

# DIAGONALE

THÈME CENTRAL

# Réserves forestières: Priorité à la nature

N° 1  
17

**Fructification complète:** Pourquoi les arbres produisent-ils massivement des fruits? p. 20

**Roumanie:** Oui à des espaces sauvages, mais aucune restriction s'il vous plaît, p. 22

**Jungfraubahn:** Une expertise pour une meilleure protection contre la rupture du glacier, p. 29

## ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,  
Depuis la chute du rideau de fer, des chercheuses et chercheurs du WSL, dont le domaine de recherche est la forêt, voyagent régulièrement en Ukraine et en Bulgarie. Ils y trouvent ce qui n'existe pas en Suisse: des forêts quasi intactes qui, à l'image de nos forêts, sont essentiellement composées de hêtres ou d'épicéas. Ce voyage dans l'espace est une sorte de voyage dans le temps: il montre à quoi ressemblait la forêt avant son exploitation par l'être humain. S'agit-il d'une démarche colonialiste lorsque nos scientifiques étudient les forêts primaires de ces pays à l'économie fragile? Je ne le pense pas. Le travail se déroule de façon partenariale et grâce à cette collaboration, plusieurs jeunes chercheurs ukrainiens, les chercheurs de demain, ont notamment pu approfondir leur formation en Suisse. On le sait, la connaissance est un bien qui se multiplie par le partage. Et elle ne connaît pas de frontière, de même que la recherche ne se cantonne pas à un seul pays. Nous nous réjouissons de ce fait que l'application modérée de l'initiative contre l'immigration de masse permette à nouveau à la Suisse de participer au programme européen de recherche Horizon 2020.

Je vous souhaite une lecture passionnante!



Konrad Steffen  
Directeur du WSL



# Réserves forestières



## UNE-DEUX

Ulrich Mergner, Service des forêts bavaïses: «Je ne trouve pas judicieux de cesser d'exploiter une forêt classique pour atteindre un certain pourcentage.»

→ 10



## UNE RECHERCHE PARTENARIALE SUR LA FORÊT EST UTILE AUX DEUX PARTIES

Des études dans les forêts primaires d'Ukraine et de Bulgarie nous permettent de mieux comprendre l'évolution des forêts suisses.

→ 13



## LA QUALITÉ EST DÉCISIVE

Malgré une quantité croissante de bois mort dans les forêts suisses, près de la moitié de l'ensemble des espèces de coléoptères saproxyliques reste menacée.

→ 16



## RETOUR VERS LA FORÊT PRIMAIRE?

Que se passe-t-il si les forêts ne sont plus exploitées? La recherche dans les réserves forestières naturelles donne des réponses à cette question.

→ 2

## THÈMES-CLÉS

20 FORÊT

22 PAYSAGE

24 BIODIVERSITÉ

28 DANGERS NATURELS

32 NEIGE ET GLACE

## PORTRAITS

19 Ani Bürgin, future agente d'exploitation

27 Nora Helbig, météorologue

34 Matthias Bürgi, spécialiste en sciences de l'environnement

35 IMPRESSUM, À L'HORIZON

36 LE SCHMILBLICK: SnowMicroPen

REPORTAGE Que se passe-t-il si les forêts ne sont plus exploitées? La recherche dans les réserves forestières naturelles donne des réponses à cette question.

# Retour vers la forêt primaire?

A photograph showing two researchers in a forest. The researcher in the foreground is wearing a yellow long-sleeved shirt and a large orange and black backpack. The researcher in the background is wearing a blue cap, a red and black plaid shirt, and a green vest. They are both holding surveying equipment, including a tripod-mounted camera and a measuring pole. The forest is filled with tall, thin trees and dense undergrowth.

La boussole et le jalon permettent de mesurer précisément la position des arbres.



Des collaborateurs du WSL réalisent des inventaires dans 49 réserves forestières naturelles suisses tous les 8 à 15 ans, conformément à un protocole prédéterminé.

De grandes quantités de bois mort, sur pied ou à terre, sont caractéristiques d'une réserve forestière naturelle.

Réserve forestière naturelle de Seeliwald (OW).

Photo: Gilbert Projer, WSL

«Vous avez une autorisation de circuler?» s'enquiert, sceptique, une passante lorsque la voiture du WSL s'arrête le long de la route goudronnée qui traverse le Schlierental. Lucien Schoch, jeune civiliste vêtu de sa tenue colorée, sort de voiture: «Oui, bien sûr». Et la passante de continuer son chemin. Selon toute vraisemblance, cela fait un certain temps qu'elle n'est plus là, dans cette haute vallée idyllique en amont de Sarnen (OW), la voiture du WSL s'y garant tous les matins depuis plus de trois semaines.

Après la courte traversée d'un pâturage, L. Schoch s'enfonce dans le «Seeliwald» – une réserve forestière naturelle située dans un haut-marais, paysage qui s'est raréfié dans nos contrées. Les sphaignes molles qui constituent le sol à maints endroits sont tellement saturées d'eau que celle-ci jaillit sous les pieds. Des buissons de myrtilles aux fruits bleus abondants s'élèvent à hauteur de genou. Le pin de montagne arborant son tronc gris, la plupart du temps de petite taille, pousse partout, parfois en petit nombre, parfois densément réparti sur le sol moussu. Un grand nombre d'arbres ont dépéri, mais leurs racines leur permettent encore de tenir debout. Ce type de végétation, mais également le calme qui y règne – un silence à peine troué de quelques cris d'oiseaux –, rappellent la Scandinavie et repoussent à l'arrière-plan l'atmosphère bruyante de la ville.

### **La dynamique naturelle remplace la production de bois**

Depuis 60 ans environ, l'EPF de Zurich observe l'évolution de la forêt dans des réserves forestières naturelles à l'image du Seeliwald, forêts jadis exploitées mais aujourd'hui lais-

sées à l'état naturel sur base contractuelle. Cette protection garantit un processus de développement sans entrave de la forêt, soit la germination, la croissance, le vieillissement, le dépérissement et la décomposition des arbres sans intervention humaine. Un habitat est ainsi proposé à de nombreuses espèces animales et végétales devenues rares dans les forêts exploitées. Depuis 2007, l'EPF et le WSL dirigent le projet conjointement, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) apportant par ailleurs un précieux soutien. Le monitoring comprend désormais 49 réserves – en comparaison avec le reste de l'Europe, la Suisse dispose d'un réseau diversifié de réserves forestières naturelles relativement anciennes. Vaste de 80 ha, le Seeliwald situé à environ 1450 mètres d'altitude fait partie des grandes surfaces. Il est protégé depuis 1972, date à laquelle l'EPF a conclu un contrat avec la corporation Schwendi, propriétaire de la forêt.

Comme bien d'autres réserves créées au début, le Seeliwald s'étend sur un site peu productif. Seul le pin à crochets tolère les sols marécageux acides, pauvres en substances nutritives et humides, et il n'y prospère que très lentement. Les sols des tourbières sont de surcroît difficilement praticables par des véhicules. Ces circonstances, peu propices à la productivité forestière, ont peut-être facilité la mise sous protection de la forêt par son propriétaire, et ce d'autant plus que renoncer à l'exploitation est indemnisé financièrement. Il a toujours été difficile de délimiter comme réserves de grandes forêts sur des surfaces productives. Cela explique en partie que la proportion des surfaces des réserves forestières sur le Plateau soit la plus faible au niveau suisse (voir le graphique informatif p. 5).

## Suivre les arbres au fil du temps

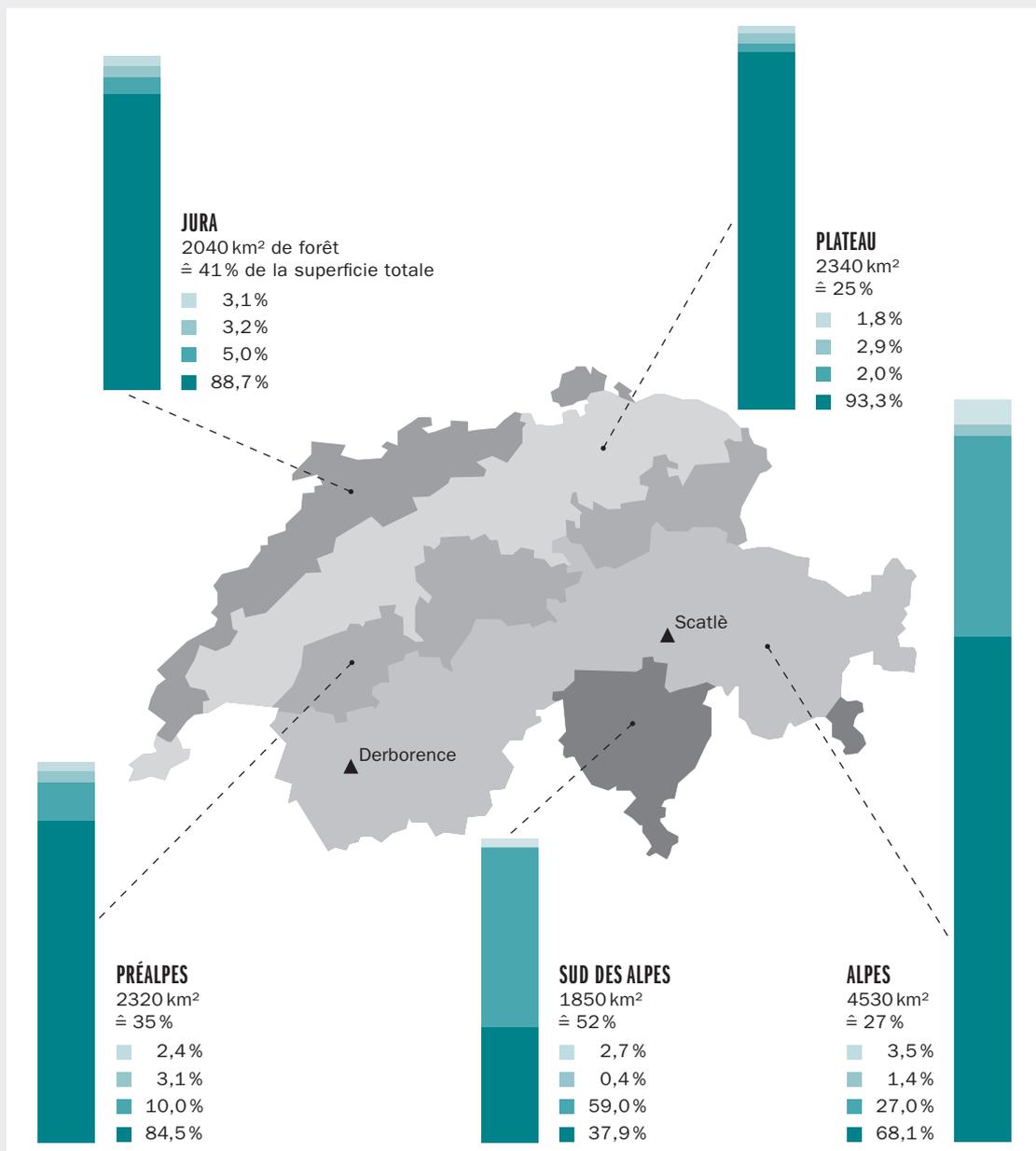
«Te voilà enfin!», crie Jonas Stillhard à Lucien Schoch, ajoutant avec un clin d'œil: «Tu t'es perdu?» Cet ingénieur en sciences de l'environnement de 33 ans et son équipe – un autre civiliste, David FitzGerald, ainsi que deux collaborateurs techniques, Gilbert Projer et Gallus Keller – sont arrivés encore plus tôt dans le Seeliwald ce matin-là. Pendant que J. Stillhard nettoie les arbres avec une brosse métallique, D. FitzGerald s'empare d'un set de tampons: «73», «85», «95» car les arbres sont marqués de numéros de couleur dès que leur diamètre dépasse 4 cm. Les arbres estampillés en bleu se situent dans l'une des six placettes permanentes d'1 ha environ. Lors de chaque inventaire de la placette permanente – dans le Seeliwald, c'est déjà le quatrième depuis la fondation de la réserve –, on suit le destin des arbres marqués dans les moindres détails. J. Stillhard: «Nous mesurons le diamètre, notons l'essence et effectuons un relevé des structures telles que les trous et les fentes qui peuvent constituer d'importants habitats pour les animaux, les champignons et les plantes.»

J. Stillhard donne la brosse métallique à L. Schoch et laisse les deux civilistes poursuivre le marquage des arbres. Il se rend ensuite dans les placettes d'échantillonnage, l'une des nouveautés introduites en 2007. Le Seeliwald compte en tout 99 de ces placettes circulaires de 500 m<sup>2</sup> chacune, ordonnées suivant une trame fixe et réparties dans toute la réserve. G. Projer et G. Keller viennent de s'attaquer à la placette d'échantillonnage 56. Ils se déplacent avec un transpondeur et un VERTEX, appareils que des arpenteurs-géomètres utilisent également pour déterminer la distance entre deux points. G. Keller in-

Pour en savoir plus sur la recherche dans les réserves forestières suisses: [www.wsl.ch/more/reservesforestieres](http://www.wsl.ch/more/reservesforestieres)

# INFOGRAPHIQUE Réserves forestières, forêts non exploitées et forêts exploitées en Suisse

En Suisse, environ 5 % des forêts sont à ce jour protégées sous forme de réserves. Au sud des Alpes et dans les Alpes notamment, un grand nombre d'autres forêts ne sont plus exploitées depuis des décennies faute de gestion rentable. Elles se développent actuellement de façon largement naturelle même si, sur le long terme, leur protection n'est pas garantie.



- ▲ Forêts primaires: Aucune trace d'exploitation antérieure du bois sur moins de 0,01% de la surface forestière suisse.
- Réserves forestières naturelles: Du fait de la renonciation complète à toute exploitation, ces zones protégées se développent de façon naturelle.
- Réserves forestières spéciales: Des interventions sylvicoles ciblées visent à promouvoir des espèces animales et végétales déterminées, ou à préserver des formes traditionnelles d'exploitation.
- Forêts non exploitées: Sur ces surfaces qui ne sont plus exploitées depuis au moins 50 ans, la forêt se développe actuellement de façon largement naturelle.
- Forêts exploitées: L'exploitation du bois est au premier plan; le type et l'intensité de l'exploitation déterminent dans quelle mesure le développement de ces forêts est proche de l'état naturel.



À l'aide d'une pince, Jonas Stillhard mesure le diamètre d'un pin de montagne.

dique à G. Projer l'arbre qu'il doit considérer. À l'aide de la pince, G. Projer mesure le diamètre à hauteur de poitrine. Grâce au VERTEX, G. Keller établit la hauteur de l'arbre, évalue son état – s'il est vivant ou mort ou encore si son houppier est fourni – et intègre directement toutes les données dans l'ordinateur de terrain. Selon un protocole prédéterminé, ils indiquent aussi la présence ou non de jeunes arbres, ainsi que la quantité de bois mort à terre dans la placette. Si l'un d'entre eux n'est pas sûr de l'évaluation, l'autre lui vient en aide – une équipe bien rodée, presque tous les jours en déplacement depuis des mois.

De temps en temps, J. Stillhard intervient aussi pour les relevés sur place, à l'image des derniers jours dans le Seeliwald. Mais le plus souvent, il est à son bureau, coordonne les travaux sur le terrain de ses collègues, ou se consacre à la base de données d'enregistrement de tous les relevés du projet de la réserve. Il travaille à l'heure actuelle au transfert dans une nouvelle base de données de toutes celles disponibles depuis 1948 et à l'élimination des erreurs. J. Stillhard: «Au fil des années, les personnes à avoir participé à ce projet sont tellement nombreuses que des erreurs sont presque inévitables.»

### **Formation d'une nouvelle forêt primaire**

De nombreux travaux de recherche ont entre-temps vu le jour grâce aux données issues du projet de réserve. L'une des études a démontré que les réserves présentaient déjà de premières caractéristiques de forêt primaire, ne serait-ce qu'une quantité de bois mort ou d'arbres à gros diamètre plus élevée que dans la forêt de production. Si cette évolution devait se poursuivre, protéger les réserves bien au delà de la durée contractuelle habituelle de 50 ans serait toutefois nécessaire. Et même alors, on n'assisterait pas à la naissance d'une forêt primaire analogue à celle marquant le paysage de son empreinte avant l'exploitation du bois car ce serait un nouveau type de forêt primaire: une forêt naturelle. Les conditions ont en effet changé: le climat se réchauffe, les grands prédateurs viennent à manquer pour réguler les effectifs croissants de gibier, et une quantité supérieure d'azote atmosphérique pénètre dans le sol forestier.

L'année dernière, une étudiante en master a étudié pour la première fois le volume de bois mort présent dans les réserves forestières de montagne dominées par des épicéas. De tels paramètres sont de précieuses valeurs de référence pour émettre des recommandations sur la quantité de bois mort nécessaire afin de promouvoir, y compris dans les forêts exploitées, les espèces qui en sont tributaires. L'année dernière est aussi paru un travail de doctorat dans lequel ont été développés, sur la base de l'immense set de données, des modèles sur la mortalité des arbres de différentes espèces. Une recherche dont profitent également les propriétaires de forêts exploitées. J. Stillhard: «Si nous voyons par exemple qu'une essence accessoire intéressante peut aussi s'imposer, en nombre suffisant et à un bon niveau de qualité, dans les réserves forestières naturelles sans mesure d'entretien coûteuse, cela bénéficie aux propriétaires de forêt dans le contexte actuel de faible prix du bois.»

Après une longue journée de terrain, G. Projer, G. Keller et J. Stillhard remballent leurs affaires – ils ont réussi à couvrir six placettes d'échantillonnage aujourd'hui. Les deux civilistes attendent déjà dans la voiture. Dans l'ensemble, l'inventaire dans le Seeliwald, qui ne sera répété que dans 10 à 20 ans, dure environ trois mois. D'ici là, ces messieurs auront passé au peigne fin près de 7000 arbres – un travail qu'aujourd'hui encore aucune technique moderne ne peut effectuer à leur place. (chu)

A photograph of a forest with a grassy slope in the foreground. The trees are tall and thin, with green foliage. The ground is covered in grass and some tree stumps. The sky is visible through the canopy.

À Amden, le WSL vérifie, en collaboration avec la Station ornithologique suisse de Sempach et le service forestier, si les mesures d'encouragement ont des répercussions positives sur les habitats et les populations du grand tétras.

Dans les réserves forestières spéciales, on intervient de manière active afin de préserver les espèces menacées. Parmi elles, figurent les espèces tributaires de forêts claires, le grand tétras notamment.



Le grand tétras a besoin de place pour voler, il n'aime pas les arbres trop proches les uns des autres. Les percées dans la forêt lui facilitent l'accès aux arbres où il peut se percher et dormir.

Les peuplements forestiers éclaircis laissent pénétrer beaucoup de lumière jusqu'au sol. Cela favorise les myrtilles qui viennent compléter l'alimentation du grand tétras en été.

Mesures de revalorisation de l'habitat du grand tétras dans la réserve forestière spéciale d'Amden (SG).

# UNE-DEUX **Protection et exploitation sont synonymes de biodiversité élevée.** Les réserves forestières proposent un habitat aux espèces animales et végétales menacées, mais les forêts de production peuvent aussi abriter une biodiversité élevée. Entretien avec Kurt Bollmann, WSL, et Ulrich Mergner, Service des forêts bavarois.

**Dans les réserves forestières, la forêt est protégée sur base contractuelle. D'ici à 2030, elles doivent représenter 10 % de la surface forestière suisse. Que dites-vous de ces exigences?**

**UM:** Pour la biodiversité, peu importe qu'il s'agisse de 5, 8 ou 10 %. Ce qui est déterminant, ce sont les structures d'habitat - cavités d'arbre, écorces fendues ou branches mortes par exemple – qui proposent un milieu de vie à nombre d'espèces. Je ne trouve pas judicieux de cesser d'exploiter une forêt classique pour atteindre un certain pourcentage. Dans notre exploitation forestière du Steigerwald, nous avons délimité des surfaces où l'on note une concentration d'arbres dotés de structures d'habitat. Avec plus de 200 passerelles biologiques, 10 arbres-habitat par hectare, et les réserves forestières, nous arrivons à environ 12 % de surface non exploitée.

**KB:** Le nombre est justifié politiquement, mais non scientifiquement fondé. Au début, on a trop marchandé les pourcentages et trop délaissé les contenus. Pour préserver la biodiversité il faut, en plus de structures et de modes d'exploitation diversifiés, des processus naturels tels que les tempêtes, les incendies de forêt ou les inondations. De nouveaux habitats se constituent alors, susceptibles de faire resurgir certaines es-

pèces. Ainsi au Tessin, le ciste à feuilles de sauge peut soudainement réapparaître après un incendie. Dans un paysage exploité, des zones protégées de façon contraignante, où les processus naturels façonnent les habitats, sont donc décisives. Des populations fortes peuvent s'y développer dans des conditions de vie optimales, puis se propager.

**Dans quelle mesure les réserves forestières naturelles sont-elles véritablement naturelles?**

**UM:** Chez nous, chaque mètre carré, qu'il s'agisse de réserve forestière naturelle ou de forêt exploitée, a été coupé à ras au cours des derniers siècles. La forêt primaire a presque complètement disparu d'ici et d'Allemagne en général. Mais dans les réserves forestières naturelles, nous disposons peut-être de 60 à 70 % de l'inventaire des espèces d'une forêt primaire. C'est une sorte d'assurance-vie. En ce qui concerne les structures et les processus, ces réserves évoluent en direction des forêts primaires que j'ai observées en Roumanie et en Iran.

**Les forêts intactes sont-elles plus riches en espèces que les forêts exploitées?**

**KB:** Le taillis sous futaie apparaît par exemple à la suite d'une exploitation forestière très intensive.



Ulrich Mergner est chef d'exploitation forestière au sein du Service des forêts bavarois, dans la forêt domaniale «Steigerwald» située à proximité de Würzburg (D).



Kurt Bollmann dirige le groupe de recherche «Biologie de la conservation» au WSL.

Parmi les vieux arbres, seul un chêne est de temps en temps exploité. Des coupes rases de jeunes arbres ont lieu tous les 10 à 20 ans. La protection de la nature accueille favorablement ce type d'exploitation forestière car il propose momentanément un habitat aux espèces photophiles et thermophiles. Cet exemple démontre qu'une intensité élevée d'exploitation peut aussi se traduire par une grande richesse d'espèces sous certaines conditions.

### **Dans quelles circonstances doit-on intervenir dans une réserve forestière naturelle?**

**UM:** Aucune intervention n'a lieu dans nos réserves forestières naturelles. Les tempêtes créent occasionnellement des trouées. La plupart du temps des hêtres y croissent cependant, espèce largement dominante par rapport au chêne dont la disparition s'explique probablement par cette raison. Cette discussion dérouté les protecteurs de la nature. Les partisans de la ligne dure affirment: «C'est la loi de la nature, le chêne disparaît, un point c'est tout.» D'autres répondent: «Vous ne pouvez tout de même pas laisser disparaître le chêne sans rien faire», et ils voudraient que des soins soient prodigués dans la réserve forestière. Nous n'agissons pas ainsi, mais pouvons en revanche protéger le chêne dans la forêt de production et le préserver en tant qu'arbre individuel. Des événements changeront peut-être complètement la donne, ne serait-ce que dans le contexte du réchauffement climatique.

**KB:** Jadis, nous avions une vision claire des espèces qui devaient être présentes en proportions naturelles dans des stations déterminées. La recherche forestière et climatique

actuelle nous enseigne que nous devons nous adapter aux changements. L'exemple du chêne et du hêtre dominant nous démontre que les réserves forestières naturelles ne sont pas la solution miracle à toutes les questions de protection de la nature. Des réserves forestières spéciales et une sylviculture écologique sont nécessaires.

### **Pourquoi les recherches se concentrent-elles essentiellement sur les réserves?**

**KB:** Au fil des décennies, la recherche écologique a étudié la nature là où l'être humain ne s'immisçait pas constamment, soit dans des parcs nationaux et des réserves. Cela a renforcé l'opinion selon laquelle la nature «véritable» se limitait à de telles zones. Le paysage exploité a été laissé à l'écart. La recherche en écologie forestière connaît ainsi un déséquilibre, d'où un retard à rattraper.

**UM:** Pour nous, les recherches dans la réserve forestière naturelle étaient et sont très importantes. Nous savons de ce fait quelles espèces sont présentes et pouvons comparer avec la forêt de production. Dans cette dernière, nous souhaiterions toutes les espèces de la réserve forestière naturelle – pas au niveau de la densité, mais au niveau du nombre. Je suis néanmoins complètement d'accord avec Kurt Bollmann lorsqu'il souligne l'insuffisance des recherches dans la forêt exploitée. Je ne vois toutefois pas la recherche dans les réserves comme un inconvénient puisque nous continuons d'avoir besoin d'un élément de comparaison.

**Dans la réserve forestière spéciale, des interventions ont lieu en faveur**



Le grand tétras n'est pas le seul à tirer parti de l'éclaircie des forêts sombres, d'autres espèces animales et végétales rares en profitent également.

de certaines espèces. Comment la décision est-elle prise de promouvoir une espèce en particulier, le grand tétras par exemple?

**UM:** Il y a tout un aspect subjectif et culturel qui entre en jeu car il n'existe pas de raison valable de promouvoir le grand tétras en particulier. Mais cet oiseau impressionne les chasseurs depuis toujours. S'approcher de lui était tout un art. De nombreux efforts sont désormais déployés et toutes les mesures possibles prises afin de préserver ce grand tétras, bien que l'habitat ait évolué. Nous participons à ces programmes dans certaines régions car la protection de la nature l'exige. Personnellement, je trouve toutefois erroné, lors de la protection des espèces, de ne se concentrer que sur l'une d'elles et d'en écarter sciemment d'autres.

**KB:** Aucune raison objective ne justifie de privilégier le grand tétras plutôt qu'un coléoptère saproxylique. Cet exemple démontre que la

protection de la nature est liée aux valeurs humaines, aux normes et aux priorités. Souvent, l'aura d'une espèce est aussi maintenue par la littérature, la chasse, par des chansons et par l'art populaire. En Suisse, nous avons une vision légèrement plus réaliste des choses que nos voisins. Avant le lancement du programme national de conservation du grand tétras en 2008, des faits étaient exigés. Le WSL a pu démontrer que sous l'égide du grand tétras, d'autres espèces rares profitaient aussi de l'éclaircie des forêts de montagne sombres et fermées.

**UM:** Je pourrais me faire à cette idée, une espèce parapluie qui permette la protection de très nombreuses autres espèces. Lors de toutes les réflexions sur la protection des espèces forestières, l'habitat proche de l'état naturel, doté d'une quantité suffisante d'arbres-habitat et de bois mort, devrait toutefois se trouver au cœur des préoccupations. (lbo)

**«Une intensité élevée d'exploitation peut aussi se traduire par une grande richesse en espèces sous certaines conditions.»**

## COLLABORATION ORIENT-OCCIDENT Une recherche partenariale sur la forêt primaire est utile aux deux parties.

En Ukraine et en Bulgarie, il existe encore de vastes forêts primaires. Elles constituent d'importants objets d'étude pour mieux comprendre les évolutions dans les réserves forestières et les forêts protectrices suisses.

Nulle part en Europe ne se trouvent des forêts primaires de hêtres plus étendues que dans les Carpates ukrainiennes. En Suisse en revanche, où le hêtre est l'essence feuillue la plus fréquente, toutes les hêtraies sont exploitées depuis des siècles, et même les réserves forestières de hêtres actuelles l'ont longtemps été jadis. En parallèle avec l'exigence accrue de grandes réserves forestières sur le Plateau, l'intérêt pour les forêts primaires de hêtres a fortement augmenté. C'est pour cette raison que Brigitte Commarmot et Anton Bürgi du WSL sont allés pour la première fois, en avril 1999, dans une réserve de biosphère des Carpates, en Ukraine occidentale. Les deux scientifiques forestiers ont voulu savoir s'il était possible de réaliser là-bas un projet qui permettrait de comparer l'évolution naturelle de ces forêts primaires à celle des réserves forestières et des hêtraies gérées dans le respect de la nature en Suisse.

Le projet planifié a vu le jour et plus de vingt autres voyages ont suivi. Brigitte Commarmot et d'autres chercheurs du WSL et d'Ukraine ont tenté depuis de percer les mystères de la forêt primaire d'Uholka-Shyrokyi Luh, presque exclusivement composée de hêtres et d'une superficie d'environ 100 km<sup>2</sup>. Ils y ont retrouvé de vieux arbres dont l'âge pouvait atteindre 500 ans, et environ dix fois plus de bois mort sur pied et au sol par hectare qu'en moyenne dans les forêts du Plateau suisse et du Jura. Un arbre vivant sur trois présentait des cavités, des fentes ou d'autres blessures qui offraient de très petits habitats aux

Pour en savoir plus sur la coopération entre le WSL et l'Ukraine dans le domaine de la recherche sur les forêts primaires et les forêts naturelles (en anglais): [www.wsl.ch/more/virginforest-ukraine](http://www.wsl.ch/more/virginforest-ukraine)



La limace bleue des Carpates (*Bielzia coeruleans*) présente en Transcarpatie peut facilement mesurer 10 centimètres de longueur ; elle est souvent monochrome et évolue plus précisément entre le bleu et le noir. Les jeunes animaux brillent aussi de reflets colorés verdoyants, jaunes ou autres.

insectes, aux chauves-souris, aux oiseaux et à d'autres animaux à l'image de la limace bleue des Carpates, la limace la plus emblématique de ces forêts. En collaboration avec leurs partenaires ukrainiens, les chercheurs du WSL ont, dans la forêt primaire, capturé trois fois plus d'espèces de coléoptères rares tributaires du vieux bois et du bois mort, que dans les vieilles hêtraies de Suisse. Ils ont aussi retrouvé des densités élevées d'espèces rares de lichens qui bénéficiaient de la présence des vieux arbres.

### **Les forêts primaires – des références pour les réserves forestières**

Quel avantage tire la Suisse de cette coopération? «La forêt primaire de hêtres en Ukraine est un immense laboratoire de recherche pour nous», indique B. Commarmot qui a coordonné la collaboration du côté du WSL pendant de nombreuses années. «Les forêts qui échappent pratiquement à l'influence de l'être humain constituent une référence importante. Nous les utilisons pour évaluer à quel point les réserves forestières suisses à l'image du Sihlwald près de Zurich sont proches de l'état naturel et pour étudier les répercussions de l'exploitation sur la biodiversité.» Et l'avantage pour l'Ukraine? Grâce à cette collaboration, les partenaires du WSL ont eu accès à la communauté scientifique internationale. «Au cours des 17 années de notre collaboration, nous avons rencontré en Ukraine occidentale de nombreux jeunes chercheurs motivés et doués», déclare Brigitte Commarmot. Six d'entre eux ont réussi à obtenir des bourses de la Confédération pour des séjours d'étude de longue durée au WSL et dans de hautes écoles suisses. Certains parmi eux ont terminé leur thèse ou sont sur le point de le faire. Pour les chercheurs ukrainiens, il est de surcroît important de bénéficier d'un soutien professionnel et d'obtenir un accès à des laboratoires à l'équipement moderne, pour les examens génétiques notamment.

Les sets de données uniques en leur genre rassemblés au fil de nombreuses années, sur l'évolution de la plus vaste forêt primaire de hêtres en Europe éveillent un grand intérêt au niveau international. Cela a probablement contribué au fait que les forêts primaires ukrainiennes et slovaques puissent porter le label «Patrimoine mondial de l'UNESCO» depuis 2007. «Le label va à l'encontre de la pression d'exploitation exercée par les entreprises nationales et étrangères, et aide à protéger ces forêts sur le long terme», explique B. Commarmot. Celle-ci étant à la retraite en mai 2017, c'est Peter Brang qui poursuit ses travaux.

### **Vent, neige et lumière dans les forêts protectrices bulgares**

Au SLF à Davos, Peter Bebi étudie à quel point les forêts doivent être denses ou claires pour protéger contre les avalanches, les glissements de terrain ou les chutes de pierres. Il y a seulement quelques années, il lui manquait à lui aussi une référence pour l'exploitation de la forêt protectrice. On rencontre par exemple de telles forêts à la structure naturelle en Bulgarie, où les régions de montagne comptent encore de grandes réserves forestières avec des forêts primaires, ainsi que des forêts de résineux qui ne sont plus exploitées depuis longtemps. Elles ressemblent aux forêts protectrices typiques des Alpes: les arbres sont souvent très proches les uns des autres et de ce fait particulièrement vulnérables aux tempêtes et aux bris de neige. La demande de son actuel partenaire de projet, Momchil Panayotov, de l'Université de foresterie à Sofia, est donc tombée à point pour Peter Bebi. Pendant un séjour postdoctoral, M. Pa-

Pour de plus amples informations sur les forêts de protection contre les avalanches: [www.wsl.ch/more/bulgarie](http://www.wsl.ch/more/bulgarie)



Dans la réserve de biosphère «Bistrishko branishte» (Bulgarie occidentale), des forêts de montagne d'épicéas pures, très similaires à certaines forêts protectrices suisses, ont en 2001 été victimes d'une tempête qui a dévasté 60 hectares, puis de scolytes et d'incendies de forêt.

mayotov souhaitait examiner plus en détail de telles forêts suisses et les comparer à celles de son pays d'origine.

Dix ans plus tard, ils ont tous deux terminé plusieurs projets dans les forêts de montagne bulgares et ont publié leurs résultats. Ces derniers aident P. Bebi à évaluer la façon dont les chablis, les infestations de scolytes ou d'autres événements naturels compromettent l'effet protecteur de la forêt face aux dangers naturels. L'influence des arbres sur pied trop proches les uns des autres sur la stabilité de la forêt, et l'ensemencement naturel des jeunes arbres sont alors au cœur des considérations. P. Bebi espère que les connaissances extraites des forêts primaires bulgares permettront d'améliorer les recommandations sur la gestion de la forêt protectrice. Ce que Momchil Panayotov apprécie surtout dans la collaboration: l'échange réciproque d'expériences et la participation actuelle de son équipe à un réseau international de chercheurs sur les forêts de montagne.

### **De nombreux résultats avec de modestes moyens**

La collaboration entre des scientifiques de pays de l'Est comme de l'Ouest fut certes un premier pas vers l'inconnu, à savoir vers une nouvelle culture de recherche. Aujourd'hui, tous les participants évaluent toutefois la coopération de façon extrêmement positive. Les placettes de référence à l'évolution naturelle en Bulgarie permettent de mieux comprendre et de mieux représenter l'évolution à long terme des forêts. «Nous devons savoir sur quelle valeur extrême d'un état de la forêt nous devons nous orienter afin de garantir au mieux la protection face aux dangers naturels», déclare Peter Bebi et il se fait en tous points l'écho des pensées de Brigitte Commarmot. «S'y ajoute quelque chose de tout à fait banal», résume la spécialiste en sciences forestières: «Grâce à nos partenaires d'Europe de l'Est, nous avons appris à quel point nous pouvions obtenir un nombre incroyable de résultats malgré des conditions difficiles et de modestes moyens à disposition.»

(rlä)

BOIS MORT **La qualité est décisive.** Bien que la quantité de bois mort ne cesse d'augmenter dans les forêts suisses, près de la moitié des espèces de coléoptères saproxyliques reste menacée. Il manque du bois mort de qualité appropriée.

Mort? Loin de là! Le bois mort, soit les arbres ou les parties d'arbres dépéris, constitue l'un des habitats les plus importants et les plus riches en espèces dans la forêt. Environ un quart de la totalité des espèces qui vivent en forêt sont tributaires du bois mort – rien qu'en Suisse, il s'agit de quelque 2700 champignons, de 150 espèces de lichens et de 1700 espèces de coléoptères. S'y ajoutent des animaux de plus grande taille tels que les pics, les loirs, les chauves-souris et certains reptiles. De surcroît, un jeune épicéa sur deux en forêt de montagne pousse sur des troncs en décomposition.

Près de la moitié de l'ensemble des espèces de coléoptères saproxyliques sont menacées: elles figurent sur la Liste rouge publiée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) qui comprend quatre grandes familles de coléoptères xylobiontes. «Cela montre à quel point la situation est problématique», indique un co-auteur de la Liste rouge, Thibault Lachat, scientifique invité au WSL et professeur à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL. L'OFEV qualifie la pénurie en bois mort de «l'un des plus grands déficits écologiques dans la forêt suisse». Certes, la quantité de bois mort dans les forêts suisses augmente en continu depuis le passage aux hydrocarbures comme combustible – et ce jusqu'à aujourd'hui, comme le prouvent les chiffres de l'Inventaire forestier national (IFN) effectué par le WSL. Les ouragans Vi-



En situation de concurrence avec l'être humain: pour son développement, le capricorne charpentier (*Acanthocinus aedilis*), espèce fortement menacée, a besoin de pins morts, néanmoins encore frais, et de régions chaudes à basse altitude – soit précisément des zones d'habitation des plus attractives!

Photo: Beat Wermelinger, WSL

vian (1990) et Lothar (1999), de même que la rentabilité insuffisante de la récolte de bois dans de nombreuses régions, ont largement contribué à cet accroissement. Selon l'IFN, près d'un cinquième des peuplements forestiers suisses ne sont plus exploités depuis plus de 50 ans (voir le graphique informatif p. 5). Aujourd'hui, de nombreux propriétaires et exploitants forestiers connaissent par ailleurs la valeur écologique du bois mort. Ils maintiennent de plus en plus des vieux arbres vivants qui présentent des cavités et des branches mortes, appelés arbres-habitat, laissant les résidus de coupe au sol.

On comptabilise actuellement en moyenne 24 m<sup>3</sup> de bois mort par hectare de forêt suisse, soit l'équivalent du contenu de 200 baignoires environ. Les valeurs cibles définies par la Confédération dans la politique forestière 2020 sur la promotion de la biodiversité sont ainsi presque atteintes: les forêts de montagne doivent comporter 25 m<sup>3</sup>/ha, celles du Plateau 20 m<sup>3</sup>/ha. Ces valeurs sont pour le moment très éloignées de celles des forêts naturelles, voire des forêts primaires: après quelques décennies sans exploitation, les réserves forestières naturelles comportent entre 50 et 130 m<sup>3</sup>/ha de bois mort, et même 140 m<sup>3</sup>/ha en moyenne pour les forêts primaires. «C'est déjà bien d'avoir des valeurs cibles», déclare Beat Wermelinger, entomologiste au WSL, même si selon lui, elles reflètent plutôt ce qui est politiquement faisable que ce qui est nécessaire. «Cela permet ainsi de couvrir les besoins de nombreuses espèces à vaste échelle, même s'il ne s'agit pas d'espèces très spécialisées.» Dans son nouveau livre «Les insectes en forêt» (en allemand), il consacre un chapitre aux espèces saproxyliques ainsi qu'un autre aux insectes forestiers menacés.

Pour en savoir plus  
sur le bois mort:  
[www.boismort.ch](http://www.boismort.ch)

## Les zones alluviales et les forêts claires s'amenuisent

Pourquoi les coléoptères saproxyliques sont-ils malgré tout si nombreux à figurer sur la Liste rouge? Le bois mort de qualité notamment est une denrée rare. Selon T. Lachat, les arbres-habitat, mais également les troncs morts expo-



La forêt suisse compte en moyenne 24 m<sup>3</sup> de bois mort par hectare – c'est certes plus qu'il y a 50 ans, mais encore loin de la quantité présente dans les forêts naturelles ou primaires.

sés au soleil de gros diamètre, sur pied ou au sol, de même que le bois à un stade de décomposition avancé, sont très rares. Dans la forêt de production, les arbres sont abattus bien avant qu'ils n'aient atteint un âge avancé: un sapin blanc, qui peut vivre 500 ou 600 ans, le sera lorsqu'il aura entre 90 et 130 ans.

Vieux arbres, forêts alluviales ou forêts claires de feuillus à basse altitude, lisières étagées, sèves de châtaigniers ou arbres fruitiers à haute tige – de ces habitats rares à ce jour sont justement tributaires toutes les 118 espèces indigènes de coléoptères saproxyliques recensées dans la Liste rouge. Pour établir cette liste, les spécialistes des espèces ont capturé 256 espèces de coléoptères buprestidés, cérambycidés, cétoniidés et lucanidés. Ils l'ont fait à la main, à l'aide de filets, de parapluies japonais ou de pièges, à savoir dans un ensemble de 240 sites, là où l'on suppose en Suisse la présence d'espèces rares. Près de la moitié des espèces issues de ces quatre grandes familles (46 %) ont été classées comme espèces menacées sur la Liste rouge selon les critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature UICN, et 47 autres espèces (18 %) l'ont été comme potentiellement menacées.

La principale recommandation de la Liste rouge consiste par ailleurs à promouvoir les habitats de ces espèces spécialisées. Comment y parvenir? La Notice pour le praticien du WSL «Bois mort en forêt» répond à cette question de façon détaillée. Elle repose sur les résultats du projet «Dynamique du bois mort et des insectes saproxyliques dans les réserves forestières», qui s'est déroulé entre 2009 et 2014. Les larves du capricorne charpentier (*Acanthocinus aedilis*), espèce fortement menacée, ne peuvent par exemple se développer que sous l'écorce des pins morts, néanmoins encore frais, des régions chaudes à basse altitude. Or celles-ci sont justement les zones de prédilection de l'être humain pour ses constructions. Le pic tridactyle ne s'établira quant à lui que dans les endroits qui comportent au minimum 18 m<sup>3</sup> de résineux secs sur pied par hectare. Depuis peu, la Confédération favorise le vieux bois et le bois mort grâce à des aides financières: quiconque aménage des îlots de sénescence dans les forêts de production – c'est-à-dire des endroits où il est possible de laisser sur place du bois mort de grosses dimensions ou ancien –, ou conserve sur pied des arbres-habitat jusqu'au stade de décomposition, reçoit de l'argent. Ces «biotopes-relais» doivent permettre d'interrompre les longues distances entre les différentes réserves forestières, et de donner ainsi la possibilité aux espèces peu mobiles de se propager. Destinée aux praticiens-sylviculteurs, la Notice décrit la procédure à suivre afin d'apporter une plus-value écologique, sans pour autant mettre en danger les ouvriers et les visiteurs en forêt.

Mais un puissant adversaire est récemment apparu, allant à l'encontre de tous les efforts destinés aux espèces saproxyliques: le boom du bois-énergie. La biomasse est considérée en effet comme une importante source d'énergie renouvelable. «Étant donné l'utilisation alors possible de bois de moindre qualité, l'accroissement du bois mort pourrait se ralentir, voire cesser, et la tendance s'inverser», craint B. Wermelinger. Une nouvelle étude de T. Lachat démontre que les insectes saproxyliques aiment à coloniser les stocks de bois-énergie laissés en forêt jusqu'à transformation. Le WSL vérifie actuellement si cette tendance pose problème pour la préservation des coléoptères en forêt et formule des conseils sur le stockage du bois-énergie. (bki)



Ani Bürgin, Birmensdorf

«J'ai grandi dans cette cour intérieure du 3<sup>e</sup> arrondissement de Zurich. Enfants, nous formions une véritable bande et jouions tout le temps dehors, nous adorions le foot. Je viens souvent me promener dans cette oasis du quartier.»

#### AU SERVICE DES COLLABORATEURS

Remplacer des lampes défectueuses, réparer des robinets qui fuient, tondre la pelouse et veiller l'hiver à ce que personne ne perde l'équilibre sur le chemin glissant, tout ceci n'est qu'un aperçu des activités d'Ani Bürgin, future agente d'exploita-

tion et toujours en mouvement sur le vaste site du WSL à Birmensdorf. Elle apprécie le caractère varié de sa profession: «Travailler comme prestataire de services me plaît, j'aime beaucoup la collaboration avec les collègues du WSL.»

## FORÊT Pourquoi les arbres forestiers produisent-ils parfois des quantités massives de fruits?



Lorsque presque tous les arbres d'une région produisent une quantité massive de fruits – à l'image de ce hêtre –, on parle de «fructification complète».

L'automne dernier, le nombre élevé de faînes accrochées aux branches des hêtres du Plateau ne pouvait passer inaperçu. Les visiteurs réguliers en forêt savent que ce n'est pas le cas tous les ans. Thomas Wohlgemuth, biologiste au WSL explique: «Chez les hêtres, un tel phénomène se produit tous les trois ans environ, chez les épicéas tous les six ans. Nous lui donnons le nom de fructification complète. Pourquoi en est-il ainsi, quel rôle jouent le climat et le temps, ou qu'est-ce que cela signifie pour les autres plantes et les autres animaux en forêt? Les études sur ces thématiques sont rares à ce jour.» Pour les arbres, il serait potentiellement plus avantageux sur le plan évolutif de produire une quantité massive de graines à quelques années d'intervalle plutôt qu'un nombre similaire tous les ans, notamment parce que la pol-

linisation serait plus efficace ou que le nombre de semis à survivre serait supérieur. Si un chercheur veut ainsi comprendre le rajeunissement de la forêt, il doit aussi étudier les phénomènes de fructification complète, la production de fruits et de graines constituant la première étape.

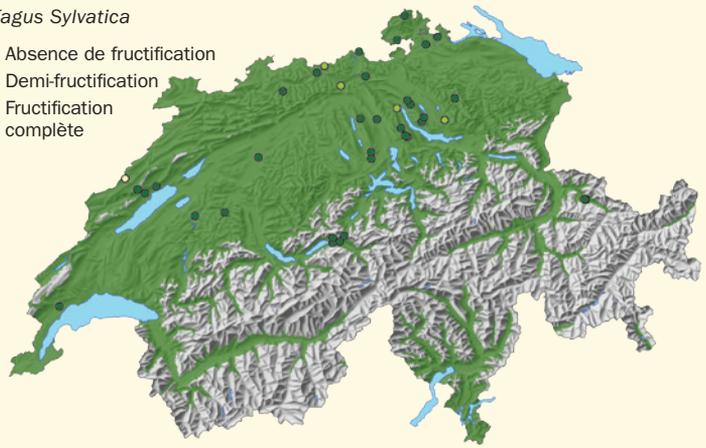
Il lui faut toutefois des données. Les praticiens forestiers en ont enregistré pour certaines essences. Anton Burkart, chef de la pépinière expérimentale du WSL, consigne chaque année par écrit depuis 1991 la quantité de fruits produite par telle essence à tel endroit de Suisse. Ces enregistrements constituent le stock de données de base pour Thomas Wohlgemuth. Ce dernier a néanmoins besoin de beaucoup plus d'informations. «Nous utilisons Citizen Science à cet effet. Cela signifie que des citoyennes et citoyens intéressés nous aident»,

précise-t-il. Ses collègues et lui ont créé le portail Internet [www.mastweb.ch](http://www.mastweb.ch) où professionnels et profanes peuvent noter l'ampleur de la fructification (graines et fruits) pour les arbres forestiers. Dans un premier temps, l'accent est mis sur six essences. Un élargissement à environ vingt essences – dont celles typiques du sud des Alpes, à l'image du châtaignier – est planifié. Sont également précieuses des observations sur l'absence de fructification, c'est-à-dire, pour les arbres, la quasi absence de fruits à vaste échelle.

T. Wohlgemuth voit un grand potentiel dans le set croissant de données. Lors de l'évaluation des enregistrements disponibles de son collègue A. Burkart, il a découvert des corrélations intéressantes. Dans le canton de Zurich, les chasseurs abattent nettement plus de sangliers l'hiver après une fructification complète du chêne. L'offre riche en nourriture semble accroître les taux naturels de survie des sangliers, même si seulement 5 % de l'ensemble des arbres du canton sont des chênes. À première vue, de telles études peuvent ressembler à de petits gadgets

#### *Fagus Sylvatica*

- Absence de fructification
- Demi-fructification
- Fructification complète



Cette carte extraite de [www.mastweb.ch](http://www.mastweb.ch) montre que dans toute la Suisse une fructification complète du hêtre a eu lieu en 2016 (en vert).

de chercheurs. Si toutefois, sur fond de changements climatiques, les années de fructification devaient devenir plus fréquentes – ou au contraire plus rares –, les modifications imposées à l'écosystème pourraient être notables, avec des conséquences encore inconnues à ce jour. Et les volontaires qui signalent leurs observations? Ils peuvent suivre sur Internet la façon dont, grâce à leurs nombreux signalements, des cartes sur l'intensité de la fructification des différentes essences voient le jour. *(bio)*

[www.mastweb.ch](http://www.mastweb.ch)

## FORÊT HeProMo: évaluer les coûts de la récolte de bois

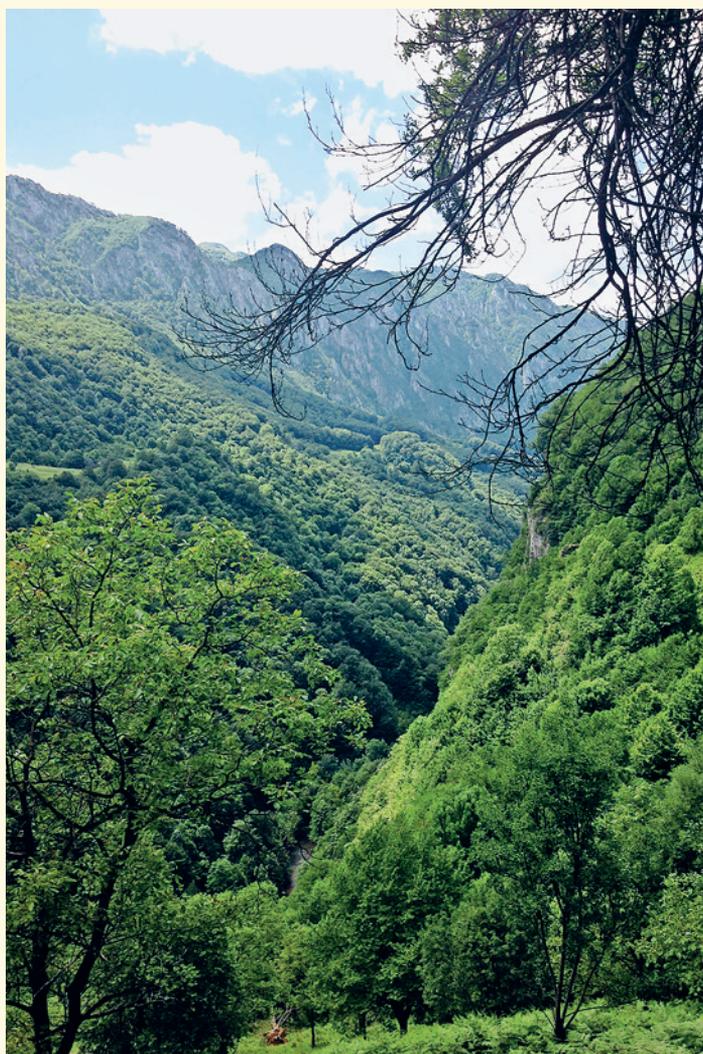
Combien coûtent la récolte et le transport d'un mètre cube de bois-énergie? Les modèles de calcul remaniés de la productivité pour la récolte de bois (HeProMo) du WSL répondent à ces questions importantes pour la foresterie. Dans le modèle de calcul cofinancé par l'Office fédéral de l'environnement, on intègre des données sur les arbres, sur le terrain, de même que sur le personnel et les machines, afin d'obtenir les quantités récoltées par heure et les coûts. Par rapport au modèle HeProMo précédent, d'autres

processus ont désormais été pris en compte, tels que le déchetage du bois-énergie, l'évacuation des plaquettes de bois et la récolte combinée par arbre entier avec câbles-grues et processeurs sur terrains en pente. Les utilisateurs de ce modèle? Aux professionnels de la foresterie viennent s'ajouter les chercheurs et la Confédération, entre autres pour l'évaluation du potentiel d'exploitation du bois en Suisse. *(bki)*

[www.wsl.ch/more/hepromo-fr](http://www.wsl.ch/more/hepromo-fr)

## PAYSAGE De nouvelles réserves naturelles en Roumanie: oui à des espaces sauvages, mais aucune restriction s'il vous plaît

Forêts intactes, gorges profondes et rivières impétueuses: les Carpates du Sud-Ouest en Roumanie comptent l'une des dernières zones de nature



Les Carpates du Sud-Ouest en Roumanie comptent parmi les dernières zones de nature sauvage en Europe.

sauvage en Europe, là où les processus naturels ne sont guère influencés par l'être humain. La plupart du temps, ces zones se situent dans des réserves naturelles déjà existantes. On planifie à l'heure actuelle de les placer sous une protection particulière,

ce qui nécessite l'acceptation et le soutien de la population. Quelle est son attitude face aux espaces sauvages? Et que pense-t-elle des réserves naturelles présentes dans sa région? Dans le cadre d'un projet WWF, le WSL a réalisé deux enquêtes dans cinq réserves naturelles roumaines. L'une d'entre elles s'est déroulée en 2014, l'autre en 2016 à la suite d'une campagne d'information de WWF Roumanie avec documentaires, ateliers sur place et flyers sur le thème des espaces sauvages et de leur protection.

À l'origine, Nicole Bauer, responsable de l'étude du WSL en Roumanie, planifiait d'effectuer des enquêtes écrites, en envoyant les questionnaires par la poste. «Cela nous a vite été déconseillé. Soit il n'existe pas de service postal dans ces régions, soit on ne peut pas s'y fier», explique-t-elle. De surcroît, de nombreuses personnes âgées lisent et écrivent rarement. WWF Roumanie a donc constitué une équipe de spécialistes en sciences sociales issus de Roumanie, qui a voyagé dans les régions éloignées et effectué les entretiens sur place.

### Nature sauvage souhaitée

Les sondés peuvent être répartis en deux groupes: les «amis modernes de la nature», qui désirent lui laisser libre cours, et les «utilisateurs traditionnels de la nature», qui possèdent souvent des terres et dont les revenus dépendent de la nature. Ces deux groupes avaient déjà une attitude positive vis-à-vis des espaces sauvages avant la campagne du WWF:

ils y associent des sentiments de joie, de liberté ou de fascination. Ils auto-riseraient néanmoins le pacage, sont favorables aux éoliennes et souhaitent davantage d'infrastructures à l'image des routes dans les espaces sauvages. Une enquête réalisée il y a plus de 10 ans par le WSL en Suisse donne un résultat similaire. Même attitude positive des sondés vis-à-vis des espaces sauvages, avec toutefois le souhait de plus d'aménagements comme des bancs ou des poubelles.

Lorsqu'il s'agit des réserves naturelles existantes, les deux groupes identifiés lors du sondage en Roumanie se différencient. Les premiers les évaluent de façon nettement plus positive que les seconds, y voyant un atout supérieur pour le développement touristique et économique de la région. Les «utilisateurs traditionnels de la nature», eux, associent plutôt les zones protégées à des contraintes au quotidien.

### **Une communication transparente est importante**

Une comparaison directe entre les réactions avant et après la campagne du WWF ne peut avoir lieu car il n'a pas été possible d'interroger les mêmes personnes deux fois. Les participants à la deuxième enquête sont toutefois aussi positifs vis-à-vis des espaces sauvages. De plus, ils ont davantage tendance à voir un avantage dans les zones protégées que les sondés deux ans auparavant. Des différences entre les cinq régions prévalent néanmoins: les répercussions sur la vie quotidienne de la zone protégée correspondante sont évaluées de façon différente, et les sondés des cinq régions se sentent plus ou moins bien informés sur le parc en question et sur les mesures de l'administration du parc. Cela montre que la genèse

d'une réserve forestière et les mesures de communication sur place ont une grande influence sur l'acceptation par la population.

Pour nous en Suisse, les recommandations émises par les chercheurs



Autre exemple d'espace sauvage en Roumanie: paysage cultivé retourné à l'état sauvage.

sur la base de leurs sondages en Roumanie sonnent familier: lors de l'aménagement de nouvelles zones protégées, la population concernée doit être impliquée dès le début. Il est décisif que des restrictions potentielles en raison de la nouvelle zone protégée soient communiquées de façon claire. Mais cela ne garantit en rien l'acceptation: dans le cas du Parc Adula planifié, le deuxième Parc national suisse, 13 des 17 communes auraient dû accepter le projet lors du vote en novembre 2016 – elles ne furent pourtant que neuf à le faire. Malgré les propos rassurants des promoteurs du parc, les craintes des restrictions l'ont emporté. Dans une enquête du WSL en 2013, près de la moitié des sondés avait annoncé être favorable au nouveau projet du Parc national suisse. *(lbo)*

## BIODIVERSITÉ Retracer l'histoire des aroles grâce aux méthodes génétiques



Vieil arole en amont du glacier d'Aletsch.

Pendant des siècles, l'être humain a abattu nettement plus d'aroles qu'il n'en repoussait, notamment pour leur bois parfumé utilisé de diverses manières. Pour les habitants des Alpes centrales, l'arole revêt toutefois une importance bien plus grande. Il fait partie intégrante des forêts protectrices situées à haute altitude, offre un habitat aux animaux spécialisés et marque de son empreinte un paysage récréatif attrayant.

Tandis que les forêts d'aroles étaient jadis surexploitées, des aroles rajeunis naturellement sont aujourd'hui favorisés, parfois aussi plantés. Mais de quelle région les jeunes plants doivent-ils être issus? Un peuplement local est-il quant à lui originel, ou s'agit-il d'arbres d'une autre provenance plantés antérieurement? Le modèle de la parenté géné-

tique peut fournir de précieuses indications à ce sujet.

Avec son équipe, Felix Gugerli, chef du Groupe Écologie génétique, a analysé environ 3000 arbres issus de près de 140 peuplements d'aroles. Leurs empreintes génétiques démontrent que leurs stations en Suisse orientale se distinguent de celles en Suisse occidentale, et que de ce fait les populations ne sont pas étroitement apparentées. F. Gugerli suppose que les ancêtres des arbres de ces deux stations ont survécu à la dernière glaciation dans deux refuges séparés situés dans les Alpes externes du Sud. Des grains de pollen, ainsi que des résidus subfossiles de bois, de graines et de cônes, soutiennent cette thèse. Pourquoi les populations de Suisse orientale et de Suisse occidentale sont-elles toutefois encore géné-

tiquement distinctes à ce jour? F. Guerli: « Après la dernière glaciation, les aroles distincts sur le plan génétique ont recolonisé les Alpes depuis leurs refuges respectifs. Il semble qu'ils soient entrés en contact au niveau du massif du Saint-Gothard, mais qu'ils ne se soient toutefois que peu mélangés en raison des habitats inhospitaliers pour les aroles – la chaîne montagneuse représente ainsi une sorte de barrière pour l'échange génétique. » Il existe encore des zones de contact similaires à d'autres endroits de l'Arc alpin, ce qui laisse

entrevoir l'existence de refuges glaciaires supplémentaires.

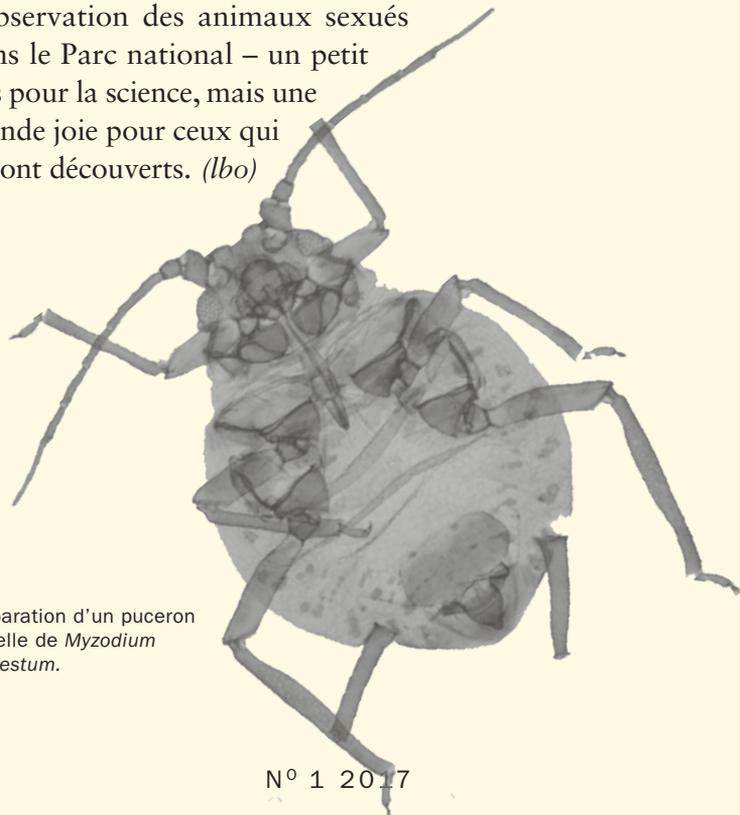
Les résultats des études revêtent une importance pratique notable: ils encouragent pour les plantations l'utilisation de semences locales car celles-ci sembleraient potentiellement adaptées à l'environnement présent. Des études en cours visent à montrer dans quelle mesure ces recommandations s'appliqueraient aussi aux conditions environnementales futures. (rlä)

## BIODIVERSITÉ Cela bouge dans la mousse: des pucerons dans le Parc national suisse

Quand il s'agit de pucerons, on n'a souvent qu'une idée en tête: les combattre. Aux ravageurs sur les plantes ornementales et cultivées ou aux pucerons producteurs de miellat forestier, viennent s'ajouter beaucoup d'espèces peu connues. En Suisse, 350 espèces ont été décrites à ce jour. La plupart ont été découvertes par hasard, à l'image du puceron *Myzodinium modestum*, qui vit dans la mousse et s'en nourrit. Malgré sa présence dans les pays voisins, ainsi qu'en Scandinavie, en Russie, au Groënland et en Amérique du Nord, aucun exemplaire n'avait été jusqu'ici retrouvé en Suisse – car personne n'en avait cherché. C'est par hasard que, l'été 2013, des chercheurs du WSL ont détecté le puceron dans le Parc national suisse alors qu'ils étudiaient des réseaux alimentaires dans des pâturages.

La singularité de cette découverte: il s'agissait de deux mâles ailés et d'une femelle. Jusqu'alors, aucun animal sexué n'avait été retrouvé

chez les pucerons qui vivent exclusivement sur la mousse. Les scientifiques supposaient de ce fait que ces espèces ne se multipliaient que par parthénogenèse, une forme de reproduction unisexuée au cours de laquelle les descendants se développent à partir d'œufs non fécondés. Cette hypothèse vient d'être réfutée par l'observation des animaux sexués dans le Parc national – un petit pas pour la science, mais une grande joie pour ceux qui les ont découverts. (lbo)



Préparation d'un puceron femelle de *Myzodinium modestum*.

## BIODIVERSITÉ Le lièvre variable – un perdant à l’heure du changement climatique?



L'avenir du lièvre variable dans les Alpes suisses est incertain.

Depuis longtemps, les lièvres variables fascinent Maik Rehnus – il vient justement de célébrer son 10<sup>e</sup> anniversaire de recherche l'année dernière. «Le lièvre variable est l'espèce indicatrice par excellence des écosystèmes arctiques-alpins», explique-t-il, d'où le grand intérêt qu'il porte à ces animaux. «Ils réagissent en effet de façon très sensible aux changements environnementaux.» Leur comportement correspond pour ainsi dire à un système d'alerte précoce.

Environ soixante jours par an, M. Rehnus suit les traces de ces timides champions de la survie dans les Alpes suisses – ou plus précisément de leurs petites crottes. En effet, ses collègues autrichiens et lui ont développé une méthode pour étudier les lièvres variables sans les perturber: grâce aux petites crottes fraîches, les chercheurs peuvent mesurer les hormones de stress. «De cette façon, nous ne devons pas capturer ces animaux sensibles au stress», explique ce Saxon

de naissance. Les animaux stressés nécessitent en effet jusqu'à 20 % d'énergie en plus que ceux qui sont calmes, comme l'a démontré M. Rehnus dans une étude qui s'est déroulée dans le parc naturel et animalier de Goldau. Il a de surcroît découvert que les concentrations des hormones de stress dans les crottes des lièvres variables sauvages vivant dans les domaines de sports d'hiver, étaient supérieures à celles des zones paisibles à l'image du Parc national suisse, clos l'hiver.

M. Rehnus a aussi étudié les modifications de la répartition des lièvres variables dans les Alpes suisses à l'heure du changement climatique. Bilan: si le climat se réchauffe conformément aux prévisions, l'habitat des lièvres variables – espèce adaptée au froid –, se morcellera et disparaîtra. Des habitats isolés peuvent favoriser la consanguinité, ce qui entraîne un risque supérieur d'extinction. Cela ne serait pas non plus sans conséquence sur des espèces menacées comme le hibou grand-duc ou l'aigle royal, qui s'alimentent régulièrement de lièvres variables.

«Dix ans plus tôt, on ne disposait que de rares informations sur les lièvres variables dans les Alpes», déclare M. Rehnus. Aujourd'hui, les résultats peuvent servir à émettre des recommandations axées sur la pratique. En collaboration avec des collègues du WSL, le biologiste de la faune élabore aussi des méthodes en vue d'un monitoring sur les lièvres variables à l'échelle de la Suisse. Son objectif: fournir les bases d'une chasse durable de cette espèce. (ssc)

[www.wsl.ch/more/lievrevariable](http://www.wsl.ch/more/lievrevariable)

A woman with long brown hair, wearing a light green patterned jacket and a matching scarf, stands in a lush green mountain landscape. She is looking upwards and to the right. The background shows dense green foliage and distant mountains under a clear sky.

Nora Helbig, Davos

«Sur le Schatzalp, je me sens chez moi. J'habite juste en bas de cette montagne et j'aime courir ici, cela me permet de décompresser. La tranquillité, des animaux craintifs et une nature riche en couleurs rendent cette montagne chère à mes yeux.»

#### AU SERVICE DE LA PRÉVISION DES CRUES

Lors de la fonte des neiges, Nora Helbig, météorologue, est particulièrement sollicitée: dans le cadre du service hydronivologique opérationnel (OSHD) au SLF, elle analyse les volumes de fonte attendus aux quatre coins de la Suisse.

Ses calculs sont intégrés dans la prévision des crues de l'Office fédéral de l'environnement OFEV. Le reste du temps, elle travaille à améliorer la description des processus de fonte des neiges dans les modèles OSHD.

## DANGERS NATURELS Un radar permet de voir l'intérieur d'une avalanche de poudreuse



À l'aide d'un radar, les chercheurs étudient le comportement d'écoulement des avalanches depuis leur bunker d'observation.

Plusieurs détonations sourdes ébranlent la Vallée de la Sionne le 3 février 2015 en amont du village valaisan d'Arbaz. À 2700 mètres d'altitude, le manteau neigeux commence à glisser. En l'espace de quelques secondes, une avalanche se forme dont le noyau disparaît bientôt dans un nuage de poudreuse tourbillonnante. Des chercheurs du SLF ont déclenché l'avalanche artificiellement dans le site expérimental bouclé.

### Que se passe-t-il sous le nuage de poudreuse?

Pour calculer la distance d'écoulement et les forces en action, les chercheurs souhaitent comprendre le comportement d'écoulement des avalanches dans les moindres détails. Tandis que l'avalanche «test» dévale la pente vers la plaine, Anselm Köhler et Martin Hiller du SLF, ainsi que Jim McElwaine de l'Université de Durham, se tiennent dans le bunker d'observation en aval de la pente avalancheuse. Leur regard alterne sans cesse entre le hublot en verre blindé, qui propose une vision déformée de la pente avalancheuse, et leurs écrans.

Ils y observent les données mesurées par les antennes radar sur la paroi extérieure du bunker. Le radar permet de visualiser, à travers le nuage de poudreuse, les mouvements de la partie la plus dense de l'avalanche.

### Mieux comprendre la dynamique des avalanches

A. Köhler, qui évalue les mesures radar dans le cadre de sa thèse de doctorat, explique: «Pour la première fois, nous pouvons démontrer de façon directe ce que les spécialistes des avalanches supposaient depuis longtemps déjà: les grosses avalanches se composent de nombreuses poussées individuelles, que nous appelons «Surges», et dont nous pouvons mesurer la vitesse. » Il s'agit d'une part d'avalanches déclenchées secondairement, susceptibles de devenir des «Surges» de grande envergure à l'intérieur de l'avalanche originelle et de former des avalanches indépendantes. Il existe par ailleurs des «Surges» de moindre envergure composés de neige plus dense, qui s'écoulent parfois plus vite que la masse principale de l'avalanche. Ils peuvent transpercer le front de l'avalanche, mais sont ensuite fortement ralentis. Les chercheurs expliquent les diverses vitesses d'écoulement par les différences de frottement. Les nouvelles connaissances permettront de perfectionner les modèles physiques d'avalanches en vue d'une meilleure prise en compte du comportement complexe d'écoulement. (mbe)

## DANGERS NATURELS    Glacier suspendu sous observation: une expertise du SLF contribue à protéger la Jungfraubahn

Station intermédiaire du glacier de l'Eiger: la Jungfraubahn s'arrête. Les touristes émerveillés photographient la magnifique vue panoramique sur la montagne. Le train emprunte ensuite le tunnel de sept kilomètres de long et poursuit son ascension vers le Jungfraujoch. Ce que de rares passagers savent probablement, c'est que pour leur sécurité, des techniques des plus modernes surveillent jour et nuit le glacier en amont de la station intermédiaire.

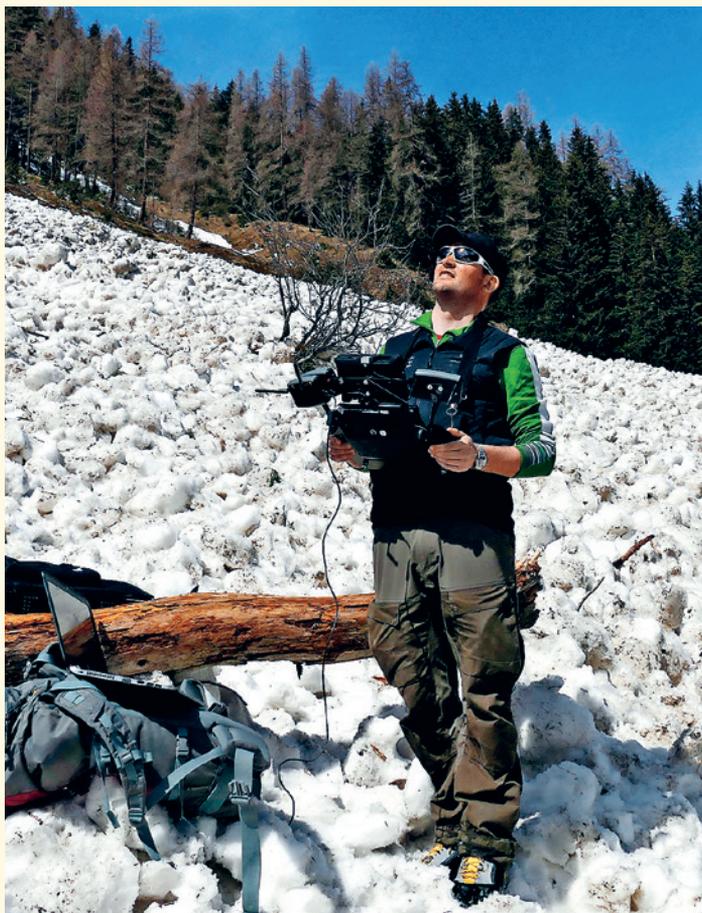
Le fait que les glaciers se déplacent est tout à fait normal. Au niveau du glacier suspendu sur le flanc ouest de l'Eiger, une situation critique s'est toutefois dessinée à l'automne 2015: des glaciologues de l'EPF de Zurich ont constaté qu'une crevasse se formait derrière le front glaciaire, entraînant le détachement d'une lame de glace d'un volume de 80 000 m<sup>3</sup> (ce qui correspond à 80 maisons individuelles environ). Une rupture éventuelle de celle-ci pourrait menacer la gare ferroviaire. La Jungfraubahn, qui transporte environ un million de passagers par an à 3453 mètres

d'altitude, a immédiatement réagi et a mandaté le SLF pour réaliser une expertise sur les menaces concrètes. Stefan Margreth, chef du Groupe Mesures de protection, a simulé quatre scénarios différents avec le logiciel informatique RAMMS, et a défini les mesures à prendre. Une rupture de glace est notamment critique lorsqu'une grande quantité de neige instable se trouve en aval du glacier, risquant d'être emportée par une avalanche de glace. Sur les conseils de S. Margreth, un système radar surveille en continu les mouvements du glacier depuis mars 2016. Il est ainsi possible de détecter les ruptures quelques jours à l'avance et de bloquer l'accès aux zones menacées à titre préventif. L'hiver, on a aussi recours à un radar d'avalanches. S'il enregistre une rupture, les trains peuvent être arrêtés à temps. (sni)

Le flanc ouest de l'Eiger avec un glacier suspendu (▲) et la station du glacier de l'Eiger (■).



## DANGERS NATURELS Les bonnes nouvelles tombent du ciel: les drones ouvrent des perspectives inattendues pour la recherche sur la neige



Avec son drone, Yves Bühler survole les dépôts d'une avalanche.

Les drones bourdonnent de plus en plus souvent au-dessus de nos têtes et font aussi la une des médias – qu'il s'agisse de la protection des droits de la personnalité ou de la chute d'un drone s'écrasant tout près d'un champion de ski, comme en 2015 lors d'un slalom de la Coupe du monde à Madonna di Campiglio (I).

Le SLF mise lui aussi sur des drones équipés d'une caméra – non pas pour filmer les personnes, mais pour étudier la neige. Yves Bühler, spécialiste de la télédétection au SLF: «Les avantages des drones sautent aux yeux: ils sont bon marché, four-

nissent des images à haute résolution, sont rapides et utilisables de façon flexible, et ils atteignent des zones qui ne sont pas ou ne sont que difficilement accessibles.»

### Effectuer des mesures des avalanches sans danger

Y. Bühler investit beaucoup de son temps afin que le vol de ses drones se déroule sans accroc: à l'aide de cartes et de modèles de terrain, il programme à l'ordinateur les endroits où il souhaite piloter son drone ultérieurement. Après qu'il a adapté in situ la planification aux conditions actuelles du terrain, du vent et des températures, le drone recherche automatiquement les points définis à l'aide du GPS intégré. Par exemple le 7 février 2015: avec Andreas Stoffel, Y. Bühler a survolé la zone de déclenchement et de dépôt de l'avalanche de Wildi qui s'était produite trois jours plus tôt à l'entrée de la Vallée de la Dischma à Davos. Avec un logiciel de photogrammétrie, les chercheurs ont ensuite réalisé un modèle numérique de surface d'après les prises de vue de la caméra. Environ trois mois plus tard, ils ont survolé le terrain déneigé à nouveau. Grâce à la comparaison des deux modèles de surface, Y. Bühler a calculé la hauteur des dépôts de neige de l'avalanche de Wildi – avec 10 cm de précision environ. Y. Bühler: «Cette méthode permet de documenter de façon exacte et efficace les dépôts d'avalanche sans que nous devions nous rendre sur un terrain dangereux.» Si des modèles de surface détaillés de la zone déneigée

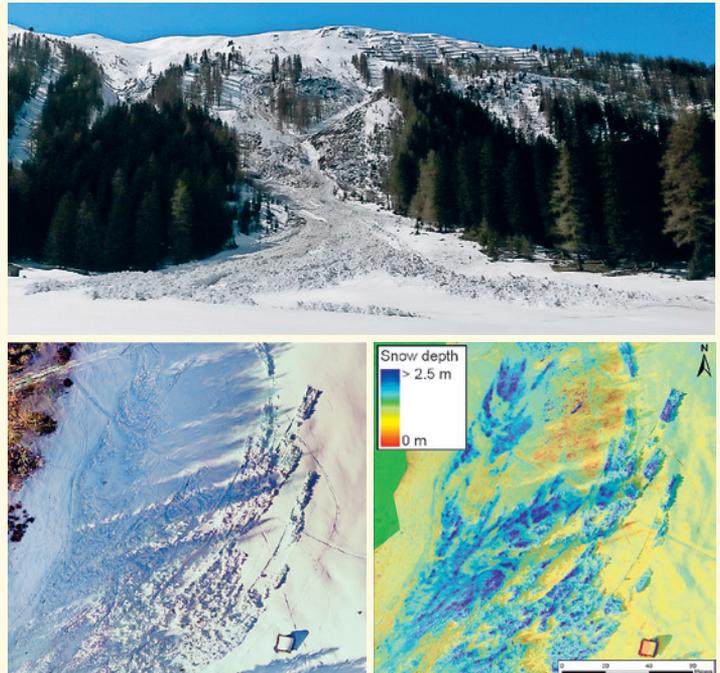
existent déjà avant le départ de l'avalanche, il est aussi possible d'établir l'ampleur des dépôts d'avalanche directement après l'événement.

### Technologie de l'avenir

Des modèles de terrain calculés grâce aux vols de drones aident aussi à mieux simuler à l'ordinateur des dangers naturels alpins tels que les chutes de pierres, les laves torrentielles et les avalanches. Plus le modèle de terrain sera précis – une condition fondamentale de la simulation –, plus il sera possible de reproduire avec précision le danger naturel à l'écran à l'aide du logiciel de simulation RAMMS. La simulation fournit des indices sur l'ampleur de la menace qui pèse sur les zones d'habitation et sur les voies de transport, et sur la façon de les protéger au mieux. Une autre application intéressante des drones est la détermination à vaste échelle de la hauteur de neige. Quiconque souhaitait connaître la quantité de neige à un endroit donné et la modification de la hauteur de neige au fil de l'hiver, dépendait jusqu'à présent en premier lieu des données des stations météorologiques automatiques. Il est possible d'extrapoler la hauteur de neige dans les zones entre les stations grâce à des fonctions mathématiques – l'imprécision est toutefois relativement grande puisque le manteau neigeux varie parfois considérablement sur des surfaces très réduites. Différents modèles de surface obtenus grâce à des vols de drones au-dessus de terrains déneigés puis recouverts de neige, ont permis à Y. Bühler de déterminer la hauteur de neige de façon très précise dans des terrains divers, comme le confirment des mesures de contrôle manuelles.

Ce monitoring de la neige depuis les airs ouvre des perspectives toutes

nouvelles à la recherche sur la neige: les services d'alerte aux avalanches ne seraient pas les seuls à profiter de ces données. On pourrait ainsi également mieux prévoir la quantité d'eau liée dans la neige à un endroit donné, ainsi que celle d'eau libérée lors de la fonte des neiges – une information



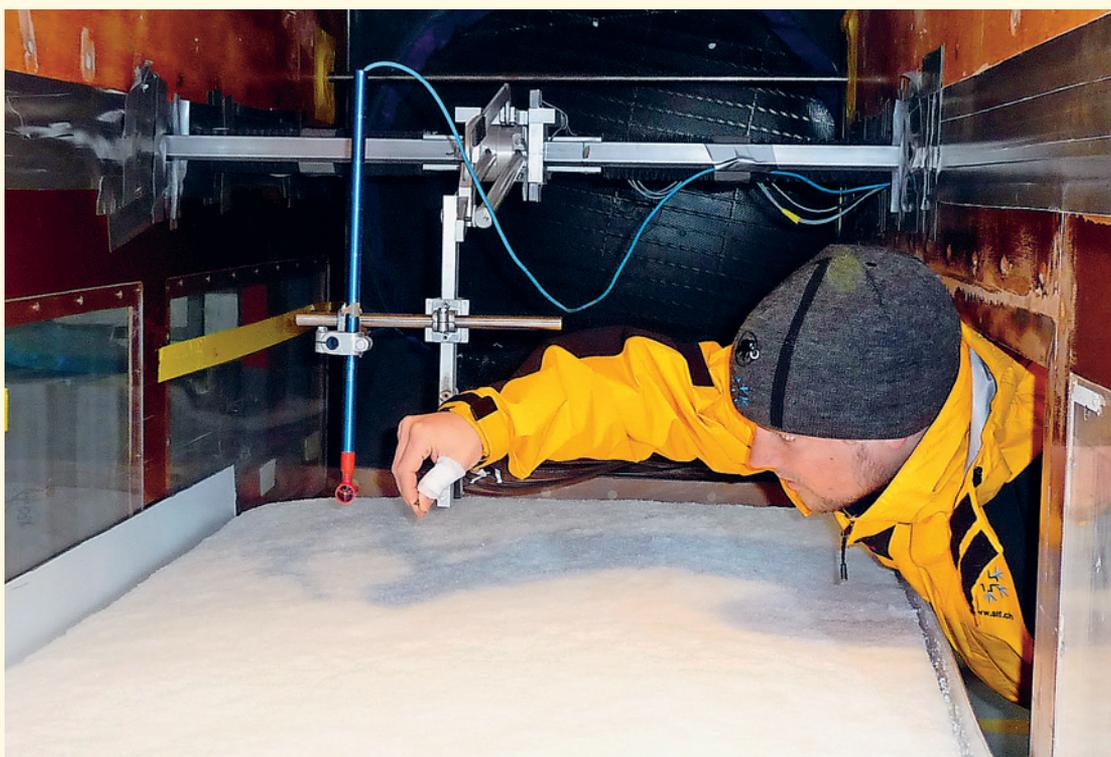
En haut: avalanche de Wildi près de Davos, GR; en bas à gauche: vue aérienne des dépôts de l'avalanche de Wildi; en bas à droite: hauteurs des dépôts de l'avalanche de Wildi calculées grâce aux modèles de surface, obtenus grâce aux drones.

importante pour l'exploitation hydraulique ou l'alerte en cas de crues. Il serait aussi possible d'optimiser la préparation des pistes de ski ou de déterminer le meilleur emplacement pour les systèmes de déclenchement d'avalanches artificielles. Y. Bühler reçoit déjà des demandes de la part de praticiens qui souhaiteraient utiliser cette nouvelle technologie de mesure. Sur mandat du canton des Grisons, il survole ainsi une zone d'Engadine afin de déterminer l'influence des clôtures pare-vent sur le transport de la neige par le vent. (chu)

[www.slf.ch/more/drones](http://www.slf.ch/more/drones)

[www.slf.ch/more/teledetection](http://www.slf.ch/more/teledetection)

## NEIGE ET GLACE Une étude plus précise du transport de la neige par le vent grâce à une console de jeu



Dans la soufflerie du SLF, les chercheurs étudient le transport de la neige par le vent.

Le vent peut transporter de grandes quantités de neige. Il influence ainsi fortement la répartition de la neige dans les régions alpines et polaires. Des avalanches peuvent se former dans les endroits où de la neige soufflée s'accumule en abondance. À Davos, dans la soufflerie de 14 mètres de long, des chercheurs du SLF étudient de ce fait le transport de la neige par le vent. Ils veulent par exemple mieux comprendre le déroulement de ce phénomène en fonction de la force du vent et des propriétés du manteau neigeux. À cet effet, ils produisent du vent à des vitesses pouvant atteindre 70 km/h dans des conditions contrôlées, et des turbulences proches de la réalité juste au-dessus de la surface de la neige.

Dans le cadre de sa thèse de doctorat, Philip Crivelli étudie les formes

d'érosion générées par le vent à la surface de la neige grâce à un appareil à l'origine développé comme capteur de mouvement pour une console de jeu à l'ordinateur. À l'aide d'un capteur infra-rouge, il détermine la structure de la surface. P. Crivelli utilise cette aptitude pour effectuer, dans la soufflerie, des mesures tridimensionnelles à haute résolution de la surface de la neige, et suivre les modifications de celle-ci au fil du temps. Les chercheurs ont recours à d'autres méthodes de mesure en parallèle, à l'image d'un compteur de particules de neige ou de la « shadowgraphie ». Cette dernière consiste à éclairer d'un côté de la soufflerie les particules de neige en saltation, et à les enregistrer grâce à une caméra à haute vitesse de l'autre côté. La succession des images ombroscopiques permet alors aux

scientifiques de déterminer la vitesse, la taille et la distribution spatiale des particules de neige transportées.

### **Le transport de la neige par le vent est un phénomène complexe**

Grâce à ce dispositif expérimental, P. Crivelli et ses collègues peuvent suivre pour la première fois avec précision les processus d'érosion et de dépôt des particules de neige par le vent. Les turbulences proches du sol jouent un rôle important tandis que les particules impactantes peuvent détacher d'autres particules du manteau neigeux. Différentes caractéristiques de ce dernier interviennent également. Comme les diverses particules de neige sont reliées entre elles

par de fins pontages de glace, une certaine force sera nécessaire pour casser ces liaisons, avant que le vent ne soit un vecteur de transport. Enfin, la surface de la neige en constante évolution influence elle aussi ce transport de la neige par le vent. Les mesures dans la soufflerie permettront à l'avenir aux chercheurs de mieux décrire ce phénomène complexe dans les modèles météorologiques et climatiques. *(mbe)*

[www.slf.ch/more/soufflerie](http://www.slf.ch/more/soufflerie)

## NEIGE ET GLACE **L'art du snowfarming**

Depuis quelques années, les stations de sports d'hiver misent de façon accrue sur le snowfarming pour stocker la neige pendant l'été. À cet effet, vers la fin de l'hiver, de la neige artificielle en volume important est produite en plein air dans des sites appropriés. Accumulée en tas, elle est ensuite recouverte d'une couche isolante, de sciure de bois par exemple, qui empêche la neige sous-jacente de fondre. La neige ainsi conservée sert de base à la préparation des pistes de ski de fond, de ski alpin ou des tremplins. Grâce à des relevés de balayage laser à haute résolution dans deux sites de snowfarming, des chercheurs du SLF ont découvert qu'environ trois quarts de la neige pouvaient être conservés l'été. Ils ont de surcroît adapté le modèle informatique SNOWPACK de façon à prévoir la quantité de neige perdue. Les chercheurs uti-



La neige stockée l'été permet de préparer des pistes de ski de fond ou de ski alpin au début de la saison hivernale, et ce, indépendamment de la météo.

lisent désormais ce modèle pour déterminer entre autres les sites favorables au snowfarming. *(mbe)*

Matthias Bürgi,  
Birmensdorf

«Un jour par semaine, je travaille dans le domaine viticole de Rütihof que ma femme et moi exploitons ensemble à Uerikon. Les activités dans notre vignoble et le travail de bureau se complètent ainsi très bien. J'aime entretenir les prés à litière, les haies et les murs en pierres sèches sur nos terres.»



#### RÉVÉLER LES MODIFICATIONS DU PAYSAGE

Matthias Bürgi est spécialiste en sciences de l'environnement et dirige l'Unité de recherche Dynamique du paysage. Les chercheurs de cette Unité étudient la croissance des arbres, la propagation des espèces et la modification des pay-

sages, tout en prenant en compte le changement climatique. Dans ses projets en particulier, M. Bürgi se concentre surtout sur l'histoire du paysage: «Les rétrospectives nous permettent de mieux comprendre le présent.»



Le paysage est un fondement essentiel de la vie et de l'économie. Mais il est constamment en mouvement: là où les vaches paissaient jadis se dressent aujourd'hui des immeubles d'habitation et de bureaux, sur les anciens sols marécageux poussent des légumes. Dans les régions densément peuplées notamment, la pression exercée sur les paysages naturels est grande. Les chercheurs du WSL étudient les modifications des paysages et leurs causes, ainsi que leurs répercussions sur l'être humain et l'environnement.

Possibilité de s'abonner gratuitement à  
DIAGONALE: [www.wsl.ch/diagonale](http://www.wsl.ch/diagonale)

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

## IMPRESSUM

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

Texte:  
Lisa Bose (lbo), Martin Heggli (mhe),  
Christine Huovinen (chu), Beate Kittl  
(bki), Reinhard Lässig (rlä), Sara  
Niedermann (sni), Birgit Ottmer (bio),  
Stephanie Schnydrig (ssc)

Direction rédactionnelle:  
Lisa Bose, Christine Huovinen;  
[diagonal@wsl.ch](mailto: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: Sihldruck 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  
2017: Magazine du WSL Diagonale,  
1/17. 36 p. ISSN 2296-3596

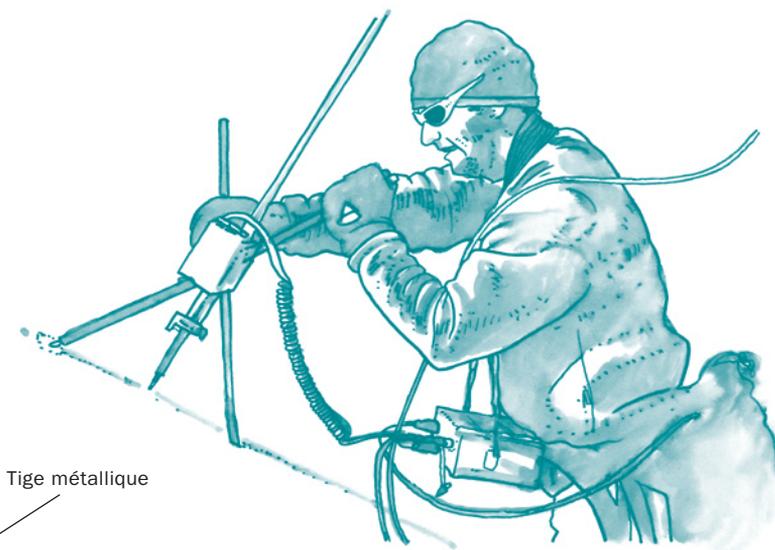
## PERSONNES



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

# SNOWMICROPEN

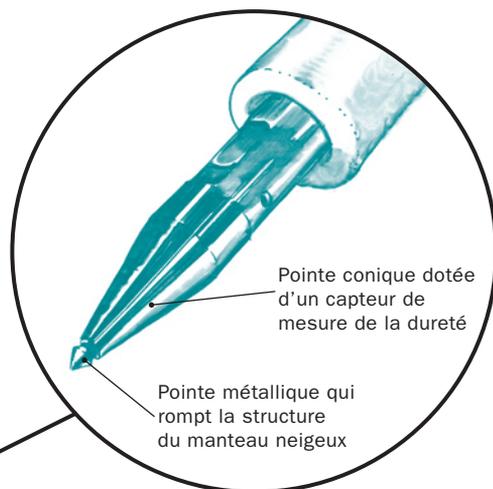
Amplificateur du signal de mesure



Tige métallique

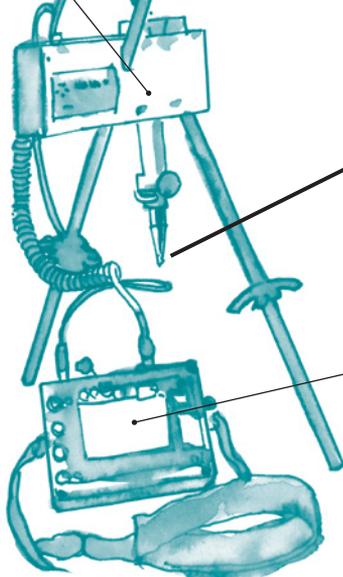
Moteur qui entraîne la tige métallique. La pointe métallique pénètre ainsi dans le manteau neigeux.

Bâtons de ski pour positionner l'appareil dans la neige

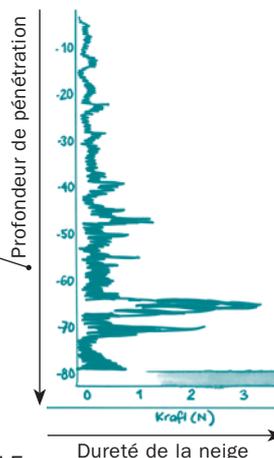


Pointe conique dotée d'un capteur de mesure de la dureté

Pointe métallique qui rompt la structure du manteau neigeux



Boîtier de commande électronique alimenté par batterie et disposant d'un écran



Le SnowMicroPen (micro-pénétrromètre nivologique) développé par le SLF mesure la dureté du manteau neigeux. Sans qu'il soit nécessaire de peller de grandes quantités de neige, la mesure obtenue permet de déduire la densité et la structure de la neige, et de ce fait la stratification du manteau neigeux – un facteur important pour la formation des avalanches.

Vidéo à l'adresse:  
[www.wsl.ch/schmilblick](http://www.wsl.ch/schmilblick)





**Les drones:** De nouvelles perspectives s'ouvrent à la recherche sur la neige, p. 30



**Le lièvre variable:** Un perdant à l'heure du changement climatique? p. 26

## SITES

### **Birmensdorf**

Eidg. Forschungsanstalt  
für Wald, Schnee und  
Landschaft WSL  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
Phone 044 739 21 11  
Fax 044 739 22 15  
wslinfo@wsl.ch  
www.wsl.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

### **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  
Telefon 081 417 01 11  
contact@slf.ch  
www.slf.ch

### **Cadenazzo**

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

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

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

