

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Réseaux: l'union fait la force

N° 2
18

Bioénergie:

régions qui recèlent
un potentiel supplé-
mentaire, p. 24

Fourmis:

premier «recense-
ment» à l'échelle du
pays, p. 28

Sauvetage en cas

d'avalanche: les
sauveteurs face à un
dilemme éthique, p. 30

ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,
Enfant, j'allais cueillir des champignons avec ma grand-mère en Suède. Même dans mes rêves les plus fous, je n'aurais jamais imaginé que ces savoureux produits forestiers puissent faire partie d'un réseau de communication grâce auquel les arbres avertissent leurs voisins de la présence de ravageurs, et même soutiennent leur descendance. Dans cette édition de *Diagonale*, vous découvrirez la façon dont les truffes, les cèpes et autres champignons constituent l'«Internet de la forêt». Un réseau écologique fascinant qui se cache dans le sol forestier! À leurs côtés, les réseaux humains et techniques peuvent sembler familiers. Mais établir des coopérations de recherche de par le monde, se mettre d'accord sur des méthodes de mesure homogènes et partager les données mesurées – ce n'est pas aussi simple qu'on le croit, qu'il s'agisse de la santé de la forêt, de glaciers ou de pâturages. Pour comprendre les tenants et les aboutissants, il est néanmoins primordial de collaborer au-delà des frontières géographiques, techniques et disciplinaires. C'est pourquoi nous vous invitons à découvrir de tels réseaux.



Konrad Steffen, prof.
Directeur du WSL

PS: À propos des réseaux: nous sommes aussi sur Facebook, Twitter et YouTube. Connectez-vous avec nous!



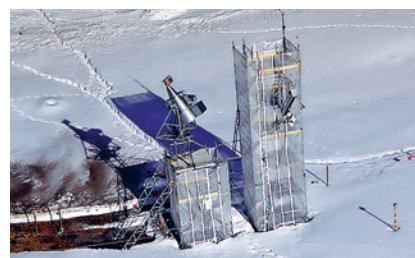
Réseaux



INTERCONNECTÉS DANS LE RÉSEAU ALIMENTAIRE

Pourquoi un écosystème perd-il son équilibre lors de la disparition d'espèces animales ou de l'utilisation massive d'engrais? Des chercheurs du WSL se sont penchés sur cette question.

→ **2**



LA NEIGE SOUS SURVEILLANCE

Afin que la neige, les glaciers et le pergélisol puissent être mieux étudiés au niveau mondial, chercheurs et stations de mesure se sont mis en réseau.

→ **10**



INTERVIEW

Arthur Gessler, chercheur du WSL: «Seule l'observation de la santé de la forêt sur le long terme permettra de mettre en évidence les changements insidieux.»

→ **12**



WOOD WIDE WEB

Les champignons constituent un réseau dans le sol via lequel les arbres forestiers se transmettent des nutriments et des informations. Des chercheurs du WSL tentent de décoder les «chats» dans le système racinaire.

→ **15**

THÈMES-CLÉS

20 FORÊT

22 PAYSAGE

26 BIODIVERSITÉ

29 DANGERS NATURELS

32 NEIGE ET GLACE

PORTRAITS

19 Pierre Huguenin, ingénieur et guide de montagne

25 Laurens Perseus, apprenti électronicien

34 Martina Hobi, spécialiste en sciences de l'environnement

35 IMPRESSUM, À L'HORIZON

36 LE SCHMILBLICK: le sac à dos IFN

RÉSEAUX ALIMENTAIRES Dans un écosystème, tous les organismes vivants sont interconnectés. Pourquoi un réseau perd-il son équilibre lors de la disparition d'espèces ou de l'utilisation massive d'engrais?

Impact des animaux de pâture sur la biodiversité



À l'intérieur de la grande clôture, d'autres clôtures aux mailles de largeurs différentes empêchaient les petits mammifères et les animaux invertébrés de dévorer les plantes.



Pendant cinq ans, des chercheurs du WSL ont effectué une expérience de clôture dans le Parc national suisse. La clôture extérieure était sous tension et gardait les cerfs éloignés de la surface.

Parc national suisse.

Se promener dans le Parc national suisse, c'est emprunter un réseau peu dense de sentiers à travers des forêts, des zones rocheuses et des prairies. Dans les prairies, nul bétail: vaches, moutons et chèvres n'y ont plus accès depuis la fondation du parc en 1914. La végétation est toutefois très basse par endroits. Les anciens pâturages situés en dessous de la limite forestière devraient pourtant être recouverts de forêt depuis longtemps étant donné que l'être humain et son bétail ne gardent plus les surfaces dégagées. Pourquoi n'est-ce pas le cas? Qu'est-ce qui empêche à ce point la végétation de croître? Quelles plantes poussent aujourd'hui dans les anciens pâturages? Les mêmes que celles de la période précédant la fondation du Parc national, ou d'autres, différentes?

Ces questions, Anita Risch et Martin Schütz les posent. Les écologues du WSL étudient les interrelations des organismes vivants dans un écosystème, le fonctionnement des réseaux trophiques et ce qui se passe si une ou plusieurs espèces disparaissent de cet écosystème. Depuis 25 ans, ils examinent les anciens pâturages dans le Parc national. «Nous avons tout d'abord supposé que les grands mammifères, à l'image des cerfs et des chamois, dévoraient les plantes à la place du bétail», explique A. Risch. Cette hypothèse, à elle seule, ne suffisait néanmoins pas à expliquer les différences de hauteur de la végétation selon les endroits. Aux grands mammifères s'ajoutaient vraisemblablement d'autres herbivores qui exerçaient sur la végétation une influence spécifique.

Tous nécessaires dans le système

Pour vérifier cette hypothèse, A. Risch et M. Schütz eurent l'idée d'exclure les herbivores des pâturages en fonc-

Photo: Otto Wildi, WSL

Pour de plus amples informations concernant l'expérience sur les clôtures dans le Parc national suisse (en anglais): www.wsl.ch/fence-experiment

tion de leur taille: les grands mammifères tout d'abord, comme le cerf, puis les plus petits tels que les marmottes, les lièvres et les souris, et enfin les invertébrés comme les insectes et les escargots. À cet effet, ils développèrent des clôtures spéciales qu'ils eurent l'autorisation d'installer en 2009 dans le Parc national, après une préparation sur plusieurs années et des entretiens intensifs avec l'administration du parc. Le travail dans le parc était fatigant, y compris physiquement. La neige entre mai et septembre, soit pendant la période du relevé des données, détruisait régulièrement les clôtures à insectes, dotées d'un maillage fin. «Les travaux d'entretien étaient très lourds, notamment parce que nous devons transporter tout le matériel de remplacement à pied sur le terrain», précise M. Schütz.

Pendant les cinq années de présence des clôtures dans le Parc national, les chercheurs collectèrent de grandes quantités de données – non seulement sur les plantes elles-mêmes, mais aussi sur le sol sous la végétation. Ils voulaient ainsi préciser quelle était l'influence des herbivores sur les organismes et sur les cycles d'éléments nutritifs dans le sol. Depuis la fin des expériences en 2013, A. Risch et M. Schütz, en collaboration avec d'autres chercheurs, ont déjà publié de nombreux résultats. Ils ont par exemple découvert que les grands mammifères avaient accru la diversité végétale dans le Parc national. En effet, quand ces animaux sont absents, les plantes à s'imposer dans les pâturages sont surtout celles qui poussent vite, chassant ainsi d'autres espèces végétales, et la diversité diminue. Ce phénomène se répercute à son tour sur les espèces de carabidés qui chassent à vue par exemple. Si la végétation est trop dense, celles-ci ne voient plus leur proie et le nombre de ces insectes prédateurs se réduit.

La température et la disponibilité en eau du sol dépendent des animaux qui se nourrissent en surface. Sans eux, la végétation gagne en densité, d'où une quantité moindre de lumière du soleil jusqu'au sol. Le refroidissement du sol peut atteindre un degré, l'humidité augmente, favorisant l'accroissement du matériel végétal. Le résultat le plus surprenant à ce jour: en l'absence des grands mammifères, les invertébrés reprennent la fonction des premiers dans le système. Pour certains types de végétation, ils consomment presque autant de matériel végétal. Étant donné néanmoins qu'ils dévorent aussi des plantes que les grands mammifères évitent – chardons épineux ou aconit toxique par exemple –, ils influent sur la végétation de façon différente que les cerfs ou les chamois. Si les invertébrés viennent au contraire aussi à manquer, l'écosystème s'effondre, réseaux et cycles alimentaires se désagrègent.

Les engrais perturbent le réseau

En parallèle avec l'expérience sur les clôtures dans le Parc national, A. Risch et M. Schütz ont lancé un essai similaire non loin de là, dans le Val Müstair. Au niveau des paravalanches en amont de Lü se trouvent trente placettes dont certaines sont aussi clôturées. Elles relèvent du réseau international de recherche «Nutrient Network (NutNet)» auquel participent, sur six continents, plus de soixante-dix équipes issues de dix-neuf pays. Dans ce projet, on étudie également ce qui se produit lorsque de grands animaux sauvages herbivores sont absents des prairies et des pâturages. Est aussi examinée l'influence de l'apport d'engrais sur les surfaces de 25 m². Chaque équipe de chercheurs collecte sur ses surfaces les mêmes données à l'aide des mêmes méthodes. Les modifications de la diversité des espèces, de la productivité et des cycles alimentaires de l'éco-



Les surfaces de pâturage étudiées dans le réseau de recherche NutNet se différencient souvent fortement les unes des autres. En haut, un pâturage à Mount Caroline, Australie-Occidentale; en bas, un autre dans le Parc national du Serengeti, Tanzanie.

système sont au cœur des recherches. L'objectif consiste à reconnaître des modèles mondiaux qui correspondraient aux réactions d'écosystèmes très diversifiés face à l'exclusion d'animaux sauvages et à l'utilisation d'engrais. Les données rassemblées sont enregistrées de façon centralisée à l'Université du Minnesota, États-Unis, où est née l'idée de ce réseau de recherche.

Anita Risch et Martin Schütz font partie de ce réseau depuis 2008. Fin mai, ils épandent de l'azote, du phosphore et du potassium sur leurs surfaces; à partir de début juillet, la végétation est fauchée à la main. La quantité de ma-

tériel végétal ainsi coupé indique la quantité de biomasse produite pendant la période de végétation – un moyen simple pour mesurer l'influence de l'abou-tissement et de l'épandage d'engrais. Même si le projet est loin d'être terminé, de nombreux résultats ont déjà été publiés. Or ils sont alarmants: si l'on ali-mente les prairies et les pâturages en nutriments et que les grands animaux her-bivores sont absents, la diversité végétale diminue fortement. Sur les surfaces du Val Müstair, il ne pousse aujourd'hui quasiment plus que la fétuque rouge (*Festuca rubra*), une espèce de graminée fréquente et largement répandue. Les relations dans les réseaux alimentaires sont massivement perturbées.

L'expérience ne repose en aucun cas sur des réflexions théoriques unique-ment. Depuis la fin de la dernière période glaciaire, le nombre de grands ani-maux sauvages herbivores a diminué au niveau mondial. C'est probablement lié au comportement de l'homme moderne. Or depuis l'industrialisation, les stocks mondiaux d'azote et de phosphore ont doublé, voire quintuplé, en rai-son de l'utilisation excessive d'engrais artificiels dans l'agriculture. Combinés à l'absence des grands herbivores, les engrais donnent lieu à des écosystèmes instables et pauvres en espèces, presque incapables de réagir aux modifications des conditions environnementales.

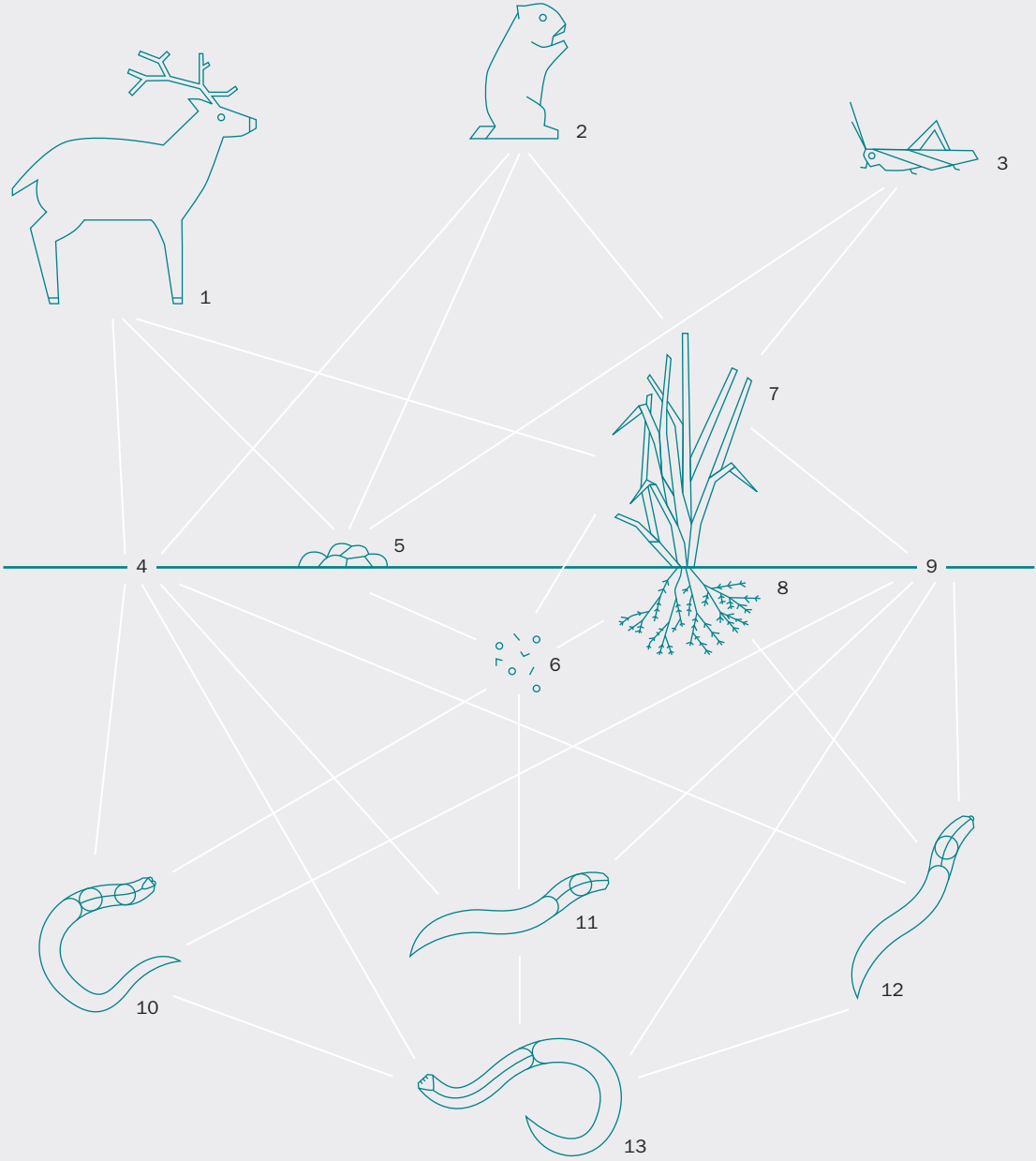
Idées, expériences et échange de données

Les réseaux mondiaux comme NutNet permettent de voir ce qui se passe chez le voisin. «Grâce aux échanges avec des chercheurs d'autres continents, on ap-prend à mieux comprendre son propre système», Anita Risch en est convain-cue. «De nombreuses hypothèses en botanique reposent par exemple sur les conditions telles qu'elles prévalent dans l'hémisphère nord. Lorsque l'on ap-plique ces hypothèses à l'hémisphère sud, on remarque vite que certaines n'y sont pas valables.» Ces connaissances aident à jeter par-dessus bord des idées préconçues et à mieux comprendre la façon dont tout est interconnecté.

Le contact personnel entre chercheurs compte toujours lui aussi, égale-ment en dehors des heures de travail. «Souvent, des projets communs voient le jour le soir après le boulot, autour d'une bière», déclare Martin Schütz. Lors d'une des rencontres annuelles dans le cadre du réseau NutNet, les deux cher-cheurs ont fait la connaissance d'une Australienne, Jennifer Firn, de la «Queens-land University of Technology» de Brisbane. Elle a été enthousiasmée par l'ex-périence sur les clôtures dans le Parc national et a proposé à A. Risch et M. Schütz de collaborer avec elle. Ces clôtures seront peut-être ainsi bientôt utili-sées en Australie – les propositions de projets de recherche ont été soumises entre-temps. À la place des cerfs et des marmottes, ce sont toutefois les kan-gourous et les wombats que l'on empêchera de dévorer la végétation. (lbo)


INFOGRAPHIQUE Les animaux herbivores dans la prairie influent sur les organismes souterrains

Dans les prairies, les organismes vivants sont interconnectés par des relations complexes. En l'absence de mammifères par exemple, la biomasse végétale augmente, ce dont profitent les nématodes qui vivent sous terre – leur nombre double. Mais tout le monde n'en sort pas gagnant: certaines espèces de nématodes disparaissent, ce qui amoindrit la diversité de ces organismes du sol.




- | | | |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Ongulés | 5 Fumier, urine, cadavres | Nématodes (fortement agrandis): |
| 2 Mammifères de taille moyenne et petite | 6 Nutriments, bactéries, champignons | 10 Espèces bactérovores |
| 3 Invertébrés | 7 Parties aériennes | 11 Espèces fongivores |
| 4 Structure du sol | 8 Racines | 12 Espèces herbivores |
| | 9 Microclimat du sol | 13 Espèces prédatrices et omnivores |

Infographie: Raffinerie, Zurich: source des données: Vandegheuchte et al., 2017. Photo p. 8/9: Michael Doering, ZHAW/EAWAG

An aerial photograph showing a river system. In the upper left, a river flows into a larger body of water. A dam or bridge structure is visible on the left side. The river flows towards the bottom right, where it meets a large, curved, light-colored area, possibly a sandbar or a dry riverbed. The surrounding landscape includes green fields, trees with autumn foliage, and a building with a grey roof. Two white lines with dots at the end point to specific features: one points to the confluence area, and the other points to the dam structure.

Les confluences - ici de la Gérine et de la Sarine (venant de la gauche) – relient les populations de différents cours d'eau: les graines de plantes et les insectes descendent les rivières avec le courant et colonisent de nouvelles stations.

Des ouvrages tels que les ponts ou les centrales hydroélectriques peuvent perturber la propagation d'organismes. Des chercheurs du WSL simulent à l'ordinateur l'impact des barrières sur la réintroduction d'espèces rares dans des tronçons de cours d'eau.

An aerial photograph showing a river confluence. A large, light-colored gravel bar dominates the lower half of the image, with a small stream flowing through it. The riverbanks are lined with dense trees showing vibrant autumn colors in shades of orange, yellow, and green. A paved road runs horizontally across the middle of the image, with a red car parked on the left. A white line with an arrow points from the text box to a specific spot on the gravel bar.

Sur les bancs de gravier vivent des espèces de plantes, d'animaux et de champignons caractéristiques. Plus leurs habitats sont interconnectés le long d'un cours d'eau, mieux les espèces peuvent survivre.

Zone d'embouchure de la Gérine,
tronçon de rivière près de Marly (FR)

Davos, Antarctique et Kilimandjaro: la neige sous surveillance à l'échelle planétaire. Afin que la neige, les glaciers et le pergélisol puissent être mieux étudiés au niveau mondial, chercheurs et stations de mesure se sont mis en réseau.

En fait, c'est très simple: pour mesurer la hauteur de neige, on enfonce une sonde graduée dans le manteau neigeux jusqu'au sol, et on lit la valeur. Terminé. Mais que faire si la neige se trouve sur un glacier ou sur la banquise où le sol est absent? Des questions similaires surgissent pour presque tous les paramètres saisis par les nivologues, qu'il s'agisse de la densité, de la granulométrie ou de la température. Les scientifiques effectuent leurs mesures de façon différente, ce qui en empêche souvent la comparaison.

Sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale, des chercheurs de pays les plus divers ont fondé le réseau «Global Cryosphere Watch» (GCW). Un groupe de travail du GCW certifie des stations et des champs de mesure qui saisissent et enregistrent des données sur la cryosphère selon des standards re-



160 stations dans 27 pays sont mises en réseau dans le «Global Cryosphere Watch» – dont la Station italo-française Concordia Dome C en Antarctique (en bas à gauche), le champ de glace Nord au Kilimandjaro en Tanzanie (en bas à droite), ainsi que le site expérimental de Laret du SLF, qui relève du pôle de Davos (en haut).

connus ou définis par lui. La cryosphère comprend toutes les parties de la Terre où tombe de la neige ou qui en sont recouvertes, celles où rivières, lacs et mers sont gelés toute l'année ou de façon saisonnière, et celles qui comptent du pergélisol, des glaciers ou des calottes polaires. Cela concerne environ cent pays sous toutes les latitudes dans le monde entier.

Des mesures fiables et professionnelles sont la condition sine qua non pour rendre les informations sur la neige et la glace utilisables à l'échelle planétaire – objectif central du GCW. Ce qui semble rébarbatif peut avoir un impact majeur: jusqu'à présent par exemple, les mesures de la hauteur de neige issues du Caucase n'étaient pas disponibles. Or grâce au GCW, elles le seront désormais, et l'on pourra ainsi mieux comprendre les répercussions du changement climatique sur le manteau neigeux saisonnier aux quatre coins du monde.

Charles Fierz du SLF est membre du groupe de pilotage du GCW, et il voit au-delà de la science: «Dans certaines régions du monde marquées par des conflits politiques, des mesures de la neige ou de glaciers permettent de premiers rapprochements entre personnes», explique-t-il en s'appuyant sur l'exemple de la Russie et de la Géorgie. Les scientifiques des pays ennemis collaborent ainsi.

Mieux utiliser les données au lieu d'en collecter davantage

La Suisse ne connaît heureusement pas de tensions politiques majeures. Grâce à ses séries de données pluriannuelles précises et bien documentées, le pays montre au contraire l'exemple. C. Fierz s'est beaucoup investi pour que tout un groupe de stations de mesures situées dans la région de Davos soit intégré dans le réseau. «À l'échelle mondiale, cela met notre travail plus en valeur. En effet, nous ne devons pas collecter à tout prix davantage de données, mais mieux les utiliser», souligne-t-il. Wolfgang Schöner de l'Université de Graz, responsable de la certification des stations de mesures au GCW, partage ce point de vue: «Le pôle de Davos est un exemple remarquable au niveau international. Non seulement des relevés du pergélisol, de la neige et des glaciers, ainsi que de leurs modifications, y sont effectués, mais leurs liens avec le changement climatique y sont aussi étudiés.»

Pour pouvoir bénéficier de tels trésors de données et d'expériences dans le monde entier, l'échange de données entre les chercheurs doit fonctionner de façon simple. C. Fierz et ses collègues au SLF élaborent à cet effet des processus standard, définissent des formats de données et perfectionnent des logiciels. Tous les scientifiques connectés au GCW les utilisent ainsi pour pouvoir saisir leurs données de façon comparable et les échanger entre eux. «Les bénéficiaires sont en particulier ceux qui ne peuvent pas financer eux-mêmes de tels outils en raison de la situation économique de leur pays», indique W. Schöner.

Et qu'en est-il à présent de la hauteur de neige sur un glacier ou sur la banquise? «C'est très simple», explique C. Fierz: «Il faut définir une hauteur de référence. Si possible, ce sera le sol, mais sur la glace, c'est la personne qui doit la déterminer. Cela peut être entre autres la surface de la neige du 31 décembre de l'année précédente. Peu importe ce qui est défini comme hauteur de référence – elle doit juste être bien documentée et toujours appliquée de façon identique.»

(bio)

Pour en savoir plus sur la surveillance de la cryosphère: <https://global-cryospherewatch.org>

Et sur le réseau de mesures: www.wsl.ch/cryonet-fr

Détection précoce des dégâts en forêt. Arthur Gessler en est convaincu: surveiller la santé de la forêt sur le long terme vaut la peine. Lors d'un entretien, le chercheur du WSL parle de l'impact du réchauffement climatique, de l'importance de longues séries de données, et de l'interconnexion des institutions et des chercheurs.

Depuis plus de trente ans, des chercheurs du WSL observent l'état de santé de la forêt dans environ soixante-dix stations en Suisse. Ces investissements élevés valent-ils tout simplement la peine?

L'état de la forêt évolue sans cesse, ne serait-ce qu'à la suite d'une année de sécheresse ou d'une tempête. Mais de tels instantanés ne permettent pas de déduire de tendance à long terme. C'est seulement en observant la forêt sur de nombreuses années que nous pourrions montrer les changements insidieux qui se déroulent sur des décennies. D'où l'importance selon moi de soutenir le monitoring à long terme.

Les débuts du monitoring des forêts remontent aux années 1980. La thématique du dépérissement des forêts inquiétait de nombreuses personnes à l'époque.

Oui, y compris les chercheurs. On a alors remarqué que les forêts souffraient par endroits de dégâts considérables. Ceux-ci survenaient notamment dans des sites particuliers, par exemple là où de grandes quantités de gaz d'échappement issus de l'industrie affectaient la forêt. Des dégâts à vaste échelle furent aussi enregistrés. Comme on ne disposait pas de données sur le long terme, on ne pouvait toutefois pas bien évaluer la situation à grande

échelle: s'agissait-il d'un phénomène préexistant, ou d'un développement tout à fait nouveau? C'est pour cette raison que l'on a commencé à mettre en place des réseaux de monitoring et ce, afin d'observer l'état de la forêt et de classer les changements sur le long terme. Avec le monitoring, nous signalons aussi des modifications dont nous ne pouvons encore en rien évaluer l'importance future.

Quelles tendances s'esquissent?

Le système «forêt» réagit lentement. Les arbres ne peuvent pas s'adapter aux nouvelles conditions de façon si rapide. Un exemple significatif: les apports d'azote élevés des années 1980 et de la période ultérieure, continuent d'avoir des répercussions sur la forêt. Si les arbres reçoivent beaucoup d'azote, ils deviennent éventuellement vulnérables face à la sécheresse. Sur fond de changement climatique, cette vulnérabilité pourrait encore s'accroître. À long terme, le changement climatique modifiera aussi la composition des espèces dans les forêts. En Valais, nous observons le dépérissement de nombreux pins sur l'une de nos surfaces de monitoring. Il est possible d'utiliser ces informations en combinaison avec d'autres données, afin de développer des projections sur l'aspect à venir de la forêt,



Arthur Gessler dirige le Programme de recherche «Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers LWF» au WSL.



Dans le cadre du Programme de monitoring LWF, les chercheurs mesurent, à l'aide d'un tensiomètre, les forces que doit déployer une plante pour absorber l'eau du sol.

et de définir les essences qui pourront être cultivées dans les conditions climatiques futures.

Mais comment saisir l'état de la forêt?

Nous avons deux réseaux qui se complètent l'un l'autre: Sanasilva et les Recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers (LWF). Avec l'Inventaire Sanasilva sont étudiés depuis 1985, sur une grille de 16 kilomètres sur 16 posée sur toute la Suisse, environ 1100 arbres par année répartis sur cinquante placettes. Les experts effectuent des relevés de l'état du houppier, de l'accroissement et du nombre d'arbres dépéris. Nous procédons au relevé des mêmes données sur les dix-neuf placettes d'observation qui font partie du LWF. Dans ces stations,

nous réalisons de surcroît de nombreuses autres mesures qui doivent aider à reconnaître les causes de la modification de l'état de santé et de la croissance. Nous déterminons les apports d'azote et de soufre, la teneur atmosphérique en ozone, et nous examinons le régime des eaux ainsi que le bilan nutritif dans le sol.

Qu'advient-il de toutes ces données?

Nous analysons et comparons les valeurs mesurées afin de détecter des variations entre les différentes années, ainsi que des tendances à long terme. Pour enregistrer les données dans la durée et les mettre à la disposition d'autres chercheurs, nous les déposons dans nos bases de données. Nous les transmettons à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) de façon synthétique. Mé-

«C'est seulement en observant la forêt sur de nombreuses années que nous pourrons aussi montrer les changements imperceptibles à court terme»

téoSuisse utilise de surcroît les données de nos stations météo et les intégrera à l'avenir dans ses modèles de prévision. Toutes les données sont aussi transférées à la base de données centrale du réseau européen «PIC Forêts», le «Programme international concerté sur l'évaluation et la surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts». LWF et Sanasilva relèvent de ce réseau auquel sont rattachés presque tous les pays européens. Dans tous les pays participants, des placettes d'observation sont sélectionnées sur la base des mêmes critères, et les mêmes méthodes sont appliquées sur le long terme.

Quelle est l'importance de cette mise en réseau internationale?

Elle est très importante. En effet, grâce au réseau PIC Forêts, les chercheurs, non seulement dans leur propre pays mais aussi dans l'Europe entière, peuvent reconnaître quelles sont par exemple les répercussions de la pollution atmosphérique sur la forêt. La collaboration internationale et la vaste base de données sont aussi déterminantes pour les analyses scientifiques. Les chercheurs du WSL veulent notamment comprendre quels sont les impacts des apports d'azote, de la concentration d'ozone ou de la modification des températures sur la croissance des arbres. Seuls de vastes sets de données à l'échelle européenne, axés sur une très longue période, permettront de répondre à de telles questions.

Vous êtes co-initiateur du SwissForestLab, un autre réseau fondé en 2017. Quelle idée le sous-tend?

Avec le SwissForestLab, nous souhaitons créer des synergies en

rapprochant des chercheurs, mais aussi différentes infrastructures en Suisse - le LWF en fait aussi partie. Dans le cadre du SwissForestLab, il existe notamment un projet qui rassemble les données sur la croissance des forêts en Suisse. L'objectif consiste à développer de meilleurs modèles pour prédire la croissance forestière dans les conditions climatiques futures. Nous souhaitons également impliquer les praticiens, afin de mettre en œuvre les nouvelles connaissances le plus rapidement possible. Des ateliers annuels sont aussi planifiés, lors desquels nous demandons aux parties prenantes telles que les propriétaires de forêt ou les inspecteurs cantonaux des forêts, de définir les problèmes urgents auxquels, selon eux, la recherche et le monitoring devraient répondre.

À quoi ressemblera le monitoring des forêts à l'avenir?

Nous utiliserons les nouveaux développements technologiques afin d'obtenir plus d'informations des satellites et des drones sur l'état de l'écosystème forestier. À cet effet, nous travaillons déjà avec des collègues issus du domaine de la télédétection au WSL, et avec l'EPF de Zurich, pour évaluer les informations photographiques à l'aide de l'intelligence artificielle. Les images satellite pourraient ainsi proposer des informations à haute résolution spatiale et temporelle, également capables de saisir les modifications à petite échelle et à court terme de l'état de la forêt. Ces méthodes ne remplaceront pas le monitoring classique lors duquel les spécialistes observent et procèdent à des mesures depuis le sol, mais elles le compléteront de façon utile. (sni)

Pour de plus amples informations sur le monitoring des forêts: www.wsl.ch/monitoring-des-forets

WOOD WIDE WEB **Les champignons sont le réseau social des arbres forestiers.** Les champignons constituent un réseau dans le sol via lequel les arbres forestiers se transmettent des nutriments et des informations. Les chercheurs essaient de décoder les «chats» dans le système racinaire.

Pour explorer l'«Internet de la forêt», Simon Egli, chercheur au WSL, a besoin d'un flair très aigu. Pas le sien, mais celui de son chien Miro. Le museau à ras le sol, l'animal tire sur sa laisse et renifle dans les herbes hautes dès que S. Egli a donné le signal «Cherche!». En moins de trente secondes, le chien commence à creuser sous un hêtre, les mottes de terre volent de part et d'autre. «Stop!», crie S. Egli, et il retient Miro. Il rit: «Sinon, il dévore lui-même son butin.»

Avec une petite truelle, S. Egli déterre une motte noire de la taille d'une noix qui sent fort l'herbe fraîchement coupée. Il s'agit d'une truffe de Bourgogne (*Tuber aestivum*) pas encore mûre. Sa valeur marchande au début de



L'«Internet de la forêt» comprend des filaments mycéliens (blancs) qui enveloppent l'extrémité des racines des plantes (brune) et poussent même entre les cellules racinaires. L'association symbiotique se nomme mycorhize.

Photo: Simon Egli, WSL

l'été est d'environ trois cents francs le kilo, avant Noël, c'est facilement deux à trois fois plus. Sans Miro, le chien truffier entraîné, cette délicatesse serait restée inaperçue.

Simon Egli ne s'intéresse toutefois pas seulement au tubercule, c'est-à-dire à la fructification du champignon, mais aussi au réseau souterrain largement plus vaste de filaments mycéliens autour du hêtre plus que centenaire. Celui-ci se trouve dans un petit groupe d'arbres sur une prairie, en lisière de forêt à Bir-mensdorf. La station – son emplacement exact est secret – fait partie d'un réseau de surveillance européen des truffes, grâce auquel les scientifiques espèrent en apprendre plus sur la biologie de cette espèce de champignon – et sur la façon dont les arbres sont connectés entre eux sous terre.

En effet, les filaments mycéliens forment dans le système racinaire un «Wood Wide Web» qui relie les arbres à une communauté – non seulement dans le proche voisinage, mais aussi sur des dizaines, voire des centaines de mètres, et au-delà des barrières entre les espèces. Petit à petit – grâce à des méthodes génétiques –, la recherche commence à saisir ce qui se passe dans le sous-sol de la forêt.

À l'image de nombreux autres champignons forestiers réputés comme le cèpe ou la chanterelle, la truffe est aussi un champignon mycorhizien, c'est-à-dire un champignon symbiotique. Cela signifie que l'arbre et le champignon profitent l'un de l'autre: le champignon alimente l'arbre en éléments nutritifs et en eau, et reçoit en échange du carbone sous forme de sucre. Les filaments mycéliens enrobent l'extrémité de la racine, poussent entre les cellules racinaires et y constituent le réseau de Hartig où a lieu l'échange de nutriments. Les champignons agrandissent ainsi jusqu'à cent fois la dimension du système racinaire



Miro est en quête de truffes pour Simon Egli, chercheur. Des chiens de chasse de type braque sont particulièrement adaptés car ils ont un flair très aiguisé.

Photo: Gottardo Pestalozzi, WSL

des arbres. 90 % de l'ensemble des plantes vivent en symbiose avec les champignons mycorhiziens, plus de cent espèces de champignons étant parfois présentes sur un seul arbre.

Du sucre pour la relève

Dans les années 1980, les biologistes ont découvert à leur grande surprise que les arbres forestiers échangeaient du sucre entre eux à l'intérieur du système racinaire. Une nouvelle technique qui permet de marquer les molécules de carbone et de les faire apparaître en petites quantités contribua à cette découverte. Aujourd'hui, on sait que jusqu'à 30 % du sucre produit par un arbre sont acheminés jusqu'aux champignons. Des études indiquent que les arbres envoient même du sucre de façon ciblée à leurs graines via le réseau fongique. «Cela peut être considéré comme une sorte de soins au couvain chez les arbres», explique Martina Peter, biologiste et cheffe du groupe de recherche Mycorhizes au WSL.

Le réseau de surveillance des truffes sous la direction du WSL doit clarifier la façon dont est structurée la bourse d'échange souterraine entre arbres et champignons. Depuis 2011, quatorze chasseurs de truffes volontaires, accompagnés de leur chien, quadrillent toutes les trois semaines 26 stations au total en Suisse, en Allemagne, en Hongrie et en Grande-Bretagne. Ils pèsent les truffes détectées – jusqu'à 50 par station –, notent leur nombre et leur degré de maturité, et en envoient une lamelle au laboratoire du WSL sur les mycorhizes pour une analyse génétique. Ils ont le droit de garder le reste.

Dès que Miro a découvert une truffe – et reçu un bout de saucisse en récompense –, Simon Egli enfonce une cheville orange en plastique dans le sol comme élément de marquage. Sur le tronc de l'arbre sont installés des appa-



Le tubercule est seulement la fructification du champignon. Il a choisi ici un endroit tout à fait particulier pour pousser.

reils dans des boîtes blanches en plastique, lesquels mesurent l'humidité et la température du sol en continu, ainsi que la croissance de l'arbre. «Nous ne savons encore presque rien sur la dynamique de croissance des truffes», explique S. Egli. «Nous souhaitons la comprendre et la mettre en relation avec la croissance des arbres.»

Recherche en communication dans le laboratoire génétique

Les truffes trouvées proviennent-elles toutes du même champignon ou chaque arbre compte-t-il plusieurs individus? Seules les analyses génétiques permettent de le préciser. C'est la raison pour laquelle Martina Peter extrait de l'ADN des lamelles de truffes dans le laboratoire, et identifie les individus grâce à leur empreinte génétique. Dans une station du réseau de truffes située dans le sud de l'Allemagne, un travail de bachelor a mis pour la première fois en lumière les enchevêtrements souterrains: un individu fongique a relié trois chênes, un épicéa, un bouleau et un charme sur plus de vingt mètres; un autre champignon a connecté un chêne à un charme. «Plusieurs individus peuvent aussi se partager un arbre et parcourir des distances supérieures à cent mètres», explique M. Peter.

Dans le détail, la structure du Web des racines demeure encore un mystère. Les chercheurs du WSL se concentrent actuellement sur elle lors d'autres expériences sur le terrain et en serre. Depuis deux ans, des pousses de diverses essences indigènes ainsi que du douglas, espèce non autochtone, prospèrent dans des bacs à fleurs présents sur le site du WSL. Les scientifiques appliquent du gaz carbonique dans ces pousses afin de vérifier si les douglas sont aussi bien connectés à l'Internet souterrain que les autres arbres – et si la sécheresse a un impact sur les liaisons fongiques.

M. Peter s'attaque également déjà à la transmission d'informations dans le «Wood Wide Web»: ses études révèlent que dans les racines qui vivent en symbiose avec les champignons, certains gènes sont plus fortement activés pour le transport du carbone. Le champignon semble ainsi «convaincre» véritablement l'arbre de lui donner du sucre: «Cela démontre que dans l'Internet de la forêt, le champignon est non seulement un câble mais aussi une interface et un lieu de filtrage actifs», indique M. Peter.

Aujourd'hui, on sait également que via le réseau fongique, les arbres échangent de petites molécules messagères grâce auxquelles ils s'informent les uns les autres et peuvent même apparemment s'avertir de la présence de ravageurs: des études d'autres chercheurs ont démontré que les arbres «remarquent» quand les feuilles de leurs voisins sont infestées de pucerons. Ils commencent à produire des anticorps avant que leurs propres feuilles ne soient colonisées.

Miro a entre-temps trouvé tous les tubercules de truffes et se délecte de la terre sillonnée de filaments mycéliens parfumés. Si la recherche de truffes ne dépendait pas d'un flair aussi aiguë que le sien, le réseau de surveillance pourrait tout à fait être bien plus grand: «La truffe de Bourgogne est plus fréquente qu'on ne le pensait», indique Simon Egli. Malgré sa réputation d'exclusivité culinaire, elle est largement répandue dans les hêtraies mélangées au sol calcaire – en Suisse, dans le Jura et sur le Plateau par exemple. «Sa vaste répartition en fait un champignon important pour notre recherche sur les mycorhizes.» (*bki*)

Pour en savoir plus
sur les mycorhizes
(en anglais):
[www.wsl.ch/
mycorrhiza](http://www.wsl.ch/mycorrhiza)

A full-page photograph of a man, Pierre Huguenin, standing on a snowy mountain slope. He is wearing a black ski jacket, black pants, and a large green backpack. He is holding ski poles and smiling at the camera. The background shows a vast, snow-covered mountain landscape with some evergreen trees on the left and bare branches on the right.

Pierre Huguenin, Sion

«Pour moi, le site de recherche du SLF sur les avalanches dans la Vallée de la Sionne n'est pas seulement un lieu de travail, mais aussi de détente. J'aime également y venir le week-end avec ma famille, pour profiter de la nature. La vue sur les montagnes avoisinantes est magnifique.»

DÉCLENCHER DES AVALANCHES DE FAÇON CONTRÔLÉE

Pierre Huguenin, ingénieur et guide de montagne, dirige le site du WSL à Sion. Il est responsable du site expérimental de la Vallée de la Sionne, près d'Arbaz (VS), où des avalanches spontanées sont mesurées, et des expériences sur la dynamique des avalanches effectuées. Il est de sur-

croît en étroite contact avec les autorités valaisannes, répond aux demandes des médias, et analyse les données pour des projets de recherche. Ce large éventail de tâches lui plaît: «L'alternance entre travail de bureau et sur le terrain est très stimulante».

FORÊT Des images satellite permettent d'obtenir un aperçu rapide des chablis dans toute la Suisse



Jusqu'à présent, les dégâts causés en forêt ont été identifiés depuis le sol.

Vous souvenez-vous de «Burglind»? Les 2 et 3 janvier 2018, cette dépression s'est accompagnée de violentes rafales de vent pouvant atteindre 201 km/h, et elle a abattu ou brisé des dizaines de milliers d'arbres dans le pays. Environ deux semaines après ces dégâts importants, la Confédération a voulu une estimation des volumes de bois concernés, ce que des forestiers ont fait pour toutes les parcelles de forêt affectées par ces dégâts en Suisse. Chaque canton a ensuite signalé les volumes de bois cumulés à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Quelque 1,3 million de mètres cubes de bois au sol ont été ainsi recensés, ce qui équivaut à un quart environ de l'exploitation moyenne annuelle de bois, le Tessin seul étant épargné.

Des chercheurs du WSL se sont demandé si l'analyse des images satellite ne pouvait pas donner un premier aperçu plus rapide et moins onéreux. Aux côtés de spécialistes des Remote Sensing Laboratories de l'Université de Zurich, ils se sont procuré des images du couple de satellites Sentinel-1 qui balaient la surface de la Terre à l'aide d'un capteur radar. Par la suite, ils ont comparé grâce à un logiciel des images prises avant et après la tempête. Les premiers résultats se sont avérés décevants. «Dans certaines zones, les chablis étaient représentés de façon réaliste, mais pas dans d'autres. Cela est lié avant tout à la topographie complexe de la Suisse», explique Marius Rüetschi du groupe Télédétection du WSL. Autre problème: la neige. En

effet, le logiciel identifiait rarement comme chablis le bois au sol recouvert de neige.

Les spécialistes réussirent toutefois à maîtriser les incertitudes méthodiques et techniques. En collaboration avec certains cantons, ils observèrent les surfaces de chablis sur le terrain et les comparèrent avec l'évaluation des images satellite. Résultat: le programme informatique reconnut bien avec précision les forêts balayées à vaste échelle par la tempête, mais beaucoup moins les petits groupes d'arbres renversés.

«Avec cette technologie, nous

sommes sur un chemin très prometteur», déclare M. Rüetschi, «même si les facteurs qui influent sur l'exactitude de telles analyses sont plus nombreux qu'on ne le pensait». Il envisage ainsi l'avenir avec confiance: «Tout ce dont on a besoin désormais, c'est d'une autre tempête», conclut-il avec humour. (rlä)

www.wsl.ch/chablis

FORÊT Quand un simple nombre aide à objectiver la discussion forêt-gibier

Les ongulés sauvages, à l'image des cerfs, des chevreuils et des chamois, se nourrissent l'hiver de bourgeons, d'aiguilles et de pousses de jeunes arbres. Cet abrouissement peut entraver le rajeunissement de la forêt. Le «pourcentage d'abrouissement» permet de mesurer la proportion d'arbres abrouïs par rapport à celle d'arbres épargnés dans une zone définie. Lorsque le nombre de plantes augmente ou que celui des ongulés baisse, la proportion des plantes abrouïes diminue. La nouvelle Notice pour le praticien du WSL «Le pourcentage d'abrouissement – valeur de référence pour la gestion du gibier» présente l'application de ce paramètre facilement mesurable. Celui-ci permet de déterminer la charge due à l'abrouissement dans une zone et de vérifier si les mesures prises restent efficaces au fil des années. Étant donné que non seulement les forestiers, mais aussi les chasseurs et les autres utilisateurs de la forêt



L'hiver, les chamois dévorent entre autres les jeunes pousses des arbres.

peuvent influencer sur le pourcentage d'abrouissement, cette démarche contribue à l'objectivisation des discussions «forêt-gibier». La Notice existe en français et en allemand, elle est disponible sous forme de PDF sur le site Internet du WSL. (mmo)

www.wsl.ch/notice-abrouissement

Protection des terres agricoles: la Suisse a besoin de meilleures données pédologiques

La crainte que la Suisse ne manque de denrées alimentaires en période de crise constitue actuellement pour les terres arables leur meilleur rempart contre les excavatrices et les grues de chantier. Le plan sectoriel des surfaces d'assolement (SDA), qui date de 1992, prescrit la protection de 438 460 hectares de terres cultivables en vue de garantir la «sécurité alimentaire en cas de crise». Soit un dixième de la surface du pays environ.

Ce plan sectoriel est contraignant au niveau fédéral. La surface des terres agricoles à conserver est répartie entre les cantons. «C'est un concept de qualité», estime Silvia Tobias du groupe de recherche du WSL Systèmes d'utilisation du territoire. Elle est co-auteur du rapport du WSL «Instruments pour la protection des terres agricoles: une comparaison entre la Suisse et une sélection de pays européens».

Grâce à cette réglementation, la Suisse ne s'en sort pas mal du tout au niveau international

en matière de conservation des sols les plus fertiles. La plupart des autres pays étudiés ont eux aussi reconnu la nécessité de freiner de façon urgente la perte des terres cultivées, tout en procédant, selon le rapport, de façon différente. Tandis que la Suisse se concentre sur la production alimentaire, on mise ailleurs sur la conservation d'espaces verts avec diverses fonctions telles que l'agriculture, la protection de la nature ou les activités de loisirs, notamment autour des villes. Les «Green Belts» britanniques en sont des exemples.

Les sols fournissent de nombreuses prestations

À proximité des villes, les sols fertiles sont particulièrement sous pression. «La croissance des villes s'est faite sur les meilleurs sols», déclare S. Tobias. Des raisons historiques expliquent ce phénomène: les personnes s'installent sur les terres les plus productives. Celles-ci ont



vu naître peu à peu des villages, puis des villes qui n'ont cessé de grignoter les zones agricoles.

Or les terres agricoles représentent largement plus que des surfaces arables destinées à la production d'aliments: elles filtrent l'eau potable, protègent contre les crues et l'érosion des sols, abritent des espèces rares et servent d'espace de détente. Le plan sectoriel suisse met la fonction de production clairement au premier plan, mais d'autres prestations du sol – protection de la nature et des eaux par exemple – sont aussi prises en compte pour l'aménagement du territoire dans certains Länder allemands. Ce système permet une planification plus flexible, explique S. Tobias: on peut non seulement choisir entre terres arables et construction de maisons, mais aussi entre différentes prestations du sol.

Absence de cartes des sols à vaste échelle

Pour peser les intérêts, il faut à la base des cartes des propriétés du sol couvrant toute la surface à haute résolution. Or, une telle cartographie fait justement défaut dans une Suisse mesurée pourtant sous toutes les couvertures. «Il manque une véritable prise de conscience de l'im-

portance des sols au sein de la population, et aussi des autorités», pense Frank Hagedorn du groupe de recherche Biogéochimie du WSL. Il a dirigé le projet partiel «Sol et environnement» du Programme national de recherche PNR 68 «Utilisation durable de la ressource sol». L'une des recommandations de la Confédération consiste à cartographier les sols suisses à l'échelle nationale et à les analyser de façon homogène.

Le groupe d'experts qui accompagne l'actualisation en cours du plan sectoriel des surfaces d'assolement, et dont fait aussi partie Silvia Tobias, va dans le même sens. S. Tobias recommande également de prendre en compte d'autres fonctions du sol telles que la protection de la nature ou les activités de loisirs, et de conférer aux surfaces d'assolement le même statut de protection que celui dont bénéficie la forêt: en cas de destruction de parcelles forestières, d'autres surfaces doivent être reboisées. «Le même principe devrait s'appliquer aux terres agricoles», conclut S. Tobias. *(bki)*

Les terres destinées à l'agriculture sont bien protégées en Suisse. Mais d'autres fonctions du sol comme la protection de la nature et des eaux sont rarement prises en considération.



PAYSAGE Régions où la biomasse est source d'énergie supplémentaire

La biomasse, c'est bien plus que du bois et du fumier grâce auxquels, depuis des siècles, l'être humain produit de la chaleur et cuit ses aliments. Ce terme générique englobe aussi la sciure, le produit de la fauche des talus routiers et ferroviaires, les déchets biologiques issus de l'industrie ou du commerce, et les boues d'épuration. Des études du WSL le montrent: la biomasse – bois de forêt et engrais de ferme, fumier ou lisier notamment –, recèle beaucoup d'énergie renouvelable. Utiliser celle-ci, cela signifie émettre moins de gaz à effet de serre comme le méthane, nocifs pour le climat. Environ 9 % de la consommation énergétique brute en Suisse pourraient ainsi être couverts. Par rapport à l'énergie éolienne ou solaire, la bioénergie a un avantage: pouvoir être produite à tout moment, et pas seulement quand le vent souffle ou que le soleil brille.

À ce jour on ignorait pour chaque commune suisse la quantité de biomasse disponible de façon durable à des fins énergétiques. Pour y remédier, les chercheurs du WSL ont établi la quantité régulièrement mise à disposition pour chaque type de biomasse. Ils ont utilisé des indicateurs sociétaux et économiques comme l'emploi et les revenus dans les communes, ou les résultats du vote sur la Stratégie énergétique 2050. La connaissance de ces quantités aide à évaluer les chances de réalisation des projets bioénergétiques.

Hotspots de biomasse sur le Plateau et dans les villes

«Nos résultats montrent pour la première fois quelles régions ont le plus

grand potentiel d'exploitation supplémentaire de la biomasse», déclare Vanessa Burg du WSL. L'étude indique les hotspots, c'est-à-dire les régions présentant une quantité particulièrement élevée d'un type de biomasse, voire de plusieurs. Certaines zones comptent ainsi beaucoup de bois de forêt, d'engrais de ferme ou de boues d'épuration. La plupart des hotspots se situent sur le Plateau, notamment dans les cantons de Zurich, Berne et Vaud. Ceux-ci comptabilisent en effet de nombreuses exploitations agricoles où sont produites des quantités élevées d'engrais de ferme. Villes et agglomérations font de plus partie des hotspots, des volumes importants de biodéchets et de boues d'épuration y étant produits dans un espace restreint. En revanche, selon cette étude, les régions alpines sont dépourvues de hotspots de biomasse: même si on y trouve des réserves considérables – de bois de forêt par exemple –, la récolte et le transport nécessiteraient des coûts très élevés.

Les potentiels de biomasse établis sont enregistrés dans un système d'information géographique (SIG), et doivent être rendus accessibles via Internet. «Pour une commune, c'est une base pour prendre des décisions de qualité permettant de savoir si la biomasse sera source d'énergie supplémentaire ou non», précise Vanessa Burg.

(rlä)

Laurens Perseus, Davos

«Depuis mon enfance, je passe tous mes moments de libre dans le snowpark sur le Jakobshorn. Malgré de nombreuses blessures, je suis toujours remonté juste après sur mon snowboard. Mon objectif: réussir un 'backside double cork 1080'. Tu tournes alors deux fois la tête en bas et trois fois sur toi-même.»



DÉVELOPPER DES APPAREILS POUR LES MESURES ET LES EXPÉRIENCES

Laurens Perseus est en troisième année d'apprentissage dans sa formation d'électronicien avec maturité professionnelle. Il s'intéresse aux notions techniques et aime autant le travail manuel que la programmation de circuits électriques.

Au SLF, il participe entre autres à la production d'un outil qui mesurera la dureté du manteau neigeux. Après la fin de son apprentissage, de nombreuses portes s'ouvriront à lui, notamment des études dans une haute école spécialisée.

La remise en eau des marais a des impacts

Depuis la lisière forestière, Ariel Bergamini regarde le marais d'Hagenmoos, un haut-marais de près de quatre hectares près de Kappel am Albis. Aux pieds du botaniste du WSL, des centaines de touffes blanches sont bercées par le vent: «La linaigrette est une habitante typique des hauts-marais», explique-t-il. «Après la renaturation et la montée subséquente du niveau de l'eau, on la trouve à nouveau plus souvent ici». Lors d'une visite dans le marais, A. Bergamini découvre, outre sept espèces de sphaignes, d'autres plantes caractéristiques telles que la canneberge et l'andromède.

Depuis 1991, le marais d'Hagenmoos fait partie des hauts-marais et

des marais de transition d'importance nationale. Il figure parmi les milliers de marais asséchés en Suisse le siècle dernier à l'aide d'un système de fossés de drainage, souvent à des fins d'exploitation de la tourbe. Après l'adoption de l'initiative de Rothenthurm en 1987, les marais étant protégés, certains furent progressivement immergés à nouveau, dont le marais d'Hagenmoos. Il reste toutefois encore beaucoup à faire.

Les sphaignes ont besoin de pieds dans l'humidité

La protection stricte des 551 hauts-marais et marais de transition présents en Suisse, doit permettre de garder intacts les quelques rares



Dans le haut-marais d'Hagenmoos (ZH), le niveau de l'eau s'est élevé après la renaturation. Dans les zones sèches en périphérie, de nombreux arbres, à l'image de l'aulne glutineux et du bouleau, parfois de l'épicéa, se développent encore.

hauts-marais, et exige que les marais asséchés soient renaturés. «Cela signifie notamment surélever suffisamment le niveau de l'eau pour que les sphaignes typiques des hauts-marais, rétentrices d'eau, aient continuellement des pieds humides», explique A. Bergamini. Une nouvelle tourbe se forme alors lentement et le marais gagne en hauteur, en moyenne un millimètre par an, soit un mètre en mille ans.

Élever le niveau d'eau est un processus qui exige beaucoup de travail et de coûts d'investissement. Il existe différents moyens de stopper l'écoulement de l'eau en dehors du marais. En bordure du marais d'Hagenmoos, un barrage en argile imperméable a été remblayé et dans les fossés existants, quelques petites digues réglables en hauteur, ont été intégrées. À d'autres endroits, les palplanches en bois ou en acier placées en travers de la direction d'écoulement empêchent la perte d'eau.

La végétation, un indicateur des tourbières caractéristiques

Dans le cadre du «Suivi des effets de la protection des biotopes en Suisse» coordonné par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), des chercheurs du WSL étudient l'évolution des marais dans toute la Suisse, y compris de ceux qui ont été renaturés. Dans de petites placettes d'échantillonnage bien signalées, ils effectuent des relevés de la fréquence des mousses, graminées et herbacées, ainsi que des arbustes et des arbres, et consignent les surfaces recouvertes par les différentes espèces végétales. Leurs valeurs indicatrices sont particulièrement importantes, en effet, elles reflètent des caractéristiques de la station telles que l'humidité, la te-

neur en nutriments, de même que la valeur du pH et le taux d'humus du substrat.

La remise en eau du marais d'Hagenmoos semble être une réussite: sphaignes et autres plantes spécialisées des hauts-marais sont en



La canneberge (*Vaccinium oxycoccos*) pousse le plus souvent sur un tapis de sphaignes.

grand nombre. Dans des parties du marais, une structure de surface avec des buttes et des cuvettes s'est entretemps constituée. Il s'agit de buttes recouvertes de mousse, et légèrement plus sèches, souvent séparées par des zones plus basses remplies d'eau. «Il faudra toutefois s'armer de patience pour qu'un haut-marais asséché puisse retrouver son nom d'origine», explique A. Bergamini. «Quinze ans après ma dernière visite, je constate aujourd'hui dans le marais d'Hagenmoos que les sphaignes se sont bien développées. Ce marais est apparemment sur la bonne voie», se réjouit-il. (rlä)

www.wsl.ch/protection-biotopes

BIODIVERSITÉ Premier «recensement» des fourmis et des fourmilières dans la Suisse entière



Fourmilière construite à partir d'aiguilles de pin dans le Mürtschental (GL), à environ 1500 m d'altitude.

En Suisse, les habitats appropriés semblent être une denrée rare, tant pour les êtres humains que pour les fourmis qui vivent en colonie. C'est ce qu'indique le premier recensement des fourmilières dans tout le pays, effectué par le WSL dans le cadre du quatrième Inventaire forestier national (IFN). Pour les 6500 placettes échantillonnées, des fourmilières construites par les cinq espèces de fourmis rousses (groupe *Formica rufa*) ne furent retrouvées que sur une surface sur vingt. Par extrapolation, cela représente en Suisse environ 1,4 fourmilière par hectare de

forêt, tandis qu'il s'agit de cinq en moyenne en Europe. Le Plateau comptabilisait dix fois moins de nids que la moyenne suisse.

Il est apparu que pour construire leur fourmilière, les fourmis privilégiaient les endroits avec des résineux, le soleil du matin, une strate herbacée épaisse au sol, ainsi que des structures forestières ouvertes. Elles y trouvent en abondance des pucerons dont elles mangent principalement les déjections sucrées. Fait surprenant: les fourmis ne nécessitent pas de grandes parcelles boisées attenantes. La plupart des nids se situent à plus de 900 mètres d'altitude. «Nous commençons seulement à comprendre pourquoi le Plateau compte si peu de fourmilières», explique Anita Risch, responsable de l'étude du groupe de recherche Interactions plantes-animaux. «Je suppose que les forêts y sont plus fortement influencées par l'être humain.» C'est pourquoi les chercheurs se concentrent actuellement sur les activités humaines en forêt: «Nous évaluons à quel point la gestion des forêts, la desserte ou les habitudes de loisirs influent sur la répartition des fourmis», déclare A. Risch.

Il est encore trop tôt pour dire si le nombre de fourmilières augmente ou diminue. «Jusque-là, on ne disposait que de rares informations sur leur répartition», indique Beat Wermelinger, entomologiste au WSL. Une première: le recensement fournit désormais des bases de données fiables pour suivre l'évolution future des fourmis.

(bki)

DANGERS NATURELS Une connaissance précise de la situation aide à avertir la population à temps de la survenue de dangers naturels

Crues, laves torrentielles, chutes de pierres ou avalanches: en tant que pays alpin densément peuplé, la Suisse est particulièrement exposée aux dangers naturels. Pour que les responsables de la sécurité auprès de la Confédération, des cantons et des communes puissent alerter la population de la survenue de dangers naturels et prendre rapidement des mesures, ils ont besoin d'un accès rapide et simple aux données de mesure et aux prévisions. La «plate-forme commune d'information sur les dangers naturels GIN» met ces informations de façon centralisée à la disposition des spécialistes via un portail Internet. GIN est un produit commun de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), de MétéoSuisse, du Service sismologique suisse SSS et du

SLF qui a aussi programmé les applications Web.

De la force du vent aux hauteurs de neige en passant par les niveaux d'eau, plus de cent valeurs de mesure issues de plus de 700 stations de mesure automatiques sont actualisées toutes les minutes. Toutes les données et prévisions des services spécialisés peuvent être combinées entre elles. Au printemps, les spécialistes peuvent par exemple obtenir une représentation cartographique des débits actuels, ainsi que des quantités de neige et des prévisions de précipitations. Ces dernières années, le SLF a remanié le portail afin d'en renforcer la convivialité et d'intégrer les expériences issues de la pratique. Matthias Gerber, chef de l'équipe de développeurs du SLF: «Les trois années à



Les événements extrêmes à l'image des tempêtes peuvent causer d'importants dégâts. En vue d'une bonne maîtrise des dangers naturels, les services spécialisés de la Confédération travaillent étroitement ensemble.



Une alerte précoce permettra de prendre les mesures appropriées et d'éviter des dégâts.

venir, une prochaine étape consistera dans le développement d'une appli mobile. Étant donné que dans le domaine des dangers naturels, beaucoup de choses se passent à l'extérieur, les spécialistes doivent aussi

avoir accès au portail lorsqu'ils sont en déplacement.»

Lors du «Best of Swiss Web Award», qui récompense les meilleurs projets numériques de Suisse, le GIN a été plusieurs fois lauréat en 2018. Le jury a été d'avis que le projet représentait un excellent exemple de collaboration réussie entre les différents offices en matière de cyber-administration. Le grand public peut s'informer sur la situation actuelle des dangers naturels via la plateforme d'informations www.dangers-naturels.ch. (sni)

www.slf.ch/gin-fr

DANGERS NATURELS Dilemme éthique en cas d'avalanche: qui dois-je sauver en premier?

Trois randonneurs se préparent à attaquer la descente de la pente sommitale. Lorsque le dernier veut prendre son élan, une avalanche de plaque de neige se déclenche. Les deux premiers sont emportés par l'avalanche et complètement ensevelis. Le troisième, indemne, part tout de suite à leur recherche. Il retrouve vite la première victime grâce à son détecteur de victimes d'avalanches, et la dégage. Mais celle-ci ne présente aucun signe de vie. À l'aide de massages cardiaques et de respiration artificielle, il tente de la ranimer – en vain. Les minutes passent, tandis que la deuxième victime est toujours ensevelie. Que doit faire le sauveteur? Poursuivre la réanimation de la première? Ou dégager la deuxième, ensevelie, avant qu'il ne soit trop tard?

Cet exemple fictif illustre le dilemme auquel les sauveteurs sont confrontés lorsqu'ils ne peuvent sau-

ver toutes les victimes d'un accident d'avalanche en même temps. «De telles situations, bien que rares, se produisent toutefois de temps en temps», précise Jürg Schweizer, Directeur du SLF et chef de l'Unité de recherche Avalanches et prévention. D'où la question souvent posée lors de cours de formation sur le sauvetage en cas d'avalanche: quel est le meilleur comportement à adopter en pareilles circonstances?

Selon la recommandation officielle de la Commission Internationale du Sauvetage Alpin (CISA), en cas d'accident d'avalanche, les victimes qui ne présentent plus de signe de vie doivent être réanimées pendant au moins 20 minutes. «Mais si une deuxième personne est ensevelie, ses chances de survie baissent de façon dramatique», explique J. Schweizer. Quand stopper ainsi la réanimation de la première victime et commencer la recherche de la

deuxième afin d'augmenter les chances de survie des deux?

C'est exactement la question qui préoccupe depuis longtemps Manuel Genswein, spécialiste suisse en sauvetage en cas d'avalanches. En collaboration avec d'autres chercheurs en avalanches et des urgentistes, Jürg Schweizer a essayé de trouver, par une étude, une solution pour le scénario décrit ci-dessus, qui implique deux personnes ensevelies et un sauveteur. Comme aucune donnée issue de cas pratiques n'est disponible, ils ont effectué une simulation de Monte Carlo à l'ordinateur – démarche absolument nouvelle en médecine d'urgence. Est ainsi défini, à l'aide d'un calcul de probabilités, le meilleur moment pour passer de la réanimation de la première victime au dégagement de la deuxième. Comme base pour cette simulation, les chercheurs ont utilisé des données existantes sur la probabilité de survie de personnes ensevelies, et sur l'état de santé de patients ayant été réanimés pendant des périodes plus ou moins longues après arrêt cardiaque.

Repenser la recommandation actuelle

Il s'avère que c'est après une réanimation de quelques minutes de la première victime, suivie aussitôt de la recherche de la deuxième, que la probabilité de survie des deux est la plus élevée. «Cela signifie qu'une réanimation de 20 minutes telle qu'elle est recommandée officiellement, est trop longue dans ce cas», indique J. Schweizer. Il conseille ainsi d'élaborer de nouvelles recommandations. D'autres études et de meilleures données médicales sont néanmoins nécessaires afin de confirmer l'étude actuelle.

«Procéder à un triage dans une situation d'urgence est bien sûr toujours délicat du point de vue éthique», déclare J. Schweizer. Il est toutefois impératif de prendre des décisions et celles-ci devraient être les meilleures possibles. On applique déjà le prin-



Lors d'accidents d'avalanche, il faut dégager les victimes et leur appliquer de premiers soins le plus vite possible afin qu'elles aient des chances de survie.

cipe de l'optimisation des chances de survie lorsque plusieurs sauveteurs recherchent une personne ensevelie à l'aide de sondes. Rapidité et précision doivent alors s'équilibrer pour que les chances de retrouver la victime en vie soient les plus grandes possibles.

(cho)

NEIGE ET GLACE Économiser les ressources lors de l'enneigement et de la préparation des pistes

Dès qu'il fait assez froid l'automne, lances et canons à neige se mettent en marche. Au plus tard à Noël, chaque domaine de sports d'hiver veut ouvrir toutes ses pistes aux visiteurs, que la météo suive ou pas. Toutefois, eau et énergie sont souvent gaspillées: le foehn fait fondre les stocks de neige, le vent repousse la neige pendant la production. Ou l'on en produit plus que nécessaire. Les pertes sont estimées à environ 30 % – au niveau financier également.

C'est là qu'intervient le projet européen PROSNOW, lancé en 2017. Pirmin Ebner en assure la direction au SLF et explique: «À l'avenir, les domaines de sports d'hiver devront savoir quel temps escompter sur trois, quatre semaines. Ils pourront ensuite utiliser ces informations pour produire la neige.» Dès 2020, un portail

Internet soutiendra les domaines skiables participants – en Suisse, il s'agit de Lenzerheide-Arosa – lors de la gestion de la neige. À cet effet, P. Ebner élargit les programmes de simulation du manteau neigeux du SLF, SNOWPACK et Alpine3D. En effet, les pistes préparées et les tas de neige technique ne réagissent pas comme la neige naturelle aux conditions météorologiques. Sans oublier non plus les spécificités locales: l'ombre projetée par un flanc de montagne escarpé peut apporter la différence de température décisive. (bio)

prosnow.org



La neige technique coûte de l'eau, de l'énergie et de l'argent. Seule la quantité nécessaire devra ainsi être produite.

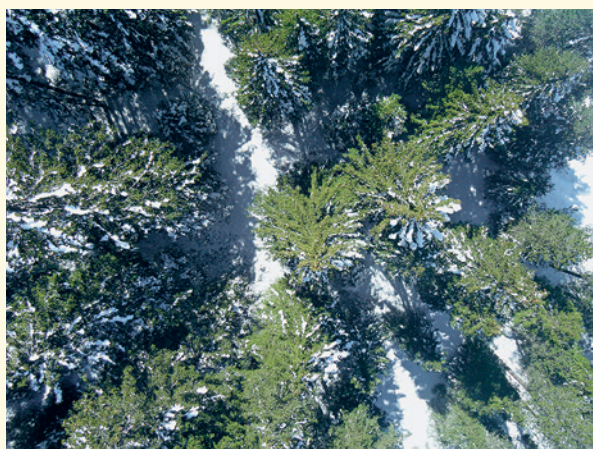
NEIGE ET GLACE Neige scintillante sur épicéas verts: influence des forêts enneigées sur le climat

Les forêts de résineux à feuillage persistant absorbent beaucoup de rayonnement solaire du fait de leur couleur sombre, ce qui réchauffe l'atmosphère terrestre. Mais si en hiver les branches ou le sol forestier sont recouverts de neige, ceux-ci reflètent le rayonnement. Afin de modéliser les conditions météorologiques et climatiques avec justesse, ces fluctuations du rayonnement doivent être prises en considération. Or à ce jour, on ne savait ni l'ampleur des variations ni de quoi elles dépendaient exactement faute de données de mesure précises.

Pour remédier à ce manque, des chercheurs du groupe Hydrologie nivale du SLF ont eu recours à un drone équipé de capteurs de rayonnement. Durant plusieurs jours au cours des hivers 2016/17 et 2017/18, ils ont fait survoler à ce drone une forêt d'épicéas près de Davos. Dans plusieurs stations différentes, le capteur a mesuré le pourcentage de rayonnement incident reflété depuis le sol. «Nous avons pu ainsi mettre surtout en évidence les différences à petite échelle», indique Tobias Jonas, chef du groupe.

Le rôle joué par la densité de la forêt

Résultat: lorsque la forêt était dense, la neige qui recouvrait les arbres a provoqué une forte augmentation du rayonnement, jusqu'à 30 %. «Nous ignorions jusque-là que l'impact était si grand», souligne T. Jonas. L'ombre des arbres avait l'effet inverse, notamment dans une forêt clairsemée: lorsque le soleil était bas, les ombres assombrissaient une grande partie du sol forestier recouvert de neige, ce qui



La même parcelle de forêt deux journées d'hiver différentes: la neige, l'ombre et la densité du peuplement forestier ont une grande influence sur la quantité de rayonnement solaire réfléchi.

réduisait alors le rayonnement réfléchi jusqu'à 30 %.

«Ces interrelations devraient à l'avenir être prises en compte dans les modélisations afin de représenter l'influence de la neige dans les forêts de façon plus réaliste», explique T. Jonas. Lui et son équipe vont dans cette optique collecter d'autres données de mesure qui leur permettront de développer des modèles à haute résolution sur la fonte des neiges, ainsi que des modèles climatiques plus précis.

(cho)

Martina Hobi, Birmensdorf

«Pour mes baignades en rivière l'été, j'emprunte le viaduc du Letten à Zurich. J'habite tout près et apprécie beaucoup que l'on puisse se baigner en ville dans un site si proche de la nature. L'hiver, je viens aussi souvent me promener par ici.»



QUE SE PASSE-T-IL DANS LA FORÊT PRIMAIRE?

Martina Hobi étudie les différences entre les forêts exploitées et celles qui ne le sont pas. Comme la Suisse ne compte pas de forêts primaires étendues, Martina voyage aussi en Ukraine. Celle-ci comporte encore d'immenses hêtraies intactes. À partir des processus natu-

rels dans la forêt primaire et les réserves forestières naturelles, Martina déduit avec son équipe des valeurs de référence pour une sylviculture proche de la nature. «Je suis fascinée par la beauté des forêts qui se développent sans l'être humain.»



La biodiversité, c'est plus que la somme des différentes fleurs ou des différents insectes, par exemple dans une prairie fleurie. C'est la diversité des gènes, des espèces et des habitats, et elle inclut les interactions non seulement entre ces trois niveaux, mais aussi à l'intérieur d'entre eux. La biodiversité nous garantit un accès à la nourriture et à l'eau propre, et elle assure une adaptation des écosystèmes aux conditions environnementales changeantes. Mais la diversité est menacée, tant à l'échelle planétaire qu'en Suisse: le nombre d'espèces se réduit comme peau de chagrin, les habitats précieux à l'image des marais et des prairies sèches disparaissent à vue d'œil. Les principaux responsables en sont les modifications dans l'utilisation du territoire et le changement climatique. Des chercheurs du WSL étudient l'état et l'évolution de la biodiversité à tous les niveaux, et ils contribuent, à l'aide de bases scientifiques, à la préservation de la diversité – pour notre bien à tous.

SERVICE D'ABONNEMENT

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

Textes:
Lisa Bose (lbo), Claudia Hoffmann
(cho), Beate Kittl (bki), Reinhard Lässig
(rlä), Martin Moritz (mmo), Sara
Niedermann (sni), Birgit Ottmer (bio)

Direction rédactionnelle:
Lisa Bose, Claudia Hoffmann;
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

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
2018: Magazine du WSL Diagonale,
2/18. 36 p. ISSN 2296-3596

PERSONNES



L'équipe de rédaction du WSL, de
gauche à droite; en haut: Sandra
Gurzeler, Birgit Ottmer, Beate Kittl,
Claudia Hoffmann; en bas: Reinhard
Lässig, Sara Niedermann, Lisa Bose

Jalon

Tige télescopique pour
compas finlandais

Boomerang pour
compas finlandais

LE SAC À DOS IFN

Serpe

Ruban de mesure
de la circonférence

Chevillière de 25 m

Chevillière de 20 m

Appareil photo

Boussole
de trépied

Compas
forestier (DHP)

Marteau

Double-mètre

Brosse
métallique

Appareil radio
de la Rega

Caméra à 360°

Smartphone

Petit GPS

Scie pliable

Couteau suisse

Carte topographique
1:25 000

Griffe

Boussole

Clisimètre

Grand GPS

Sac à dos

Guide d'identification
des arbres

Dendromètre

Altimètre

Boîte de peinture

Transpondeur pour
dendromètre

Tablette informatique

Gants
de travail

Gilet de terrain

Chevillière de 50 m

Trépied

Détecteur de métaux

Pharmacie de terrain

Les collaborateurs du WSL procèdent actuellement au relevé des données pour le cinquième Inventaire forestier national (IFN) dans la forêt suisse. Sur les placettes d'échantillonnage de l'IFN, ils mesurent des arbres, décrivent le peuplement forestier et évaluent les conditions de la station. Dans un sac à dos, ils transportent, vers les placettes d'échantillonnage parfois difficiles d'accès, tous les appareils et outils dont ils ont besoin. Plusieurs appareils GPS, un dendromètre et un compas finlandais font entre autres partie du matériel. Ce dernier permet de mesurer le diamètre de l'arbre à sept mètres de hauteur. Avec le diamètre à 1,3 m de hauteur et la taille, il est possible de calculer le volume de l'arbre.

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





Dangers naturels: alerter plus rapidement grâce à une plate-forme commune, p. 29



Protection des terres agricoles: la Suisse a besoin de meilleures données pédologiques, p. 22

SITES

Birmensdorf

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

Lausanne

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

Sion

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

Davos

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

Cadenazzo

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

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

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

