
qui compactent le sol – les menaces
sur cet habitat caché viennent
de tous côtés. Il importe dès lors
d'autant plus que la recherche
contribue à protéger cette ressource.
Les sols sont une base essentielle
à nos vies – la nôtre, tout comme
celle des générations futures.

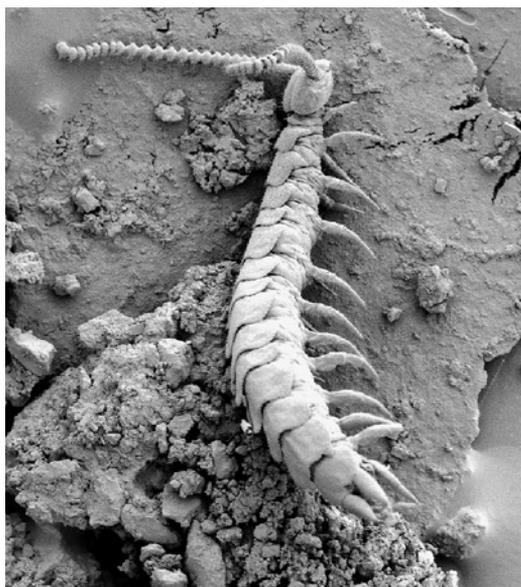
Je vous souhaite une lecture
passionnante.



Konrad Steffen, professeur
Directeur du WSL



2



LE SOL – UNE BOUE PRÉCIEUSE À NOS PIEDS

Nos sols sont fortement sollicités. Comment la recherche nous aide-t-elle à préserver l'élément le plus essentiel à nos vies?

8



SOLS MARÉCAGEUX

Les modifications dans les hauts-marais suisses indiquent les évolutions possibles des marais du Grand Nord en raison du changement climatique.

14



UNE-DEUX

Gaby von Rohr, Service de l'environnement, canton de Soleure: «Les conflits liés à l'utilisation du sol se renforceront les prochaines années.»

18

RECHERCHES À LONG TERME SUR LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS LWF

Depuis 1994, le WSL étudie comment différentes influences environnementales modifient la forêt et son sol.



THÈMES-CLÉS

- 22 Biodiversité
- 24 Forêt
- 26 Paysage
- 28 Dangers naturels
- 30 Neige et glace

PORTRAITS

- 21 Dominik Brödlin, biologiste
- 32 Heike Lischke, biologiste
- 33 Cornelia Accola, spécialiste en sciences de la terre

RAPPORT SUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

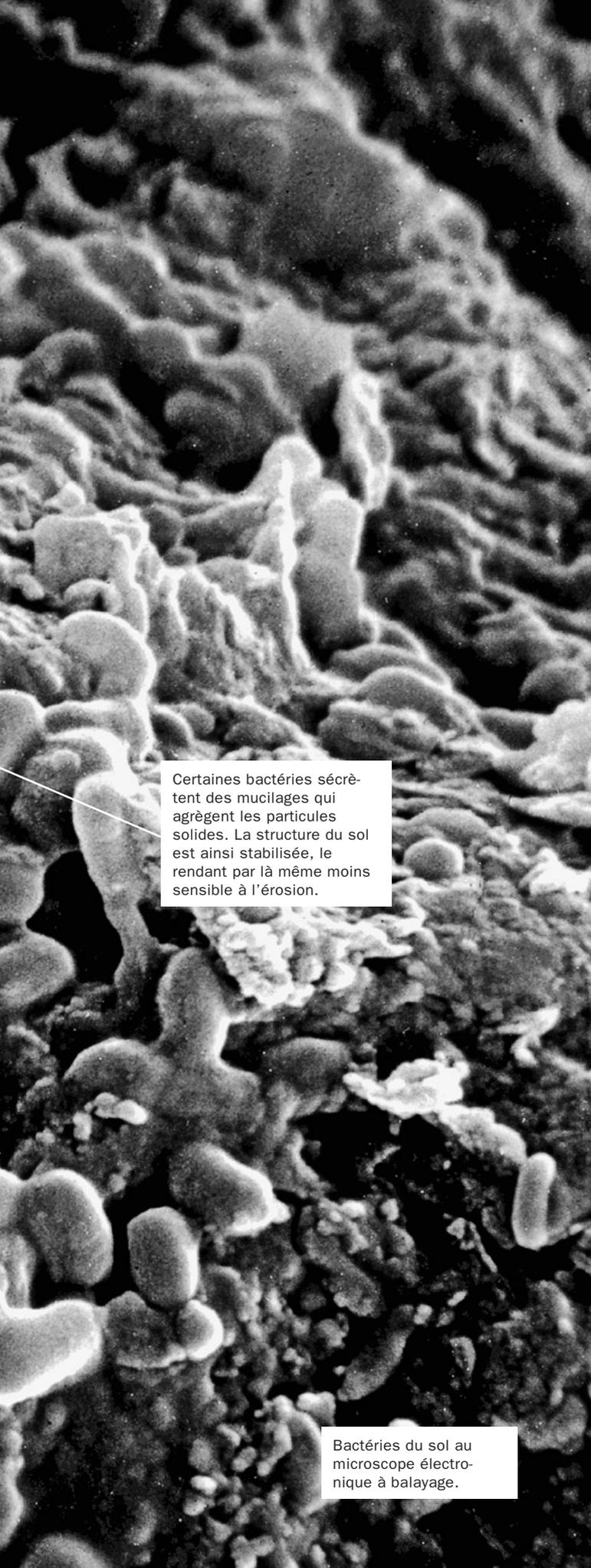
- 34 Environnement
- 35 IMPRESSUM, À L'HORIZON
- LE SCHMILBLICK
- 36 Microtome de laboratoire

THÈME CENTRAL Les sols sont un élément essentiel à nos vies. Comment la recherche nous aide-t-elle à gérer cette ressource rare de façon durable?

Le sol – une boue précieuse à nos pieds

A scanning electron micrograph (SEM) showing a dense population of soil bacteria. The bacteria are of various shapes, including rod-like and more complex, multi-lobed forms. The background is a textured, granular surface representing soil particles. Two white lines with dots at the end point to specific bacteria: one points to a rod-shaped bacterium in the lower-left quadrant, and the other points to a more complex, multi-lobed bacterium in the middle-right area.

Un sol moyen abrite une diversité remarquable d'espèces de bactéries, de 5000 à 7000 pour être plus précis. Une bactérie mesure environ 4 micromètres de long.



Certaines bactéries sécrètent des mucilages qui agrègent les particules solides. La structure du sol est ainsi stabilisée, le rendant par là même moins sensible à l'érosion.

Bactéries du sol au microscope électronique à balayage.

Photo: Thilo Eichhorst & Rolf Toppkötter, www.micropeed.uni-bremen.de

Lorsque vous entendez le mot «sol», que vous vient-il à l'esprit? Sentez-vous l'odeur persistante d'un sol forestier humide? Imaginez-vous la terre séchée qui vous colle à la peau lors de vos travaux de jardinage? Ou calculez-vous en silence le nombre de mètres carrés et le prix des terrains?

Du point de vue écologique, le sol est le fondement de la vie. Il se forme au fil des siècles à partir de la roche-mère, grâce à l'interaction entre le climat et des organismes tels que les champignons, les bactéries et les plantes.

Il retient l'eau de pluie, stocke les substances nutritives, constitue l'habitat de plusieurs milliers d'organismes vivants et joue le rôle de puits de carbone. En revanche, lors de la construction de zones d'habitation ou de nouvelles routes, de la pénétration de polluants ou de fortes contraintes imposées aux sols par de lourds engins, il n'est plus en mesure d'assurer ses fonctions dans l'écosystème. Il faudra attendre des décennies, voire des siècles, pour qu'un sol à ce point détruit soit de nouveau fertile – à l'échelle d'une vie humaine, la ressource naturelle «sol» n'est pas renouvelable.

Le sol stocké dans des boîtes et des bases de données

Le WSL se concentre depuis longtemps sur les propriétés des sols et les processus qui se déroulent sous terre. Dans le cadre de nombreux projets, il participe actuellement au Programme national de recherche «Utilisation durable de la ressource sol» (PNR 68) et élabore les bases qui permettront à la société de gérer de façon durable cette ressource rare qu'est le sol. Dès les années 1980, le WSL a commencé à créer des →

archives exhaustives d'échantillons de sols et de pierres. Entre 1983 et 1985, des collaborateurs du premier Inventaire forestier national IFN ont prélevé un échantillon du sol de surface dans chacune des quelque 12 000 placettes d'échantillonnage de la forêt suisse. La terre était séchée, passée au tamis et emballée dans des boîtes transparentes prêtes à être stockées. Grâce à une première analyse des sols collectés, les chercheurs ont établi une carte du pH des sols forestiers suisses. Après l'accident du réacteur de Tchernobyl en 1986, le WSL, en collaboration avec l'Institut Paul Scherrer PSI, a pu déterminer l'ampleur et la répartition spatiale des rayonnements radioactifs – et ce, grâce aux échantillons de sols ayant servi de référence avant l'accident. Aujourd'hui, la pédothèque du WSL, la «bibliothèque des sols», rassemble plus de 72 500 échantillons. La majeure partie d'entre eux se trouve dans la cave du WSL à Birmensdorf (ZH). La place venant à manquer pour les échantillons du premier IFN, ils sont désormais stockés dans un ancien bunker de munitions de l'armée à Zufikon (AG).

Le WSL ne conserve toutefois pas seulement les sols forestiers sous forme matérielle. Dans sa base de données sur les sols abondent des informations sur la chimie, la physique et la structure des échantillons issus de plus de 1000 profils de sols, ainsi que des renseignements sur la végétation, le climat et la géologie. Cette base de données est utilisée pour différents projets. Frank Hagedorn, géoécologiste au WSL, y recourt notamment pour l'un des projets de l'Institut au sein du PNR 68. Son équipe et lui recherchent les facteurs qui influencent les réserves de carbone dans les sols forestiers suisses. À cet effet, les chercheurs comparent les teneurs en carbone mesurées dans les échantillons de sol aux données portant sur le climat, la gestion des sols et l'exploitation forestière. L'objectif du projet consiste à mieux comprendre la façon dont les sols jouent le rôle de sources et puits de CO₂. Ce travail devrait permettre de modéliser le cycle du carbone avec plus de précision. Les premiers résultats indiquent que le climat et la composition des essences influencent majoritairement la quantité de carbone actuellement stockée dans le sol.

Densifier et encore densifier, conséquences sur les sols

Le Plateau suisse est densément peuplé. La surface bâtie a, par exemple, augmenté de 23,4 % de 1985 à 2009, ce qui correspond à près de 82 000 terrains de football en 24 ans. L'agriculture exerce aussi une forte pression. En vue d'une gestion respectueuse des sols, un aperçu des caractéristiques et des fonctions pédologiques en Suisse représente une base importante pour planifier et prendre des décisions. C'est pourquoi des chercheurs du WSL et des EPF élaborent, dans le cadre du PNR 68, des bases scientifiques afin de réaliser des cartes à haute résolution des caractéristiques des sols.

Le compactage des sols pose aussi problème en forêt: les lourds engins pour la récolte, les sabots des chevaux ou les roues des VTT tassent le sol. Sous les traces de pas ou les ornières, la structure du sol se modifie. Les cavités remplies d'air disparaissent, l'eau de pluie ne peut plus s'infiltrer et stagne en surface. Les bactéries, champignons et vers de terre n'ont alors plus d'air pour respirer. Si la diversité dans le sol fait défaut, celui-ci sera moins fertile: les procédés de décomposition de la litière et de formation de l'humus seront perturbés. Un tel sol émettra éventuellement des gaz qui contribueront au



Sous les ornières, la structure du sol forestier est perturbée en profondeur. L'absence de circulation d'air et d'eau dans le sol compacté provoque des dégâts aux racelles et aux organismes vivant dans le sol.

réchauffement climatique actuel. Beat Frey, microbiologiste au WSL, a démontré avec son équipe que la composition des bactéries et des champignons dans le sol demeurerait longtemps modifiée à la suite du passage d'un engin, et que cette composition microbienne pouvait être utilisée comme valeur indicatrice des dégâts. Tous les processus et fonctions du sol sous nos pieds ne sont pas encore décryptés. Il est toutefois évident que l'utilisation humaine devrait le moins possible perturber les fonctions des sols. C'est seulement ainsi que nous pourrions garantir la préservation de la base essentielle de toute vie pour les générations futures.

(lbo)

Pour en savoir plus sur la pédologie au WSL: www.wsl.ch/more/sol

Les microorganismes sont les premiers à coloniser le désert rocailleux. Quelques années après la fonte de la glace, environ 1500 espèces différentes vivent déjà dans le sol.

Les microorganismes fixent le carbone et l'azote atmosphériques et détachent les micronutriments de la roche. C'est ainsi que les premières plantes peuvent s'installer au bout de quelques années.



Comme le glacier n'a cessé de reculer ces dernières décennies, on retrouve aujourd'hui, dans la marge proglaciaire, une série de sols d'âges différents.

Marge proglaciaire du glacier Damma (UR).



Dans le haut-marais du Forbonnet près de Frasne, dans le Jura français, des serres à toit ouvert simulent à petite échelle le changement climatique.

REPORTAGE Les sols marécageux sont menacés par le changement climatique, mais ils le renforcent également

Le haut-marais qui brille au soleil n'a ni sirène ni clignotant. Et pourtant, il agit comme un système d'alerte: un système d'alerte précoce indiquant la façon dont les immenses marais des espaces nordiques pourraient évoluer du fait du changement climatique – avec des répercussions sur le climat mondial. Alexandre Buttler et Luca Bragazza travaillent actuellement dans ce splendide système d'alerte précoce près de Frasné, dans le Jura français. Ils sont tous deux chercheurs au WSL et professeurs, l'un à l'EPFL, l'autre à l'Université de Ferrara. Aujourd'hui, leur style n'est guère professoral: ils chaussent des bottes en caoutchouc et des vêtements de travail pour le terrain. Ils portent une tarière surdimensionnée et des appareils de mesures sur une étroite passerelle surplombant le marais où les premières plantes commencent seulement à pousser. L'eau scintille dans le tapis de mousses de couleurs jaunes ou rouges. Juste après la fonte des neiges, le haut-marais du Forbonnet est littéralement en débordement. La main d'A. Buttler s'enfonce dans le sol spongieux avant d'en ressortir avec une masse visqueuse. «En vert, ce sont de petites plantes vivantes, des sphaignes. La masse jaunâtre fibreuse correspond aux années de croissance; on reconnaît encore les tiges de ces mousses, les bryophytes. On parle alors de tourbe blonde ou de tourbe blanche», explique-t-il.

Les hauts-marais emmagasinent une grande quantité de carbone

Avec L. Bragazza, ils saisissent désormais la grande tarière. Ensemble, ils vissent le tube d'un mètre-et-demi dans le sol puis le retirent. «Cela va trop facilement», constate A. Buttler. Et à juste titre: cette fois-ci, le sol marécageux n'est pas prêt à sacrifier une partie de lui-même; la carotte reste coincée dans le sol, et non dans la foreuse. «Lorsque le sol est détrempe, nous avons beaucoup de mal à prélever des échantillons», précise A. Buttler qui se lance dans une autre tentative quelques mètres plus loin – dans un endroit légèrement plus sec, où la pinède progresse dans le marais. Cette fois-ci, il est plus difficile de retirer le tube. Avec une sorte d'immense piston, A. Buttler pousse la carotte dans un deuxième tube, ouvrable en longueur. L. Bragazza ouvre celui-ci: aux sphaignes vivantes et à la tourbe blonde sont venus s'ajouter quelques centimètres de tourbe noire extraite à plus grande profondeur. «Du carbone y est stocké, carbone que les sphaignes ont retiré de l'air il y a des décennies ou des siècles», commente-t-il. «Comme l'oxygène manque dans le sol et que les sphaignes contiennent des substances inhibitrices de la décomposition, les plantes ne se décomposent que partiellement. Les hauts-marais croissent de ce fait légèrement chaque année.»

Cette accumulation de tourbe transforme les hauts-marais en puits de carbone. Au niveau mondial, ils stockent près d'un tiers de l'ensemble du carbone des sols, alors que les tourbières ne représentent que 3 % de la surface de la Terre. Au Forbonnet, la couche de tourbe mesure environ quatre mètres d'épaisseur. L. Bragazza compare ce sol à un livre de 8000 pages, riche d'une page supplémentaire chaque année et comprenant des informations sur le climat de

Série de photos sur le reportage à l'adresse: www.wsl.ch/more/photos-hauts-marais

jadis, ou sur les polluants atmosphériques. Comme A. Buttler, il étudie cet écosystème depuis son travail de diplôme.

Cet habitat s'est raréfié en Suisse. Ces deux derniers siècles, l'être humain a détruit 95 % des hauts-marais à la suite du drainage et de l'exploitation de la tourbe. Il ne reste aujourd'hui que quelque 1500 hectares de hauts-marais et de marais de transition; cela correspond à peu près à la surface de vingt terrains de golf, ce qui est insignifiant à l'échelle mondiale. «Étant donné qu'au niveau climatique, la Suisse se situe à la limite méridionale de la répartition des hauts-marais, ceux-ci jouent particulièrement bien le rôle de système d'alerte précoce pour les répercussions des changements climatiques sur les sols organiques d'autres latitudes», précise A. Buttler. «De plus, ils sont de petite taille, et de ce fait davantage exposés aux effets de bordure.» Ainsi, si le sol devient suffisamment sec pour que des arbres puissent pousser, un marais de quelques centaines de mètres de diamètre sera rapidement recouvert par la forêt et perdra de son attrait.

Le changement climatique entraîne la décomposition de la tourbe

La situation est tout autre en Sibérie, où les marais ont des dizaines de kilomètres de diamètre. L. Bragazza met en garde: «Lorsqu'il fait plus chaud, et plus sec en été, la végétation n'est pas la seule à se modifier. Il se décompose plus de matériau végétal qu'il ne s'en constitue. Le marais libère du carbone au lieu de le fixer.» Il prend une sonde en forme de capuchon cylindrique, la relie à un appareil de mesure et la dépose sur le sol nu pour mesurer à hauteur de sol les infimes modifications de la teneur en dioxyde de carbone atmosphérique. «Nous mesurons ainsi la respiration du sol, soit au bout du compte, la manière dont les organismes du sol décomposent la tourbe.» Aujourd'hui, les microorganismes sont à peine actifs. Mais les études de L. Bragazza révèlent que la couche de tourbe au Forbonnet perd désormais du carbone sur l'ensemble de l'année – contrairement aux derniers milliers d'années. Ses études dans deux autres marais démontrent que lors de changements climatiques, une quantité particulièrement élevée de carbone ancien et profond est libérée, qui était auparavant stockée durablement dans le sol. Les modifications du climat pourraient entraîner la décomposition de la tourbe en de nombreux endroits. Quant à savoir si le dioxyde de carbone libéré, en tant que gaz à effet de serre, continuera à réchauffer l'atmosphère, la réponse n'est pas évidente. Car pendant quelques décennies, voire quelques siècles, les arbres qui s'implantent pourraient à nouveau emmagasiner ce carbone. C'est pourquoi les chercheurs de l'Université d'Orléans prévoient de construire une tour de mesure de flux turbulent eddy covariance au Forbonnet. Cette installation complexe pourra mesurer le bilan de carbone annuel de l'ensemble du marais, en incluant l'effet des arbres.

Jura – Pologne – Sibérie

Avec leurs collègues français, A. Buttler et L. Bragazza ont installé au Forbonnet, il y a sept ans, des serres à toit ouvert. Ces constructions hexagonales en plexiglas laissent passer sans grands changements la lumière, les précipitations et le vent, mais elles réduisent les pertes de chaleur la nuit. Elles simulent ainsi



Alexandre Buttler (à gauche) et Luca Bragazza (à droite) prélèvent un échantillon de sol pour étudier la façon dont le changement climatique transforme les sols des hauts-marais, les faisant basculer de puits à sources de carbone.

un réchauffement climatique. De telles expériences ont l'avantage de permettre une comparaison directe entre les placettes manipulées et les placettes voisines non modifiées. Cependant, elles présentent aussi de sérieux inconvénients: les conditions sont artificielles et ne prévalent que depuis quelques années, et ces manipulations de réchauffement ne peuvent s'appliquer qu'à de très petites surfaces – a fortiori dans ces hauts-marais strictement protégés. L. Bragazza et A. Buttler misent ainsi sur toute une gamme d'approches méthodologiques.

Dans le Jura et dans les Alpes, ils étudient des marais à différentes altitudes. À faible altitude, les températures sont relativement élevées, et les précipitations plus faibles. Les conditions correspondent de ce fait à celles qui règneront probablement dans quelques décennies à plus haute altitude. Le gradient spatial sert ainsi de modèle pour prévoir l'évolution temporelle des marais dans des conditions climatiques modifiées. C'est cette même approche qui a motivé l'installation de placettes dans les marais polonais et sibériens. Le WSL cherche à savoir, en collaboration avec les partenaires de ces pays, si nos marais, plutôt influencés par le climat océanique, réagissent différemment au réchauffement

Randonnée dans le site marécageux de Sörenberg sur: www.wsl.ch/more/randonnee

que ceux soumis à un climat continental. «En Pologne, nous travaillons avec un professeur qui fut jadis étudiant post-doc chez nous à Lausanne», déclare fièrement A. Buttler. Dans un climat encore plus continental, à 2600 kilomètres, soit à trois heures de vol à l'est de Moscou, s'étend le marais sibérien de Mukhrino. Avec leurs collègues français et russes, A. Buttler et L. Bragazza ont posé des kilomètres de câbles, fabriqué des passerelles d'accès et assemblé les serres à toit ouvert. Plus tard, un chercheur russe apporta jusqu'en France, par train et voiture, les échantillons du sol marécageux – un voyage de plusieurs jours dont les scientifiques d'Europe centrale ne furent informés que lorsque le collègue russe se trouva devant leur porte avec ses échantillons encore congelés! Ceux-ci sont en cours d'analyse.

Mais on pressent déjà, grâce à des systèmes d'alerte précoce comme la tourbière Le Forbonnet que le changement climatique modifie – voire menace – les hauts-marais. Les chercheurs du WSL veulent désormais comprendre les mécanismes précis du phénomène. «Ce qui est incroyable, c'est que le changement climatique déclenche des processus dans le sol marécageux, qui renforcent encore la libération du carbone», explique L. Bragazza. «Le processus repose sur une interaction complexe entre des espèces de plantes, champignons, bactéries et facteurs abiotiques différents. Nous avons besoin d'analyses biochimiques d'échantillons issus du terrain et d'expériences en laboratoire, afin de comprendre complètement ce qui se passe.»

Les hauts-marais et le changement climatique s'influencent mutuellement

Il y a de plus en plus de plantes de la famille des Éricacées. Ces arbustes nains réduisent la teneur en eau à la surface du sol marécageux. Comme ces plantes possèdent parfois de longues racines, leur approvisionnement en eau ne souffre pas de cette situation contrairement aux sphaignes sans racines. De surcroît, les racines des arbustes sécrètent des substances qui, en agissant de concert avec l'oxygène atmosphérique, favorisent la décomposition de la tourbe. Et pour ajouter au péril, ils prennent des «compagnons»: les champignons mycorrhiziens. Avec leur aide, ils peuvent avoir facilement accès à des nutriments comme l'azote, croître plus vite, et repousser ainsi les sphaignes moins concurrentielles. Tout ceci renforce leur influence et de ce fait la répercussion première du changement climatique: davantage de dioxyde de carbone libéré par le marais, ce qui accroît encore l'impact des gaz à effet de serre... Une rétroaction positive, selon la terminologie des scientifiques pour ce genre d'effet, ou une spirale négative pour les profanes.

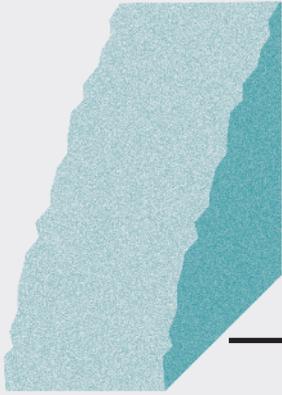
Quel avenir pour Le Forbonnet? Cette tourbière scintillera-t-elle encore au soleil dans cent ans et enchantera-t-elle le Jura de son atmosphère nordique? Pensifs, A. Buttler et L. Bragazza rangent leurs instruments. «Cela dépendra si l'on abat les arbres ou pas», dit A. Buttler. Il y a un siècle, cette réponse n'aurait pas eu de sens, presque aucun arbre n'aurait pu y pousser. C'est possible aujourd'hui et à l'avenir. Le système d'alerte précoce sonne déjà, discrètement pour l'instant.

(bio)

Les champignons mycorhiziens

stabilisent le sol

L'érosion des sols et les glissements de terrain peuvent souvent être évités par des méthodes naturelles. Le WSL étudie le rôle joué par les champignons mycorhiziens en tant qu'architectes des sols et nourriciers des plantes.

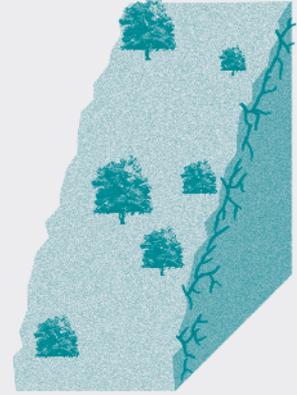


LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

laissent souvent des sols pauvres derrière eux. Ceux-ci sont directement exposés aux intempéries et menacent de glisser encore plus.



EN PRÉSENCE DE champignons mycorhiziens, une couverture végétale protectrice pourra plus rapidement s'établir.



EN L'ABSENCE DE champignons mycorhiziens, de nouvelles plantes ne s'installeront que lentement.



QUEL EFFET ONT LES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS?

Avec leurs longs filaments, les champignons pénètrent dans le sol et sécrètent une sorte de mastic qui le solidifie. Ils constituent de surcroît une symbiose racinaire avec les plantes. Ils aident celles-ci à absorber suffisamment d'eau et de substances nutritives et bénéficient de sucres en retour. Les champignons accélèrent ainsi l'établissement et la croissance des plantes.



UNE-DEUX Pourquoi la protection des sols est-elle de plus en plus nécessaire? Entretien avec Gaby von Rohr, du canton de Soleure, et Stephan Zimmermann, du WSL.

Madame von Rohr, quelle menace pèse sur nos sols?

von Rohr: Les sols sont confrontés à des contraintes chimiques, physiques et biologiques. Chimiques, car des polluants peuvent gagner le sol. Physiques, parce qu'il en résulte une densification ou une érosion des sols et que, dans ce dernier cas, l'humus et des particules du sol minéral se détachent et sont transportés plus loin. Les risques biologiques incluent quant à eux les organismes pathogènes et génétiquement modifiés. C'est pour cette raison que la loi sur la protection de l'environnement et l'ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols stipulent qu'il faut protéger le sol des contraintes chimiques, physiques et biologiques.

Quel est l'état d'avancement de la législation en Suisse par rapport à celle en vigueur à l'étranger?

Zimmermann: La Suisse a développé très tôt sa législation sur la protection de l'environnement et pendant longtemps, elle a fait figure de pionnière. Mais aujourd'hui par exemple, au niveau légal, la protection de l'environnement est aussi avancée en Allemagne qu'en Suisse.

von Rohr: Au niveau de la protection physique des sols, la Suisse occupe selon moi toujours une place de précurseur.

Et pourtant, l'écologie de nombreux sols est perturbée. Comment rétablir son équilibre?

Zimmermann: En se développant, les sols se trouvent dans un équilibre dynamique. Un équilibre purement statique, au cours duquel tout demeurerait stationnaire pendant longtemps, n'existe pas. Prenons l'exemple des apports en substances qui renforcent le processus d'acidification naturelle des sols. En Allemagne, à différents endroits, on a notamment recours à l'épandage de chaux en forêt afin d'enrayer ce processus. Cela n'est toutefois utile que dans les centimètres supérieurs du sol. Dans les couches plus profondes, la chaux peut au contraire accroître l'acidification. La meilleure forme de lutte serait de réduire les émissions de polluants à la source.

von Rohr: Un sol exploité ne retrouvera probablement jamais son équilibre originel. Il importe dès lors de prendre des mesures afin d'éviter des dégâts irréversibles. On pourra ainsi prévenir le tassement des sols en calculant, avant l'intervention de véhicules agricoles, le risque de tassement et l'efficacité des mesures de protection.

Comment votre canton soutient-il les exploitants dans l'amélioration de la qualité des sols?

von Rohr: En protection des sols, nous devons agir de manière préventive. C'est la raison pour laquelle nous informons, conseillons, définissons des bases et proposons des brochures en vue d'un comportement qui ménage les sols dans l'industrie de la construction,



Gaby von Rohr, vice-directrice du Département des sols dans le Service de l'environnement du canton de Soleure



Stephan Zimmermann, collaborateur de l'Unité de recherche Sols forestiers et biogéochimie



Les cours sur la protection des sols donnent aux spécialistes du terrain un aperçu des propriétés et des sensibilités des sols forestiers.

l'agriculture et la foresterie. Le réseau de mesures au sol s'avère être un outil important. Quiconque prend en considération les données actuelles sur l'humidité des sols, ne travaillera pas ceux-ci dans des conditions trop humides et ne les compactera pas. Le canton met aussi des cartes des sols à la disposition de tous sur Internet. Ces dernières indiquent entre autres les risques de tassement spécifiques. Certaines entreprises forestières ont intégré ces cartes dans leur SIG opérationnel.

De quelles possibilités dispose la recherche afin d'améliorer la protection des sols?

Zimmermann: Nous étudions l'impact des différentes influences sur le sol, définissons des valeurs limites critiques en dessous desquelles aucun dégât ne sera à craindre. Nous élaborons des connaissances en vue de leur application, par exemple lors de cours pour des conducteurs

d'engins forestiers. Les problématiques liées à l'acidification et au bilan nutritif sont aussi primordiales et actuellement, le phosphore est au cœur de nos préoccupations. Cet élément nutritif essentiel pourrait s'amenuiser car les gisements d'engrais minéraux s'épuisent doucement.

von Rohr: La Notice du WSL sur la protection physique des sols est extrêmement précieuse pour nous. Elle joue le rôle de guide et est largement acceptée par les praticiens comme aide à la décision.

À quoi ressemblent les atteintes au sol en forêt? Quels sont alors les principaux problèmes?

Zimmermann: La situation est meilleure en forêt que dans l'agriculture. Cela est lié à l'interdiction d'utiliser des fertilisants comme les engrais, ou des produits phytosanitaires, mais aussi à la qualité de l'air, toujours supérieure. Après des années

Pour en savoir plus sur la thématique de la protection des sols:
www.wsl.ch/more/protection-des-sols



Il n'est pas toujours possible d'éviter la formation d'ornières en forêt – les atteintes aux sols peuvent toutefois être limitées grâce à des mesures appropriées.

de recherche, d'échanges d'informations et de formation continue, la protection physique des sols s'améliore elle aussi. Notamment parce que les machines lors de la récolte des bois se concentrent de plus en plus sur les layons de débardage d'où les arbres abattus sont transportés jusqu'à la route forestière.

Et dans l'agriculture? La Suisse maîtrise-t-elle les atteintes liées aux engrais, aux pesticides et aux herbicides?

von Rohr: En agriculture, nous nous focalisons surtout sur les contraintes physiques. Il n'existe pas d'agriculture sans intervention dans le sol. Or, l'exploitation sans cesse plus intensive le met de plus en plus à l'épreuve. Nous disposons de trop peu d'informations sur l'influence des produits phytosanitaires sur sa biologie; dans ce contexte, le sol reste une terre inconnue.

Les terres agricoles continuent de céder la place à des zones d'habitation et à des routes. La protection des sols a-t-elle échoué dans ce cas précis?

von Rohr: Non, la protection qualitative des sols n'a aucune influence sur ces questions. Le responsable en est l'aménagement du territoire. La consommation de sol est problématique, elle augmente plus vite que la population. Selon les derniers chiffres de l'Office fédéral de la statistique, 1,1 m² de surface agricole est bétonné par seconde au niveau du pays. Sur le Plateau, il s'agit même de 2,2 m². Les exigences de la société sont trop élevées. L'aménagement du territoire, c'est-à-dire la politique, doivent alors intervenir. Zimmermann: Dans le cadre du PNR 68 «Utilisation durable de la ressource sol», une plate-forme décisionnelle en vue d'une utilisation durable des sols est en cours

d'élaboration. Le WSL y participe. Cette plate-forme vise à représenter les répercussions des différentes utilisations sur les caractéristiques du sol et sur ses fonctionnalités. De tels instruments peuvent déclencher des processus d'apprentissage qui entraîneront une meilleure préservation des sols.

Comment réduire la consommation des sols?

von Rohr: Au niveau juridique, il existe des moyens d'action à partir des plans d'aménagement local et des prescriptions qui régissent la construction. Ainsi, supprimer la limitation du nombre d'étages induirait la possibilité de construire plus en hauteur qu'en largeur.

Les conflits liés à l'utilisation du sol se renforceront-ils dans les 10 à 15 ans à venir?

von Rohr: Oui, dans tous les cas. Le sol souffre à maints égards: plus les mètres carrés disparaissent, plus la pression d'utilisation sur ceux qui restent augmente, et par conséquent la pression sur la qualité du sol. Cela a aussi des répercussions sur l'eau potable. Et si les surfaces d'assolement sont, à juste titre, mieux protégées, la pression s'accroît alors sur les autres surfaces.

A-t-on dès lors besoin d'une plus grande protection des sols, voire de plus de recherche?

von Rohr: En tant qu'avocats du sol, on aura assurément besoin de nous et de notre service spécialisé. L'humanité dépend des prestations

fournies par le sol. La protection des sols est donc nécessaire. Et comme nombre de questions demeurent encore sans réponse dans ce contexte, nous avons besoin de résultats de recherche pertinents pour la pratique et de ce fait de la collaboration avec le WSL, Institut qui axe sa recherche sur les attentes des praticiens.

Zimmermann: Une protection active des sols continuera d'être nécessaire. Les conflits d'utilisation vont augmenter, la pression sur le sol également. En biologie du sol, nous pouvons reconnaître, grâce à de nouvelles méthodes, la façon dont les processus à l'œuvre fonctionnent. Le sol est la composante de notre planète qui présente la plus grande biodiversité. Selon moi, une de nos tâches essentielles consiste à effectuer des recherches sur des problématiques utiles aux praticiens et par là même à la société. (rlä)

«Le sol est la composante de notre planète qui présente la plus grande biodiversité.»

PROGRAMME DE RECHERCHES LWF **Un regard dans le sol – l'eau du sol et la croissance des forêts sont étroitement liées**

«Le sol forestier est assez desséché jusqu'à 50 cm de profondeur», constate Elisabeth Graf Pannatier, pédologue au WSL. C'est le printemps dans une forêt mélangée de feuillus des hauteurs du Lägeren près de Wettingen (AG). Le parfum de l'ail des ours frais flotte dans l'air. Les premières feuilles se déploient sur des branches basses de hêtres. Penchée sur une caisse grise en plastique, la chercheuse contrôle la quantité d'eau dans trois bouteilles de verre. Deux des lysimètres ne comportent presque pas de liquide. Si le sol avait été plus humide à 15 et 50 cm de profondeur, les dispositifs de collecte auraient aspiré de l'eau en raison du vide appliqué. Dans la troisième bouteille au contraire, environ deux décilitres d'eau légèrement jaunâtre proviennent du sol à 80 cm de profondeur. «Le sous-sol est encore humide malgré le déficit de pluie», précise la chercheuse. «Prélever des échantillons du sol à cet endroit serait destructeur. Grâce à ces collecteurs installés de manière permanente, nous pouvons toujours prélever de l'eau au même endroit sur le long terme et effectuer des analyses chimiques en laboratoire au WSL.» Les substances nutritives dissoutes dans l'eau sont primordiales car elles ont des répercussions sur la croissance des arbres.

Réseau de placettes

Sur la placette d'observation du Lägeren, les chercheurs prennent le pouls de la forêt à intervalles se comptant en minutes ou en heures. Cette zone d'étude relève du Programme de recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers LWF que mène le WSL dans le cadre du Programme d'observation des forêts suisses, en collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement. Les 19 placettes du LWF réparties dans toute la Suisse sont représentatives des principales régions et associations forestières, de la diversité des sols et des niveaux de pollution atmosphérique auxquels les forêts sont exposées dans le pays.

Sur la plupart des placettes, les chercheurs étudient depuis 1994 la façon dont différentes atteintes à l'environnement telles que les polluants atmosphériques ou les chablis, ainsi que les périodes de sécheresse extrême, modifient la forêt et son sol. Dans une phase initiale, ils ont déterminé l'état chimique des sols. Depuis lors, ils mesurent la quantité et la composition des précipitations avant qu'elles ne s'infiltrent dans le sol, puis analysent en laboratoire les feuilles et les aiguilles recueillies dans des récipients collecteurs. Ils apprennent ainsi quelles substances nutritives retournent dans le sol. À intervalles réguliers, ils prélèvent d'autres grandeurs caractéristiques, notamment l'écoulement de la sève et les fluctuations du diamètre des troncs d'arbres, et mesurent des valeurs météorologiques comme la température atmosphérique et le rayonnement solaire. La fréquence des mesures et la durée d'observation supérieure à 20 ans sont très précieuses.

Relevé holistique de la forêt

Quiconque observe Elisabeth Graf Pannatier lors du contrôle des appareils de mesure en forêt, sent tout l'intérêt qu'elle porte aux processus à l'œuvre dans



Elisabeth Graf Pannatier contrôle la quantité d'eau aspirée dans les lysimètres.

le sol, et à leurs interactions avec les arbres et leur environnement. «Nous sommes désormais sur la placette intensive», souligne la chercheuse. «Ici, nous mesurons les mêmes facteurs à de multiples reprises sur une grille de 16 sous-placettes. Les nombreuses mesures individuelles montrent alors la variabilité spatiale, et les valeurs moyennes sont représentatives de toute la surface.» Si les chercheurs rassemblent toutes ces informations sur plusieurs années comme des pièces de puzzle, ils peuvent évaluer si la placette étudiée est soumise à des modifications. Quelques séries de mesures indiquent déjà des tendances à long terme, elles permettent par exemple de mettre en évidence des relations entre

Informations sur le Programme de recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers LWF à l'adresse: www.lwf.ch

la qualité chimique des précipitations et celle de l'eau du sol. Au cours des dix dernières années, la concentration de sulfate dans l'eau du sol a nettement reculé en raison de la meilleure qualité de l'air. Grâce à la réduction de la teneur en soufre dans les combustibles fossiles qui alimentent des installations industrielles de combustion et de chauffage, les émissions de dioxyde de soufre ont diminué aussi de façon significative à partir de 1980. Les dépôts d'azote atmosphérique restent en revanche élevés et donnent souvent lieu à des concentrations de nitrate trop importantes dans le sol. S'en suivent des pertes de substances nutritives. En effet, le calcium, le magnésium et le potassium dissous dans l'eau du sol gagnent, avec le nitrate, l'eau souterraine ou l'eau de ruissellement, quittant ainsi l'écosystème forestier. D'où le risque d'un appauvrissement du sol qui entraverait la croissance des plantes.

Les chercheurs du WSL livrent à l'étranger nombre de ces données prélevées selon des méthodes standardisées au niveau international – la plupart d'entre elles dans le cadre du programme européen sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (ICP Forests). En retour, les chercheurs du LWF ont accès aux données d'environ 800 stations de mesure dans toute l'Europe. «Nous pouvons ainsi comparer les tendances constatées en Suisse avec celles des autres régions», se réjouit la pédologue.

L'eau du sol essentielle à la croissance des arbres

Grâce aux développements techniques, de nouveaux appareils de mesure du sol éclairent toujours plus l'obscurité des sols forestiers. «Au cours de l'été sec de 2003, nous ne pouvions pas mesurer la quantité d'eau encore disponible pour les arbres à basse altitude en Suisse. Le sol y était si sec que la plage de mesure des tensiomètres classiques, qui déterminent la force de succion dans le sol, était dépassée», explique la pédologue. «Aujourd'hui cependant, nous disposons de capteurs électroniques installés dans le sol.» Les chercheurs peuvent ainsi effectuer des mesures dans des zones beaucoup plus sèches, et étudier à partir de quel degré de sécheresse dans le sol les arbres cessent de croître. C'est une information importante sur fond de changement climatique car la sécheresse et les vagues de chaleur seront probablement plus fréquentes.

Enfin, grâce à la recherche sur les placettes du LWF, les scientifiques ont découvert également de nouvelles informations sur les répercussions des polluants, de la sécheresse et du changement climatique sur les écosystèmes forestiers. «Nous nous attendons à en apprendre encore beaucoup plus sur la vie dans le sol et sur les processus métaboliques qui s'y déroulent. Nous entrons alors en terre inconnue, ce qui est fascinant pour moi en tant que pédologue», conclut Elisabeth Graf Pannatier avec enthousiasme, avant de refermer la dernière caisse contenant les lysimètres utilisés pour le contrôle de la journée. (rlä)

A photograph of a man with short brown hair and glasses, wearing a blue t-shirt and dark jeans, sitting on a wooden pier. He is smiling and looking towards the right. The background shows a calm lake with green hills in the distance. In the foreground, there are green reeds or grasses partially obscuring the view.

Dominik Brödlin,
Birmensdorf

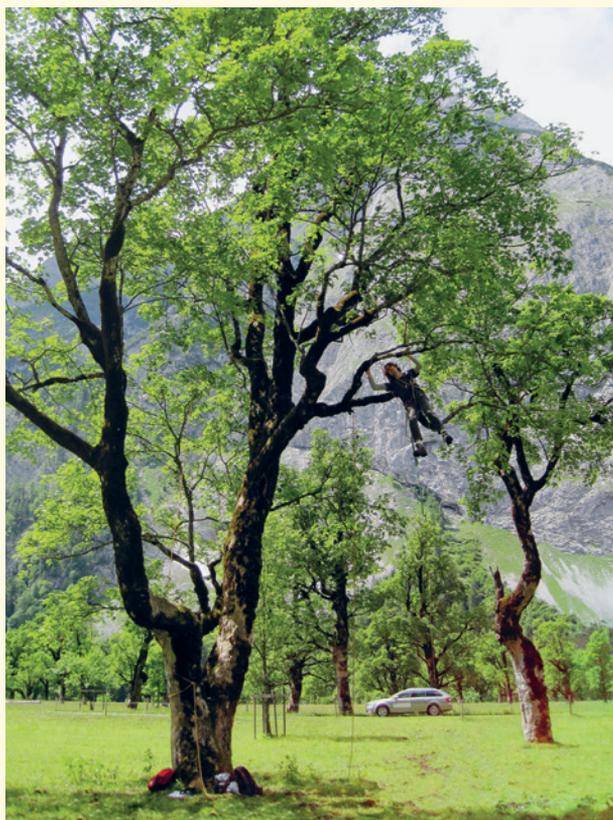
«J'ai grandi dans la région du Markgräflerland, au carrefour de trois pays, l'Allemagne, la France et la Suisse. La nature au bord de l'eau et la vie aquatique m'ont toujours fasciné. Dans ma jeunesse, je passais une grande partie de mon temps sur les rives du Vieux Rhin. J'aime beaucoup le lac de Türlen. Il est nettement plus proche de l'état naturel et plus calme que celui de Zurich.»

LE PHOSPHORE – UNE DENRÉE RARE

Le phosphore est une substance nutritive importante pour les plantes qui se trouve seulement en quantité limitée dans la nature. Dans sa thèse de doctorat au WSL, Dominik Brödlin étudie la façon dont le phosphore organique-

ment lié dans la solution du sol, est disponible pour l'écosystème. «Ce qui me plaît dans mon projet, c'est la collaboration avec des chercheurs d'institutions les plus diverses, et les échanges avec d'autres doctorants.»

BIODIVERSITÉ Pâturages boisés d'érables sycomores – sur les traces d'un paysage cultivé traditionnel



Afin d'identifier les espèces qui poussent sur les érables sycomores, Thomas Kiebacher a rassemblé plus de 20 000 échantillons de bryophytes et de lichens.

L'homme qui grimpe agilement dans l'arbre, tel Tarzan, s'appelle Thomas Kiebacher. Les érables sycomores lui tiennent à cœur, plus exactement les pâturages boisés d'érables sycomores – un paysage cultivé traditionnel de nos Alpes. Dans son travail de doctorat, le biologiste examine la biodiversité et l'histoire culturelle de ces habitats. Pendant deux ans, il a étudié par échantillonnage les bryophytes et lichens qui recouvrent 90 arbres en Suisse, en Allemagne et en Autriche. Il a examiné aussi au peigne fin la végétation au sol et interrogé 22 témoins sur leurs expériences liées à ces pâturages.

Les premiers résultats le montrent: les érables sycomores isolés

sont de véritables hauts-lieux de la biodiversité. Cent espèces différentes de bryophytes et de lichens, voire plus, peuvent pousser sur un seul arbre, y compris nombre d'espèces très rares et menacées comme la bryophyte *Tayloria rudolphiana*. Sur les surfaces du pâturage situées sous les arbres, T. Kiebacher a retrouvé 264 espèces de bryophytes en tout, soit le quart environ de toutes les espèces connues en Suisse.

Préserver l'eldorado des bryophytes et des lichens

Jadis, les pâturages boisés d'érables sycomores jouaient aussi un rôle important au niveau économique. Dans la vallée du Reichenbach (BE) par exemple, le droit d'utiliser le feuillage comme fourrage dans les étables était mis aux enchères chaque année. À présent, ce pâturage qui ressemble à un parc est promis au même sort que les autres paysages cultivés traditionnels: la disparition croissante à cause de la sur- ou de la sous-exploitation. Ce processus doit être stoppé. T. Kiebacher: «Nous allons présenter nos résultats à un public plus vaste dans un livre de la série des publications Bristol. Cet habitat, actuellement le plus négligé, et ses organismes doivent bénéficier d'une attention accrue.» Aujourd'hui déjà, le travail de T. Kiebacher est à l'origine d'un projet de conservation des pâturages boisés d'érables sycomores dans le parc naturel du Diemtigtal (BE). Le chercheur espère que grâce au livre, d'autres projets semblables verront le jour.

(chu)

Ce que nous révèlent les cornes du bouquetin sur les modifications des conditions environnementales

Bel exemple d'étude de nouveaux objets à l'aide d'une technique éprouvée: pour une fois, les dendrochronologues n'ont pas analysé les arbres, mais les cornes du bouquetin des Alpes. Une équipe internationale sous l'égide du WSL a pu ainsi avoir recours à un ensemble de données unique au monde. Depuis 1978, l'Inspection cantonale de la chasse et de la pêche du canton des Grisons mesure, chez chaque bouquetin abattu, non seulement la longueur totale des cornes, mais aussi les taux d'accroissement annuel, c'est-à-dire la croissance annuelle des cornes en centimètres. Ulf Büntgen, responsable de l'étude du WSL sur le bouquetin des Alpes, explique: «Pour nous, cet ensemble de données vaut son pesant d'or. Il nous montre une fois de plus toute l'importance des séries de mesures de longue durée dans la recherche environnementale.»

Les températures printanières déterminent la croissance des cornes

Les chercheurs ont analysé les données de plus de 8000 bouquetins issus de huit populations séparées dans l'espace. Résultat: les cornes ont poussé davantage lors des années aux printemps chauds que dans des conditions plus froides, et ce indépendamment de l'âge des animaux.

Ce phénomène souligne un facteur environnemental à vaste échelle qui influence la croissance des cornes: la situation météorologique générale en Europe. Du fait de températures printanières supérieures entre mars et mai, la neige fond souvent plus tôt qu'il y a 30 ans. Les bouquetins profitent ainsi d'une offre supplémentaire en nourriture et d'une meilleure qualité des herbacés et des graminées. Les années à fonte des neiges précoces, les animaux peuvent dès lors investir plus d'énergie dans la croissance des cornes.

Grâce à cet ensemble de données, les scientifiques cherchent désormais si d'autres facteurs, tels que la chasse, influent encore sur le développement des cornes et l'état de santé des animaux. (lbo)



Les cornes du bouquetin des Alpes sont un important indicateur des conditions environnementales dans lesquelles vit l'animal.

ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS Les soins aux jeunes forêts mélangées de feuillus favorisent la diversité des essences

Plus la diversité d'une forêt est élevée, mieux celle-ci est armée pour faire face au changement climatique. Si une essence disparaît, une autre peut reprendre ses fonctions. Mais comment un forestier peut-il influencer la composition des essences dans une forêt existante, et combien faudrait-il investir dans les soins à une jeune forêt mélangée?

Entre 2003 et 2014, le WSL a étudié l'efficacité de différents soins dans une jeune forêt mélangée de feuillus près de Diessenhofen (TG). Sur une placette de sept hectares, les chercheurs ont testé trois variantes d'entretien d'intensité graduelle, allant de soins coûteux aux jeunes forêts sur l'ensemble de la surface à l'absence d'intervention. Ils ont marqué à cet effet 480 arbres d'avenir en tout – des arbres qui

présentaient certaines qualités souhaitées – et ont suivi leur développement de près.

La variante choisie n'eut aucune influence sur la croissance effective des arbres. Toutefois, des essences faiblement concurrentielles, comme le chêne, disparurent plus souvent en l'absence de soins que lorsque l'on tint la concurrence à distance en enlevant des arbres voisins. Plus les soins étaient intensifs, plus il était facile de préserver les essences mélangées présentes, y compris celles qui supportent un climat plus chaud et plus sec. *(lbo)*

www.wsl.ch/more/soinsauxjeunesforets



Un merisier dont le WSL a suivi le développement de près pendant 11 ans sur la placette de Diessenhofen (TG).

Pullulation prochaine des scolytes? Prédiction de leur développement à l'écran

Dans mon triage forestier, à quand l'envol des scolytes au sortir de l'hibernation? À partir de quand les larves de la génération suivante se développeront-elles sous l'écorce des épicéas? Quand faut-il tabler sur une nouvelle génération? Jusqu'à ces derniers temps, être constamment à l'affût et observer longuement en forêt étaient les seules possibilités d'obtenir une réponse à ces questions.

Désormais, les nouvelles prévisions du WSL sur le scolyte typographe nous permettent d'économiser du temps et de l'argent. Grâce à l'actualité des données météorologiques quotidiennes et à une modélisation du développement des scolytes, on voit quasiment en direct à l'écran comment se déroulera l'envol des insectes au printemps et en été, en fonction de



Système de galeries du typographe (*Ips typographus*) sous l'écorce d'un épicéa.

l'altitude et de l'exposition, ou encore comment évolueront les populations de scolytes prévues jusqu'au début de l'hiver. Ces informations complètent le monitoring des forestiers et soutiennent leur gestion des scolytes. (rlä)

www.bostryche.ch

Waldwissen.net – une nouvelle application pour le dixième anniversaire

L'idée, il y a dix ans, était toute simple: mettre à la disposition des praticiens forestiers dans un site facile d'accès les connaissances nombreuses, mais éparpillées, issues de la recherche. Elle allait se concrétiser en waldwissen.net. Riche de plus de 3200 articles, c'est le site internet le plus exhaustif sur la forêt en Europe. Le WSL, et désormais sept autres instituts forestiers d'Allemagne, d'Autriche et de France, assurent l'exploitation du site waldwissen.net. Avec plus de 200 000 utilisateurs par mois, les statistiques internet indiquent des chiffres d'accès élevés, ce qui est réjouissant. Elles révèlent aussi qu'aujourd'hui, plus

d'un tiers des utilisateurs ont un accès mobile à waldwissen.net. En réponse à cette évolution et à l'occasion de son dixième anniversaire, le site fut optimisé pour les tablettes et les smartphones: lorsqu'ils sont en déplacement, les utilisateurs sont désormais informés de la diffusion de nouveaux articles grâce à une application (iPhone et Android). Les articles se lisent facilement dans l'appli, et la fonction enregistrement rend possible l'accès ultérieur depuis l'ordinateur de bureau. L'appli waldwissen.net est gratuite et attend seulement d'être découverte. (mmo)

www.wsl.ch/more/waldwissen-fr

DÉVELOPPEMENT DU PAYSAGE Étude type sur les énergies renouvelables: le canton d'Argovie, cas exemplaire à l'aube de la transition énergétique



Installation photovoltaïque sur les toits d'une exploitation agricole à Kallern (AG).

Dans le contexte de la stratégie énergétique 2050, la Suisse a décidé de réduire sa consommation énergétique totale, de produire davantage d'électricité à partir des énergies renouvelables et de sortir du nucléaire à long terme. Or, le canton d'Argovie est particulièrement concerné. En effet, avec Beznau I et II, ainsi que Leibstadt, il compte trois des cinq centrales nucléaires helvétiques.

Mais quel est le potentiel des énergies renouvelables dans le canton d'Argovie? En collaboration avec le canton, ainsi que AEW Energie AG et le PSI, le WSL a dressé un tableau d'ensemble de la situation. Une question centrale s'est alors imposée: le rôle potentiel joué à l'avenir par les ressources locales telles que le bois-énergie des forêts.

De nombreuses séries de données argoviennes (statistiques de l'énergie, géodonnées d'AGIS, etc.) ont démontré qu'aujourd'hui, en Argovie, 60 % du besoin cantonal en

électricité sont couverts par les énergies renouvelables, soit une quantité similaire à l'ensemble de la Suisse. Avec 2925 gigawattheures par an, l'énergie hydraulique représente la part du lion. De surcroît, il serait possible de produire quelque 1100 gigawattheures d'électricité à partir de l'énergie solaire, 50 environ grâce à l'énergie éolienne et 25 à l'aide de petites centrales hydroélectriques.

D'importantes réserves énergétiques dans le bois-énergie des forêts

L'énergie issue de la biomasse pourrait jouer à l'avenir un rôle prépondérant dans le mix énergétique, en particulier parce qu'elle permet de produire de l'électricité, de la chaleur et des combustibles en fonction des besoins, c'est-à-dire indépendamment de la période de la journée ou de l'année. Si aucune chaleur supplémentaire ni aucun combustible ne sont produits, l'électricité supplémentaire obtenue lors de la valorisation de la biomasse totalisera probablement 145 gigawattheures. Les plus grandes réserves énergétiques d'origine biomasse sont emmagasinées dans le bois-énergie des forêts.

Conclusion: le canton d'Argovie peut atteindre les objectifs de la stratégie énergétique nationale relatifs à la production d'électricité, en premier lieu grâce aux sources d'énergie renouvelable. Dans ce contexte, il est vu comme un cas exemplaire en Suisse. *(rlä)*

Comment le canton d'Argovie prévoit-il de produire davantage d'électricité à partir de ressources renouvelables?

Monsieur Morier, le bois-énergie des forêts a un potentiel élevé en Suisse. Que peut faire votre canton pour qu'en Argovie, une plus grande quantité de ce bois-énergie soit exploitée?

L'utilisation accrue de bois-énergie des forêts dépend du marché du bois, plus précisément du prix d'autres assortiments de bois comme les grumes de feuillus ou le bois d'industrie. En fin de compte, l'exploitation du bois-énergie se réglera en fonction du prix. Le canton ne peut pas et ne veut pas intervenir sur le marché du bois.

Les volumes de bois diminueront-ils si le canton exploite davantage de bois-énergie?

Selon l'Inventaire forestier national, entre 2004/06 et 2009/13, le volume total de bois a diminué d'environ 6 % dans le canton d'Argovie. Si l'on souhaitait conserver le volume actuel, il faudrait, en raison de l'exploitation accrue de bois-énergie, récolter moins de grumes qu'à ce jour. Une plus grande exploitation de bois-énergie ne justifie pas selon nous une réduction des volumes de bois sur pied.

En tant que spécialiste forestier, que pensez-vous des éoliennes en forêt?

Les éoliennes doivent être installées là où le vent souffle à une vitesse suffisante. C'est seulement à cette condition que leur exploitation sera rentable. En Argovie, c'est le cas sur les collines. Les zones suivantes ont ainsi été délimitées dans le plan

forestier cantonal: Burg, Hochrüti, Hundsrugge, Lindenberg, uf em Chalt. Dans une zone située au milieu des champs et en forêt, une éolienne sera généralement construite à l'extérieur de la forêt en raison de l'interdiction de défricher.

Et l'énergie solaire? Dans quels sites la produire?

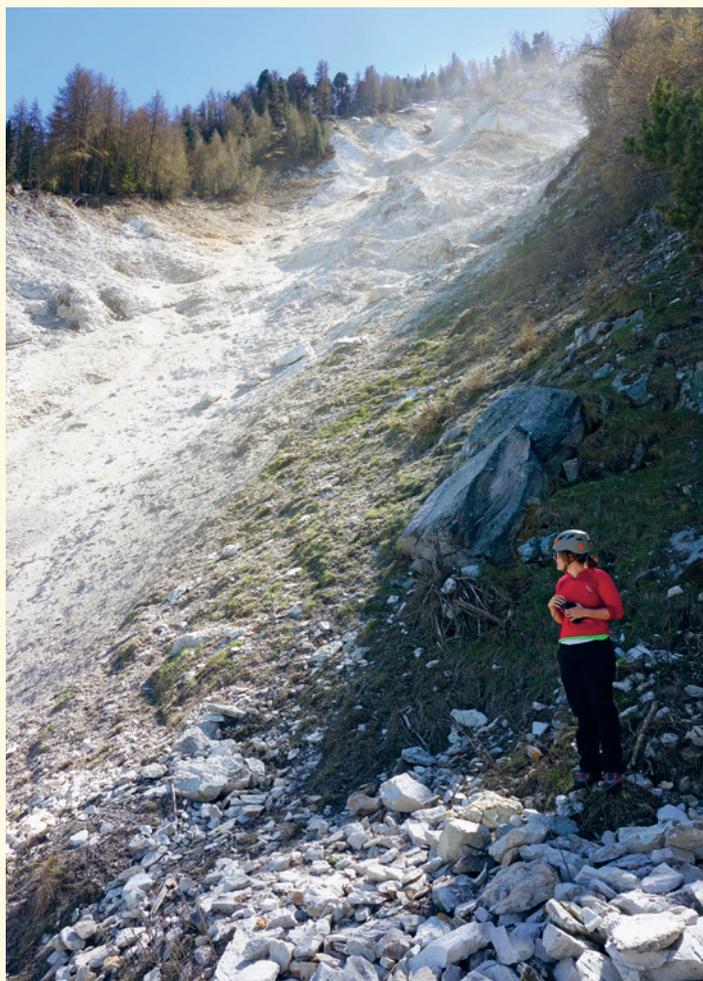
Dans le canton d'Argovie, il a été possible d'installer des panneaux solaires sur de nombreux toits de maisons, de granges et de bâtiments industriels. *(rlä)*



L'exploitation énergétique du bois est possible à tout moment et de façon diversifiée.



Alain Morier est responsable de la division Forêts du département Construction, transports et environnement du canton d'Argovie.



Nicole Oggier, ingénieur en environnement, observe la zone de laves torrentielles du Meretschibach. En raison des chutes de pierres, la partie supérieure du Bochtür est presque toujours enveloppée d'un nuage de poussière.

Les pentes escarpées du Bochtür sont presque toujours enveloppées d'un nuage de poussière. Dans la partie supérieure du bassin versant du Meretschibach en Valais, graviers, éboulis et pierres ne cessent de dévaler la pente. Ils s'accumulent légèrement plus bas, formant parfois des tas hauts de trois mètres. À un moment ou à un autre, ces masses d'éboulis se remettent en mouvement – une lave torrentielle se fraye un chemin jusqu'à la vallée.

«Quand et comment une telle lave torrentielle se déclenche-t-elle? Voilà ce qui nous intéresse», explique

Brian McArdeall, chef du Groupe Mouvements de masse au WSL. «Quelle quantité d'éboulis ou d'eau faut-il pour déclencher le processus? Les masses de pierres gonflent-elles brusquement ou tout commence-t-il par un petit ruisseau qui entraîne de plus en plus de pierres?»

Vif intérêt accordé au projet de recherche

Depuis 2013, Brian McArdeall et sa collègue Nicole Oggier étudient la zone de façon intensive. Des stations météorologiques saisissent des données comme les précipitations ou la hauteur de la neige. Des mesures radar indiquent les endroits où l'érosion est des plus actives. Des données de télédétection enregistrées par des avions ou des drones livrent des informations sur les mouvements de masse. Le Meretschibach est particulièrement passionnant car en raison des rochers fortement découpés, les processus se déroulent environ cent fois plus vite qu'ailleurs.

B. McArdeall résume les premiers résultats: «De nombreuses rainures dans la zone d'érosion soulignent que l'eau a déclenché des laves torrentielles. C'est typique des versants peu pentus. Sur les pentes escarpées se produisent au contraire souvent des glissements spontanés, à l'image d'une plaque de neige. On le voit aux grandes surfaces uniformes dans la zone de déclenchement». Le projet de recherche fait l'objet d'un vif intérêt en Valais, les laves torrentielles causant en effet régulièrement des dégâts à Briannen (commune de Loèche) et à Agarn. (*bzi*)

www.wsl.ch/more/meretschibach-fr

Dangereux amas de neige en surplomb: mieux sécuriser l'entrée des tunnels pour les usagers de la route

Le 1^{er} février 2014, des rafales de neige et un vent tempétueux sévissent sur l'A13, dans le Rheinwald. En fin d'après-midi, un bloc de neige d'environ dix kilos se détache du portail nord du tunnel du San Bernardino et s'abat sur une voiture particulière de passage à cet endroit. Plus de peur que de mal pour les passagers, mais un véhicule fortement endommagé par la violence du choc. Par la suite, le service des ponts et chaussées des Grisons missionne le SLF pour qu'il examine les processus de formation de tels surplus de neige, localise les entrées de tunnels concernées et propose des mesures possibles de prévention.

Mesures destinées aux cinq entrées de tunnels les plus dangereuses

Pour l'ensemble des 38 entrées de tunnels sur l'A13 dans les Grisons, les experts du SLF examinèrent, ce même hiver 2014, l'ampleur des dangers liés à la chute de masses excédentaires de neige. «Les amas de neige en surplomb sont causés soit par le vent, comme pour une corniche, soit par le tassement de la neige», explique Stefan Margreth, responsable du Groupe de recherche Mesures de protection au SLF. «En moyenne, il faut s'attendre à ce que tous les 30 ans environ, un véhicule soit touché par la chute de blocs de neige sur l'A13.» Cinq des entrées de tunnels examinées se sont avérées particulièrement dangereuses. Pour celles-ci notamment, les experts recommandent d'améliorer l'accès du personnel afin que la neige excédentaire puisse être enlevée manuellement lors des services hiver-

naux ordinaires. L'expertise suggère aussi d'installer des rubans chauffants au-dessus des entrées les plus critiques et de dresser une clôture sur le toit de l'entrée nord du San Bernardino afin d'éviter toute accumulation de neige sous l'effet du vent. Ces mesures appliquées en été 2014 auront, espérons-le, réussi à empêcher de nouveaux accidents. *(mbe)*

www.wsl.ch/more/protectioncontrolesavalanches



Depuis une forte pente située au-dessus de l'entrée d'un tunnel, la neige peut glisser et tomber sur la route, comme ce fut le cas ici, au col du Lukmanier.



En février 2014, ce véhicule fut gravement endommagé par un bloc de neige qui s'était détaché de l'entrée nord du tunnel du San Bernardino.

NEIGE ET GLACE Expédition au Groenland: percer les secrets du manteau neigeux grâce à des radars, à Snow-MicroPen et aux stations météorologiques



Le Swiss Camp est en quelque sorte le quartier général du réseau de mesures climatiques sur la calotte glaciaire groenlandaise.



Avec le SnowMicroPen, Martin Schneebeli étudie le manteau neigeux à proximité d'une station météorologique.

Le Groenland en mai: il ne fait jamais sombre et sur l'immense calotte glaciaire à l'intérieur des terres, la température est relativement élevée, proche de moins 20 degrés Celsius. Des conditions optimales pour que le Directeur du WSL, Koni Steffen, effectue la maintenance de ses stations météorologiques. Au cours des 25 dernières années, K. Steffen a établi le premier et l'unique réseau de mesures climatiques sur la calotte glaciaire. Celui-ci permet de tirer des conclusions sur le climat groenlandais et sur ses modifications.

Le Groenland fond

Les 20 stations se trouvent sur une immense calotte glaciaire – le Groen-

land, la plus grande île au monde, mesure près de 53 fois la superficie de la Suisse; plus des quatre cinquièmes de sa surface sont recouverts de glace. Au milieu de cette glace a été érigé le Swiss Camp, quartier général du réseau de mesures à 1100 mètres d'altitude. Lorsque K. Steffen l'a construit, il se situait sur la ligne d'équilibre, là où, sur l'année, tombe et fond une quantité similaire de neige. Toutefois le changement climatique a déplacé cette ligne d'équilibre vers le nord. Le Camp, profondément ancré dans la glace grâce à de longs pieux, le démontre de façon presque plus impressionnante que les mesures de températures: chaque année, le «sol» fond sous ses pieds; les pieux deviennent pilotis, de coûteux travaux de stabilisation s'imposent. Ce qui est perçu sur place comme un désagrément par les chercheurs, est un phénomène d'importance mondiale. Chaque année, le Groenland perd environ 350 kilomètres cubes de glace – soit cinq fois plus de glace que tous les glaciers alpins ne totalisent encore. Les eaux de fonte entraînent une élévation du niveau de la mer, menace immense pour les zones côtières inondables.

Retour au Groenland: au fil de l'année, les stations de K. Steffen réparties sur la calotte glaciaire envoient toutes les heures leurs mesures climatiques à un serveur via une connexion satellite. Ces données sont ainsi pratiquement disponibles en temps réel. Une fois par an, il faut cependant des observateurs attentifs sur place. En mai cette année, trois nivologues du SLF ont accompagné K. Steffen lors de ses vols et de ses randonnées en motoneige jusqu'aux stations. Martin Schneebeli et Martin Proksch se sont alors intéressés au manteau neigeux parfois vieux de

plusieurs années. Ils ont creusé d'innombrables profils de neige, utilisant en particulier le SnowMicroPen, un développement du SLF: une sonde à la pointe extrêmement sensible à la pression fore dans la neige et mesure la résistance à la pénétration. M. Schneebeli explique: «Grâce à ces mesures, nous vérifions si les données météorologiques et nos modèles informatiques nous permettent d'effectuer des calculs du manteau neigeux tel que nous l'avons rencontré dans la nature. Cela nous aiderait à comprendre les évolutions nivo-météorologiques du Groenland.»

Radar dans la neige

Lino Schmid souhaiterait lui aussi percer les secrets du manteau neigeux. À deux endroits, – dans le Swiss Camp et sur Summit, la station de recherche américaine située à 3216 mètres d'altitude – il a installé des radars spéciaux. Ces derniers éclairent normalement le manteau depuis le bas sans le détruire. Dans le Swiss Camp, L. Schmid a dû installer son appareil la tête en bas: comme la ligne d'équilibre se déplace et que la quantité de neige qui fond est nettement supérieure à celle qui vient s'ajouter, il a fixé celui-ci sur un mât et examine de ce fait le manteau neigeux depuis le haut. Peu importe que ce soit à l'endroit ou à l'envers: les deux radars doivent régulièrement fournir des informations sur le manteau neigeux toute l'année, notamment sur ses couches internes, y compris lors du rude hiver groenlandais. «Un précieux complément aux données météorologiques», constate K. Steffen avec satisfaction. *(bio)*

A woman with short grey hair and glasses, wearing a purple and white striped t-shirt and dark pants, sits on a large, moss-covered rock by a river. She is looking towards the right, where a dense forest of green trees lines the opposite bank. The sky is clear and blue. The water of the river is a vibrant blue-green color. The foreground shows more mossy rocks and the edge of the river.

Heike Lischke, Birmensdorf

«J'aime beaucoup la nature sauvage, proche de son état originel, ainsi que l'interaction dynamique entre l'eau et la forêt près du couvent de Gnadenthal. Chaque fois que je viens ici, le paysage fluvial a un visage différent. L'être humain intervient aussi par endroits. Ainsi, il y a quelques années seulement, ce tronçon de la Reuss a été renaturé.»

L'ÉCOLOGIE DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

Comment la forêt, le paysage et la diversité des espèces pourraient-ils évoluer? Pour répondre à cette question, une bonne dose de mathématiques est souvent nécessaire. Heike Lischke, cheffe du Groupe Macroécologie dynamique, est fascinée par cet aspect de son travail: elle transforme des

théories abstraites en formules mathématiques qui lui permettent de développer ensuite des modèles de végétation, s'approchant alors un peu plus de l'écologie réelle. «Les mathématiques peuvent nous aider à mieux comprendre des processus complexes à l'œuvre dans la nature.»

A portrait of Cornelia Accola-Gansner, a woman with shoulder-length brown hair, wearing a vibrant red long-sleeved top and dark pants. She stands in a grassy field with her right hand on her hip, looking directly at the camera. The background features a soft-focus mountain range under a bright sky, with a valley and some buildings visible in the distance.

Cornelia Accola-Gansner, Davos

«Cet endroit proche d'un télésiège symbolise pour moi le caractère fascinant de Davos: sa dimension rurale, mais aussi touristique. Comme notre maison n'est qu'à 50 mètres d'ici, j'y viens souvent avec mes enfants, et contemple la magnifique vue sur la vallée de Landwasser.»

COMMUNIQUER POUR LE GRAND PUBLIC

Cornelia Accola-Gansner travaille depuis 15 ans dans le Groupe Communication au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. À l'interface entre la recherche et le grand public, la spécialiste en sciences de la terre organise des événements et des visites de groupes

dans l'Institut, accompagne les médias et répond à toutes les questions qu'elle reçoit quotidiennement par mail ou par téléphone. «Comme je fais moi-même souvent des randonnées en montagne, la prévention des avalanches me tient particulièrement à cœur.»

Dans son rapport environnemental, le WSL diffuse chaque année des informations sur sa gestion respectueuse de l'environnement. En 2006, il s'était fixé les objectifs suivants: réduire la consommation d'électricité par collaborateur de 10 % d'ici 2016; réduire également celle de chaleur par m² de 40 %, et celle de carburant aux 100km de 20 % d'ici 2020.

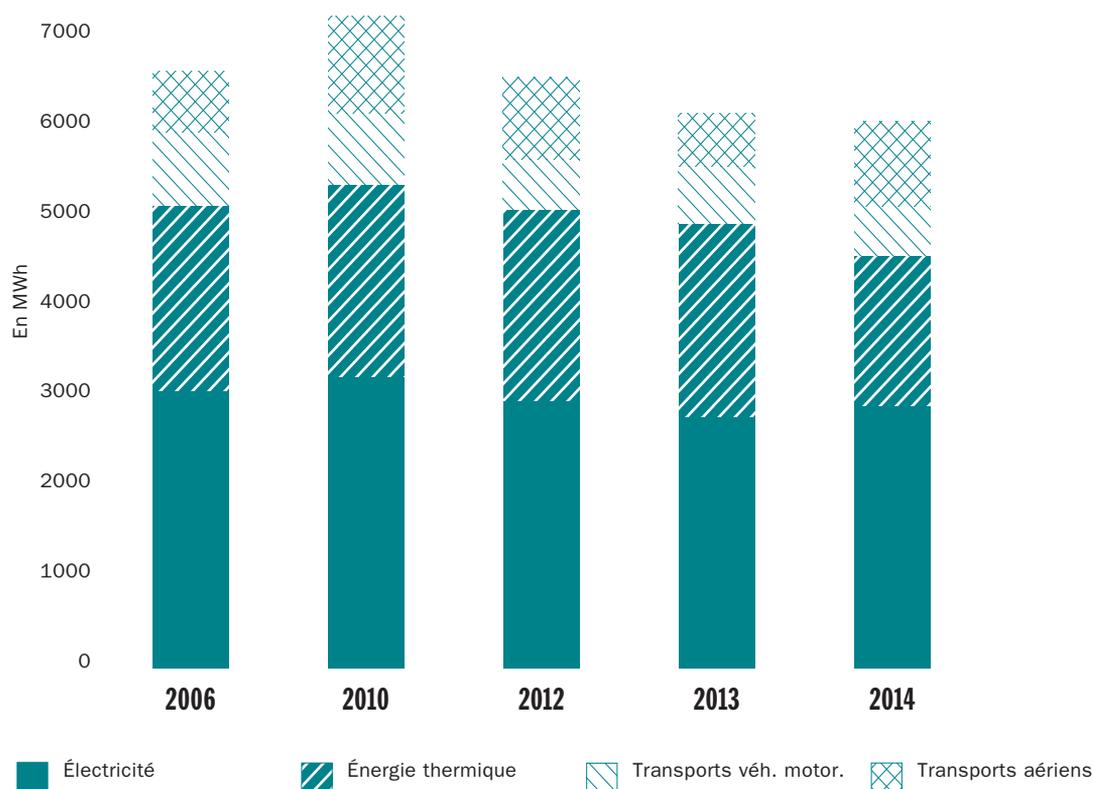
À ce jour, le WSL tient le cap, il a même dépassé les objectifs intermédiaires fixés pour 2014. Par rapport à ces derniers, les consommations sont ainsi inférieures respectivement de 5 % pour la chaleur, de 12 % pour l'électricité et de 21 % pour le carburant. De 2006 à 2014, l'Institut de recherches a même pu augmenter l'efficacité énergétique par poste à plein temps de 40 %.

Le WSL consomme la majeure partie de son énergie sous forme d'électricité (48 % de la

consommation énergétique totale). Après une diminution constante de la consommation absolue d'électricité depuis 2009, une légère augmentation fut à nouveau constatée en 2014. La raison: le nouveau laboratoire phytosanitaire de haute technicité créé en 2014 selon le standard Minergie Eco. Il s'agit du premier laboratoire à haute sécurité construit en bois en Suisse, avec rejets de chaleur du bâtiment injectés dans le réseau du WSL.

Le WSL ne se limite pas à ses propres objectifs et mesures, mais participe aussi à divers programmes du secteur environnemental et énergétique tels que RUMBA, le système de gestion des ressources et du management environnemental de l'administration fédérale, le projet Exemplarité énergétique de la Confédération, et certains projets de l'Agence de l'énergie pour l'économie. *(azu)*

Consommation énergétique totale du WSL





L'avalanche déclenchée artificiellement dans la Vallée de la Sionne fournit une multitude de données. Celles-ci permettent aux chercheurs du SLF de mieux comprendre les mouvements internes des avalanches.

Février 2015: Dans la Vallée de la Sionne (VS), des chercheurs du SLF déclenchent trois avalanches lors d'un essai à grande échelle. Le mât équipé d'instruments de mesure dressé au milieu du site de recherche fournit d'importantes données pour l'étude de la vitesse, de la pression ou de la longueur d'écoulement des avalanches. Outre cette installation d'essai sur le terrain, le WSL en exploite d'autres, uniques au monde, où les chercheurs peuvent examiner en grandeur réelle laves torrentielles, chutes de pierres ou charriage de sédiments dans des cours d'eau. En forêt également, les essais à grande échelle permettent de mieux comprendre les processus à l'œuvre dans la nature et d'adapter en conséquence les méthodes de gestion.

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, www.wsl.ch/eshop

IMPRESSUM

Responsable de l'édition:
Konrad Steffen, prof., Directeur du WSL

Texte et rédaction:
Lisa Bose (lbo), Sandra Gurzeler (sgu),
Martin Heggli (mhe), Christine
Huovinen (chu), Reinhard Lässig (rlä),
Martin Moritz (mmo), Birgit Ottmer
(bio), Bärbel Zierl (bzi), Andreas
Zurlinden (azu)

Direction rédactionnelle:
Lisa Bose, Christine Huovinen,
diagonal@wsl.ch

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

Maquette:
Raffinerie AG für Gestaltung, Zurich

Impression: Sihldruck AG, Zurich

Tirage: 1300 exemplaires, deux
numéros par an. Le Magazine du WSL
DIAGONALE paraît aussi en allemand
et en anglais.

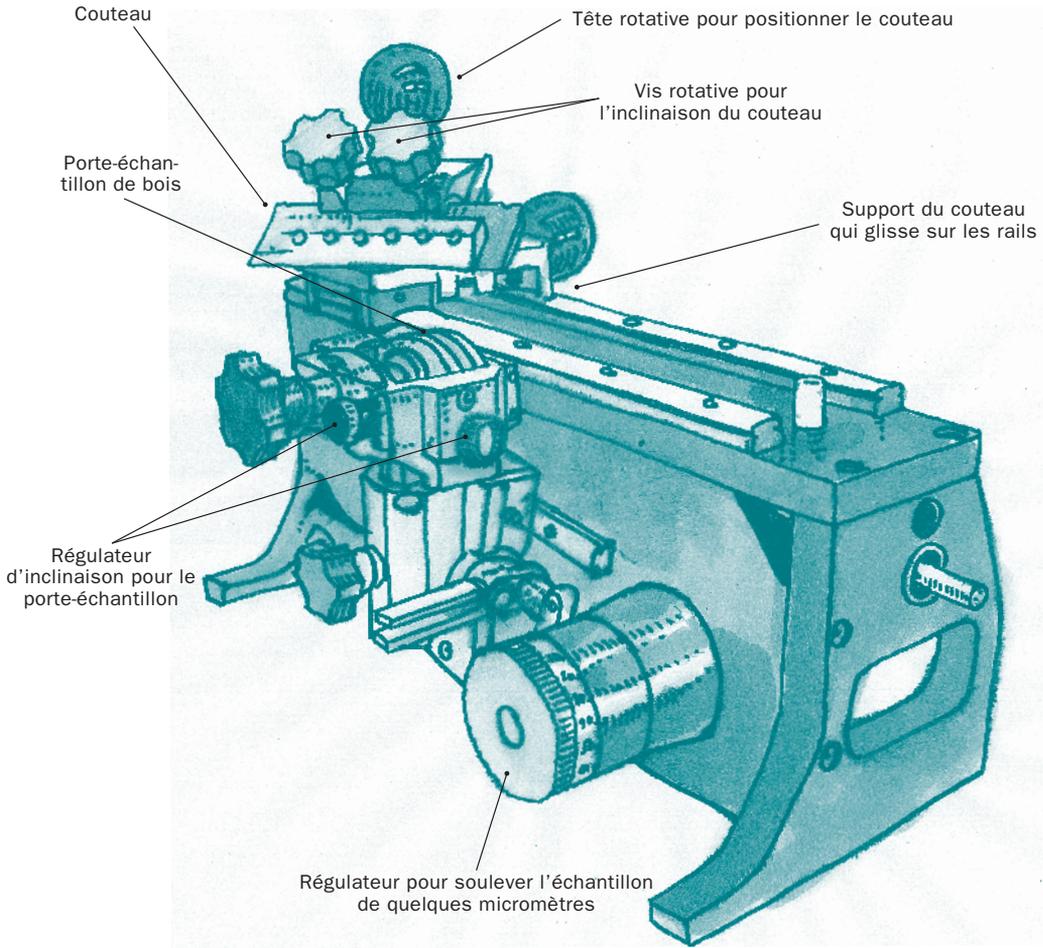
Référence bibliographique:
Institut fédéral de recherches WSL
2015: Magazine du WSL Diagonale,
2 / 15. 36 p. ISSN 2296-3596

PERSONNES



L'équipe de rédaction du WSL, de
gauche à droite; en haut: Reinhard
Lässig, Sandra Gurzeler, Bärbel Zierl,
Christine Huovinen; en bas: Martin
Heggli, Lisa Bose, Birgit Ottmer

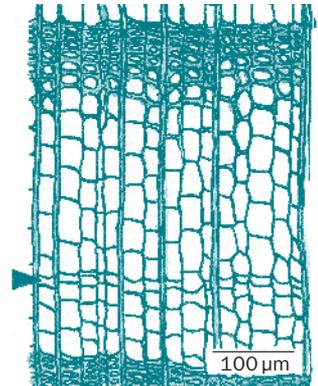
MICROTOME DE LABORATOIRE



Carotte dans le porte-échantillon



Coupe fine de 0,02 mm de diamètre



Préparation de coupes fines au microscope
100 µm

Le microtome de laboratoire est un développement du WSL. Il sert à réaliser des préparations de coupes fines destinées à l'analyse microscopique d'échantillons de bois.
Vidéo sur: www.wsl.ch/schmilblick



Pâturage boisé d'érables sycomores: un eldorado pour les bryophytes et les lichens, p. 22



SITES

Birmensdorf

Institut fédéral de
recherches WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
Téléphone 044 739 21 11
Fax 044 739 22 15
wslinfo@wsl.ch
www.wsl.ch

Davos

WSL Institut pour l'étude de
la neige et des avalanches SLF
Flüelastrasse 11
CH-7260 Davos Dorf
Téléphone 081 417 01 11
Fax 081 417 01 10
contact@slf.ch
www.slf.ch

Lausanne

Institut fédéral de
recherches WSL
Case postale 96
CH-1015 Lausanne
Téléphone 021 693 39 05
Fax 021 693 39 13
antennenromande@wsl.ch
www.wsl.ch/lausanne

Bellinzona

Institut fédéral de
recherches WSL
Via Belsoggiorno 22
CH-6500 Bellinzona
Téléphone 091 821 52 30
Fax 091 821 52 39
info.bellinzona@wsl.ch
www.wsl.ch/bellinzona

Sion

Institut fédéral de
recherches WSL
c/o HES-SO
Route du Rawyl 47
CH-1950 Sion
Téléphone 027 606 87 80
valais@wsl.ch
www.wsl.ch/sion

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 du paysage, de la forêt, 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, Bellinzone, 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.

