

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

Pas de demi-mesure: les recherches sur l'extrême

N ° 2
—
20

Changement climatique: à quelle vitesse s'effectue la migration des arbres? p. 23

Éclairage nocturne: les réserves naturelles nécessitent des zones tampon, p. 28

Avalanches de toit: éviter les dangers venus d'en haut, p. 32

ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,

En août, Koni Steffen, notre directeur, a péri au cours d'un accident alors qu'il menait ses travaux de recherche au Groenland. Son décès nous a tous profondément bouleversés. Peu après ce tragique accident est paru un article scientifique auquel il avait participé. Cet article s'intitule «Methods for predicting the likelihood of safe fieldwork conditions in harsh environments». On peut y lire à propos du Groenland: «Dans cette région, le climat extrême peut même causer la mort». Oui, effectuer des recherches sur les événements et les environnements extrêmes n'est pas sans danger. Les chercheurs en sont bien conscients, et à l'aide de concepts de sécurité, nous essayons de réduire au maximum les risques. Malheureusement, la sécurité absolue n'existe pas.

Malgré tout, ou justement pour cette raison, notre recherche sur les extrêmes est cruciale. Elle permet en effet de mieux comprendre les événements extrêmes afin de les maîtriser. Aussi continuerons-nous de nous consacrer à cette thématique. Nous avons ainsi lancé notre programme de recherche «Les Extrêmes» et à partir de 2021, notre site de Davos accueillera un centre de recherche sur le changement climatique, les événements extrêmes et les dangers naturels.



Christoph Hegg
Acting Director du WSL



L'Extrême



PENSER L'IMPENSABLE

Les événements extrêmes sont rares, leurs conséquences peuvent toutefois être désastreuses pour l'être humain.

Mais comment définir «l'extrême»?

→ 4



VIVRE SOUS LA MENACE

Des éboulements dévastateurs se produisent aussi en Suisse. Grâce à la recherche, à la surveillance et aux systèmes d'alerte, la population est mieux protégée aujourd'hui – même si des risques résiduels demeurent.

→ 10



CERTAINS AIMENT L'EXTRÊME

Rapidité, longévité ou ténacité: diverses stratégies aident les plantes à coloniser malgré tout les habitats inhospitaliers.

→ 14



SÉCHERESSE

2018 a été l'année la plus sèche depuis longtemps en Suisse – ce qui n'a pas été sans conséquence pour la forêt.

→ 18

THÈMES-CLÉS

22 FORêt

25 BIODIVERSITÉ

28 PAYSAGE

30 DANGERS NATURELS

32 NEIGE ET GLACE

PORTRAITS

21 Käthi Liechti, géographe

27 Gabor Reiss, chef de la pépinière expérimentale

34 Carolin Willibald, physicienne

35 IMPRESSUM, À L'HORIZON

36 LE SCHMILBLICK: la loupe et le tamis à neige

En hommage à Konrad Steffen, professeur et directeur du WSL

2 janvier 1952 – 8 août 2020



Koni, comme l'appelaient ses amis, était citoyen du monde: il se sentait à l'aise dans sa ferme à Hausen am Albis, entouré de sa famille, tout comme dans les glaciers au Chili, au Groenland dans «son» Swiss Camp, mais aussi en Antarctique. La neige et la glace formaient un couple indissociable au cœur de sa recherche depuis son mémoire universitaire à Zurich et ses années d'exercice en qualité de professeur à l'université du Colorado aux Etats-Unis, de 1991 à 2012.

En 2012, Konrad Steffen a été élu directeur du WSL par le Conseil fédéral. Il a su utiliser la force communicative de son enthousiasme et son immense réseau pour imposer de plus en plus le WSL comme institution de recherche reconnue à l'échelle internationale. Il a renforcé les interfaces entre la forêt, la biodiversité, le paysage, la neige et la glace, et les dangers naturels. Son objectif: une meilleure compréhension systémique, à partir notamment des effets d'une surexploitation anthropique de la nature et du changement climatique en progression.

Koni et son travail dans des environnements extrêmes sont indissociables. Par son optimisme communicatif, il motivait les troupes. Ses solutions étaient toujours pragmatiques et empreintes d'une grande humanité. Ces qualités ont fait de lui un Directeur respecté d'institutions de recherche, un scientifique convaincant lors des audiences devant le Congrès américain et dans les Organisations internationales, et un chef de camp source de grande inspiration au Groenland. Mais surtout, Koni Steffen était un collègue généreux qui, pour la science et la recherche, gardait toujours à l'esprit une vision d'ensemble et s'engageait dans ce sens.

Ces dernières années, en été, l'environnement du Swiss Camp au Groenland s'était transformé en lac, où des ruisseaux de fonte impétueux s'engouffraient dans des «moulins» et disparaissaient dans les profondeurs de la calotte glaciaire. Sous la tente, Konrad Steffen redonnait des forces à ses invités en leur offrant un expresso et du chocolat, et en leur transmettant toujours les faits scientifiques sur le changement climatique. Quiconque redescendait de la plate-forme quelques heures plus tard avait compris ce que la fonte des glaces près du Swiss Camp signifiait pour le Groenland et pour le monde entier. Chaque visiteur devenait ainsi un ambassadeur de la protection du climat.

Koni n'est jamais revenu de cette calotte glaciaire en train de fondre qui comporte désormais une déchirure à la surface. Avec lui, nous avons perdu un chercheur exceptionnel, un ambassadeur scientifique international, un Directeur visionnaire, un collègue généreux et un ami de confiance.

Thomas Stocker, prof., Université de Berne

L'EXTRÊME Les événements extrêmes sont rares mais peuvent entraîner de graves conséquences pour l'être humain. Deux chercheurs du WSL discutent de la définition véritable de «l'extrême» et de l'importance d'envisager l'impensable.

Au-delà des expériences vécues



L'hiver 1999, des avalanches d'ampleur extrême se sont produites à différents endroits des Alpes. Les dégâts furent importants et les victimes nombreuses. Ainsi, 31 personnes ont péri lors de l'avalanche survenue à Galtür, en Autriche, le 23 février 1999.



Des phénomènes naturels extrêmes surviennent régulièrement en Suisse, par exemple la crue de 2005 qui a occasionné des dégâts d'environ trois milliards de francs. Ou l'éboulement au Piz Cengalo 2017 qui a entraîné la mort de huit randonneurs et la destruction en partie du village de Bondo par des laves torrentielles (voir aussi page 10). Ou encore l'été 2018 d'une extrême sécheresse pendant lequel des arbres ont déclenché la coloration précoce de leur feuillage.

Quand percevons-nous un événement comme extrême?

MB: «L'extrême, c'est ce qui se situe au-delà des expériences vécues. Ce sera par exemple un semi-marathon pour un non-sportif, une course de montagne de deux cents kilomètres pour un sportif. Lors des catastrophes naturelles, la perception sera aussi subjective. Si une victime perd tout à cause d'un événement de faible ampleur, elle le percevra comme plus extrême qu'une grande catastrophe qui, couverte par son assurance, ne l'aurait pas menacée existentiellement».

MP: «Les conséquences pour les personnes sont un facteur prépondérant. Au niveau économique, les tremblements de terre et les cyclones sont les pires phénomènes qui soient en raison de leur vaste portée. Et les événements extrêmes dans les pays riches car nombre de précieuses infrastructures peuvent y être détruites.»

Et du point de vue scientifique?

MP: «Les extrêmes relèvent de l'extraordinaire. Il s'agit de moments – ou d'événements – très éloignés de la moyenne.»

Photo: Stefan Margreth, SLF; texte: cho

Galtür (A).

MB: «Tout dépend aussi de l'échelle: quelque chose d'extrême à l'échelle locale apparaît souvent, à une plus vaste échelle, comme normal.»

Pour les habitants, sera considérée par exemple comme extrême l'inondation de leur cave par un torrent de boue – parce qu'en moyenne, ce torrent ne débordera à ce point qu'une fois par siècle. Pourtant, au niveau de la Suisse, un tel événement n'est pas exceptionnel: comme le pays compte environ deux mille torrents, du point de vue statistique, une telle crue centennale a lieu environ vingt fois par an. Cette fréquence statistique est une idée centrale dans la gestion des événements extrêmes, notamment lorsqu'il s'agit d'investissements dans les mesures de protection. Il s'agit, pour chaque franc dépensé, d'obtenir la protection maximale supplémentaire. Parce que, si quelque chose se produit quelque part, on a spontanément le besoin de prendre justement des mesures à l'endroit en question – ce qui n'est pas forcément efficace.

Or, pour évaluer l'ampleur d'une crue centennale ou d'une avalanche tri-centennale, des données et calculs de qualité sont nécessaires: des modélisations informatiques étalonnées grâce aux événements passés. Plus les événements que l'on souhaite simuler dépassent toutefois les observations faites jusqu'ici, plus les résultats obtenus seront imprécis. Pour certains types d'événements, on peut même assister à un basculement du système quasiment impossible à prédire avec les modèles. De façon symbolique, la lumière n'est plus tamisée, elle s'éteint complètement. Où se situe ce point de basculement, et que se passe-t-il ensuite? Souvent, c'est la grande inconnue. Pour les arbres par exemple, un seul été sec entraîne une croissance réduite. Mais plusieurs années consécutives de sécheresse causent potentiellement leur mort (voir aussi page 18).



Michael Bründl est géographe; il dirige le groupe de recherche Dynamique des avalanches et gestion des risques, ainsi que le programme de recherche CCAMM du WSL.



Marco Pütz est géographe économique; il dirige le groupe de recherche Économie et développement régionaux au WSL.

Lorsque les expériences font défaut

Parfois, le WSL se concentre sur des événements extrêmement rares, certes possibles, mais qui ne surviendront peut-être jamais. Par exemple lorsque les dégâts pourraient être immenses, à l'image d'une crue dans le Rhin ou l'Aare qui ne se produit statistiquement qu'une fois tous les dix mille ans. Au bord de ces cours d'eau se trouvent plusieurs centrales nucléaires. Afin qu'elles puissent, comme la loi le prescrit, faire face à un tel événement, les exploitants doivent savoir quelles masses d'eau menacent de s'écouler.

Peut-on effectuer des calculs fiables sur un tel événement lorsque les valeurs expérimentales font défaut?

MB: «Oui. Avec l'ordinateur, nous pouvons modéliser les processus physiques à l'œuvre dans l'atmosphère et dans le cours d'eau. Nous obtenons ainsi une idée des scénarios qui ne se sont pas encore concrétisés mais qui pourraient exister.»

MP: «Les scénarios sont importants pour notre préparation. Envisager le jamais vu, et même l'impensable, c'est la première étape de la gestion de ces événements.»

A-t-on besoin d'un événement soudain pour parler d'extrême?

MP: «Non, un processus insidieux peut aussi prendre des proportions jusque là inconnues et se situer au-delà des expériences vécues. Il en est



L'extrême pour les victimes: de violentes précipitations ont déclenché une lave torrentielle à Bissone (TI), le 29 août 2020; boue et éboulis ont endommagé les maisons.

ainsi de la perte de la diversité des espèces ou de l'étalement urbain sur le Plateau qui n'ont jamais été aussi marqués qu'aujourd'hui. Cela relève également de l'extrême.»

MB: «Dans de nombreux cas, je vois un parallèle avec les événements météorologiques. Les événements individuels ne doivent pas forcément être si exceptionnels que cela. Une combinaison malheureuse suffit parfois à causer des dégâts extrêmes.»

MP: «Ou lorsqu'une intervention humaine a lieu, comme ce fut le cas avec l'incendie de forêt de Loèche en 2003, déclenché par un pyromane. L'association été caniculaire/être humain a été dramatique.»

MB: «La perception de ce qu'est un événement extrême évolue – notamment parce qu'avec le changement climatique, les longues périodes de sécheresse ou de précipitations fortes et violentes deviendront plus fréquentes. Ce que nous percevons aujourd'hui encore comme extrême, pourra être considéré comme normal dans quelques décennies.»

Les recherches sur les extrêmes actuels nous aideront ainsi à définir une gestion efficace de la normalité future. Pour la science, c'est sans aucun doute une excellente raison de se concentrer sur de tels événements extrêmes, événements qui dépassent le vécu. *(bio)*



En général, la circonférence du tronc ne donne que des renseignements très imprécis sur l'âge de l'arbre. Un châtaignier dont le pourtour du tronc mesure huit mètres, peut par exemple avoir entre 300 et 700 ans.

Ce châtaignier est impressionnant, avec son tronc dont la circonférence atteint 8,62 mètres. Il figure aux côtés de plus de 310 autres arbres dans l'inventaire des châtaigniers géants mis au point par Patrik Krebs, géographe au WSL, pour le canton du Tessin et le Val Mesolcina (GR). Tous les arbres individuels dont la circonférence de tronc dépasse sept mètres, sont décrits en détails et accompagnés de photos.



Chaque arbre a sa propre histoire. Jusque tard dans le XIX^e siècle, la population récoltait les châtaignes l'automne comme aliment de base pour l'hiver. Avec l'inventaire des châtaigniers, le WSL veut faire connaître ces arbres géants au grand public et aux autorités, et encourager leur protection.

Châtaignier à Lostallo (TI).

Quand la montagne rejoint la vallée. Des éboulements dévastateurs se produisent aussi en Suisse. Grâce à la recherche, à la surveillance et aux systèmes d'alerte, la population est mieux protégée aujourd'hui – même si des risques résiduels demeurent.

Vivre menacés – c'est le quotidien des habitants de Brienz/Brinzauls (GR). Leur village se situe dans une zone de glissement géologique qui se déplace de plus d'un mètre chaque année en direction de la vallée. Les maisons se fissurent, les routes deviennent impraticables, des trous apparaissent dans les pâturages. Dans la montagne, au-dessus du village, jusqu'à 22 millions de mètres cubes de roche sont en mouvement. Des rochers qui pèsent plusieurs tonnes dévalent régulièrement la pente et roulent jusqu'à la route cantonale. Jusqu'à présent, aucun dégât n'a été enregistré, en partie grâce à un système d'alerte qui bloque automatiquement la route en cas de danger. Depuis quelques années, les mouvements s'accélèrent; à certains endroits de la pente, la montagne se déplace de quatre à six mètres par an.

Lorsque la roche est en mouvement, d'énormes éboulements peuvent se produire dont l'impact s'étend sur des régions entières. En Suisse, le plus dévastateur des siècles derniers a eu lieu en 1806 à Goldau (SZ). Jusqu'à 40 millions de mètres cubes de roche ont dévalé la montagne à partir du Rossberg. Ils ont recouvert plusieurs villages et déclenché un raz-de-marée dans le lac de Lauerz, causant la mort de 457 personnes. Ce nombre élevé s'explique en partie par les tentatives rares de la population de se mettre à l'abri. Celle-ci savait



Depuis l'éboulement du Piz Cengalo le 23 août 2017 et les laves torrentielles consécutives, d'énormes quantités de débris se trouvent dans le Val de la Bondasca.

certes depuis longtemps que la montagne présentait un danger. Le jour de l'événement, des rochers se sont détachés à plusieurs reprises, ils se sont abattus dans les forêts provoquant des nuages de poussière. Mais de tels signes étaient apparemment trop familiers, quasiment personne ne s'est douté de la catastrophe qui allait survenir.

Aujourd'hui tout est différent: les zones de glissement connues, à l'image de celle de Brienz, sont sous observation permanente. Sur mandat du canton et de la commune, les bureaux d'ingénieurs surveillent les mouvements de pente en continu à l'aide de mesures laser, GPS et radar. Si ceux-ci s'accélèrent de façon critique, il est possible de déclencher une alarme et d'évacuer le village. «Le détachement d'un gros bloc de roche s'annonce en général quelques semaines à l'avance», explique Andrin Caviezel, collaborateur scientifique sur les processus d'éboulement au WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. Il passe tous les jours à côté de Brienz lorsqu'il se rend à son travail: «Ce qui se produit là-bas est effrayant, mais aussi fascinant du point de vue scientifique».

Les données aident à calculer les événements extrêmes

Lui-même et d'autres chercheurs du SLF effectuent aussi des mesures à Brienz ou utilisent des données, issues par exemple du balayage laser, pour différentes analyses. Grâce à des comparaisons temporelles, ils mettent ainsi en évidence les déformations de la pente. Ils étudient d'autre part la quantité d'eau provenant de la fonte des neiges, étant donné l'importance de l'eau dans les mouvements de pente. Les analyses aident à mieux comprendre les processus en œuvre dans la montagne et à affiner le modèle géologique. Les chercheurs collectent de surcroît des données pour le programme de simulation RAMMS qui permet de calculer divers scénarios sur la menace d'un éboulement en montagne.

Informations actuelles sur le glissement de terrain de Brienz (en allemand):
<https://bit.ly/brienzerrutsch>



Pente en mouvement en amont de Brienz: Yves Bühler, chercheur au SLF, prépare le drone pour effectuer des photographies aériennes.

Les données de mesure peuvent améliorer le programme et rendre dès lors plus rapide et plus précise l'évaluation d'événements extrêmes futurs.

Après l'éboulement au Piz Cengalo, les chercheurs du SLF ont aussi utilisé de telles simulations. Là, trois millions de mètres cubes de roches se sont détachés en août 2017. Huit personnes en déplacement dans la vallée de la Bondasca ont péri. L'éboulement a déclenché une lave torrentielle; la boue et les éboulis se sont déversés sur le village de Bondo qui, grâce à un système d'alerte, a pu être évacué à temps. Comment la lave torrentielle s'est-elle formée? La question n'a pas entièrement été clarifiée. Explication possible: les masses rocheuses détachées ont exercé une pression sur l'eau contenue dans des dépôts plus anciens, entraînant la formation de coulées détritiques qui ont gagné Bondo.

Qu'en serait-il si ...?

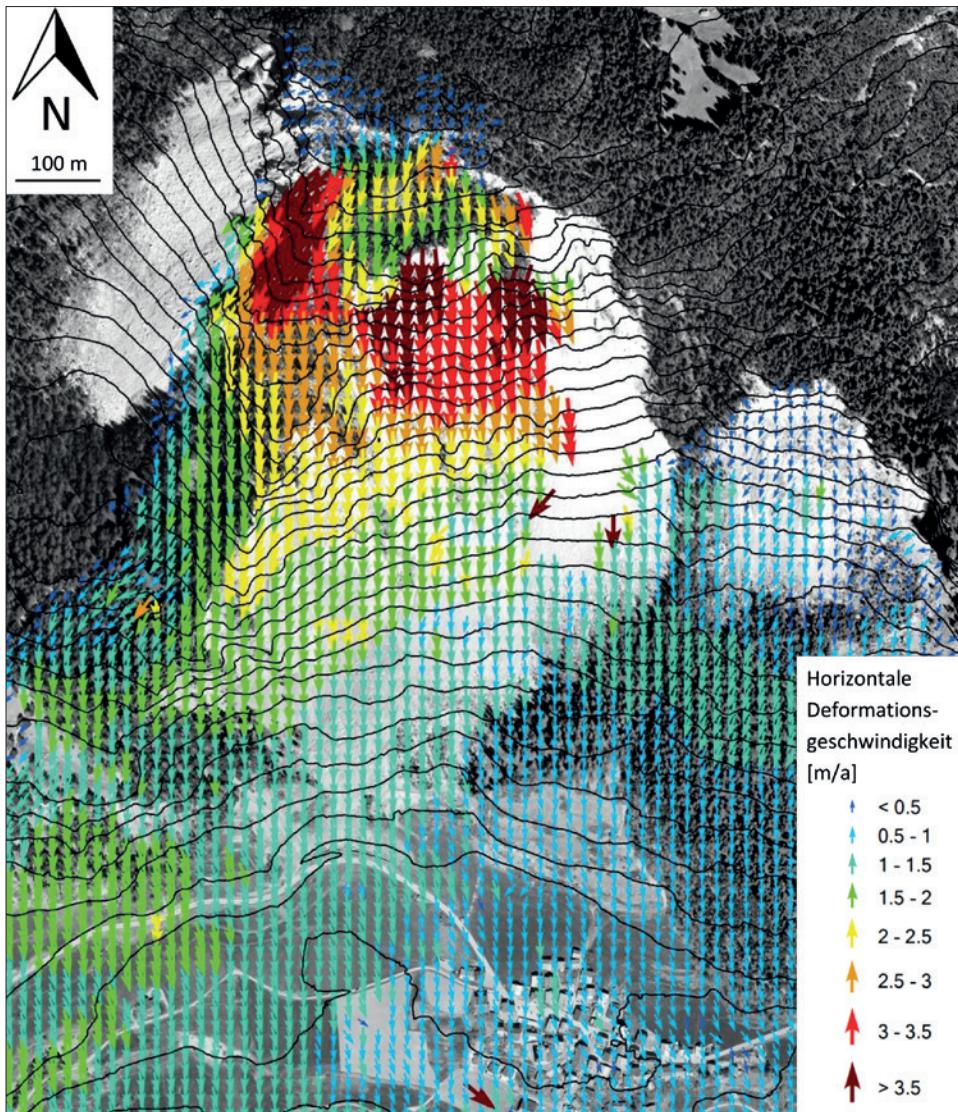
Un tel événement pourrait se répéter: un à deux millions de mètres cubes de roche se déplacent toujours au Piz Cengalo. Le volume est certes inférieur à celui de 2017. Mais que se passerait-il si la masse ne se détachait pas l'été mais l'hiver? L'eau de fonte issue de la neige déclencherait-elle une lave torrentielle encore plus destructrice? Les éboulis pourraient-ils s'accumuler dans la rivière qui, transformée en bassin de rétention, serait susceptible, en cas de rupture, d'inonder la ville de Chiavenna en aval? «Il est important d'envisager aussi les pires scénarios», explique Jürg Schweizer, directeur du SLF, qui appartenait à un groupe d'experts chargé par le canton d'analyser, après l'éboulement d'août 2017, les événements et conséquences des évolutions potentielles.

Pour évaluer les conséquences, le groupe RAMMS a dans un premier temps développé un nouveau module dans son programme de simulation. Celui-ci est capable de modéliser des chaînes d'événements – dans ce cas la combinaison entre un éboulement, une avalanche et une lave torrentielle. L'équipe a ainsi calculé des scénarios pour un éboulement l'hiver en faisant varier le volume de roche détachée, la température et le taux en eau du manteau neigeux.

Les résultats sont rassurants: vu le faible volume de roche, il serait même peu probable qu'en hiver le mélange de neige, de roche et d'eau atteigne Bondo ou la rivière Mera. Mais cela serait éventuellement possible au printemps si de fortes pluies humidifiaient davantage le manteau neigeux. En revanche, les mayens de Lumbardui et de Lera situés en amont du village de la vallée de la Bondasca, sont fortement menacés. Sur la base de ces résultats, le canton les a classés en zone rouge de danger. De surcroît, le Piz Cengalo est désormais surveillé en permanence grâce à des mesures radar, jusqu'à ce que les nouveaux ouvrages de protection aient été construits à Bondo.

Les enchaînements, à l'image de l'éboulement et des laves torrentielles consécutives à Bondo, pourraient survenir plus fréquemment à l'avenir sur fond de changement climatique. Les précipitations extrêmes augmentent en effet, la fonte des glaciers se traduit par la formation de nouveaux lacs et les flancs de montagne deviennent instables car les glaciers qui les soutenaient ont disparu. Comment les dangers naturels évoluent-ils de ce fait dans les Alpes? Des scientifiques étudient actuellement la question dans le programme interdisciplinaire de recherche du WSL, CCAMM (Climate Change Impacts on Alpine Mass Movements). De premières bases fondamentales sont élaborées pour développer de nouvelles stratégies de protection. Un nouveau centre de recherche, fondé

Exposé au «Forum für Wissen 2019» sur l'éboulement de Cengalo (en allemand):
www.wsl.ch/cengalo



Grâce au balayage laser du glissement de terrain de Brienz, il est possible de calculer des champs vectoriels. Les flèches indiquent la direction et l'intensité des déformations de la pente (moyenne annuelle calculée pour la période allant du 15 juin 2019 au 6 décembre 2019).

par le canton des Grisons et le WSL avec l'aide de l'EPF de Zurich, doit étudier le thème de façon exhaustive.

À Brienz, les autorités ne cessent d'observer la situation avec attention. Après d'intenses chutes de pluie, le mouvement peut s'accélérer, comme en juin 2020 où des blocs de pierre ont à nouveau roulé jusqu'à proximité de la route cantonale. De telles situations relèveront encore du quotidien à l'avenir: selon les calculs de bureaux d'ingénieurs, des éboulements de roche pouvant atteindre 100'000 mètres cubes – soit environ 100 maisons individuelles – pourront survenir avec une forte probabilité. Il est en revanche très peu probable que l'ensemble du volume de 22 millions de mètres cubes en mouvement en amont de Brienz, se détache d'un seul coup. La commune effectue en ce moment des forages dans la montagne. Les connaissances ainsi obtenues aideront à déterminer de façon exacte la stratification géologique et à affiner encore les scénarios possibles. Même si la sécurité absolue n'existe pas, les mesures et les calculs permettent d'apporter une protection optimale à la population. (cho)

Pour en savoir plus sur le programme de recherche CCAMM:
ccamm.sif.ch



Le tamaris des Alpes (*Myricaria germanica*, au premier plan) peut même survivre sous un mètre de sable et de gravier.

HABITATS Vivre de préférence dans l'inconfort. Ensevelis dans le gravier, gelés, emportés par le vent: certains organismes vivants peuvent coloniser les habitats les plus extrêmes. Comment y parviennent-ils – et pourquoi est-ce intéressant pour la recherche?

Bottes de pêcheur aux pieds, Sabine Fink se tient le long de la Moesa qui se fraie un chemin à travers le Misox (GR), recherchant les objets de son étude. Elle contrôle leur emplacement sur une carte. Elle enfile un gilet de sauvetage, commence à marcher dans l'eau et inspecte le talus. «Tant que l'eau ne dépasse pas le genou, cela va avec le courant, après c'est plus compliqué.» Sur la carte, un triangle bleu indique l'ancien emplacement du tamarin des Alpes (*Myricaria germanica*).

Mais la Moesa a arraché la plante, en quête d'un nouveau lit lors de la crue du siècle en octobre 2019. «Auparavant, l'eau était peu profonde ici; maintenant, il s'agit du lit majeur», explique Sabine Fink. Le tamarin des Alpes est typique des bancs de gravier, une caractéristique importante des rivières «sauvages». Les «bancs de gravier se sont raréfiés avec l'aménagement des cours d'eau et le tamarin des Alpes a disparu de maints endroits – notamment sur le Plateau» ajoute-t-elle.

Dans le programme de recherche «Aménagement et écologie des cours d'eau», la biologiste, en collaboration avec des ingénieurs en hydraulique de l'EPF et des spécialistes des poissons de l'Eawag, étudie le fonctionnement du transport des éboulis et de l'écoulement des eaux, les impacts de la production d'électricité, et l'apport des mesures de revitalisation. Toutes ces informations permettent d'évaluer le fonctionnement de la Moesa en tant qu'habitat. Sabine Fink mesure la station et la taille du tamarin des Alpes, et rassemble quelques petites feuilles pour l'analyse génétique. «La diversité génétique et les informations sur l'habitat indiquent dans quelle mesure le site est adapté à la survie du tamarin des Alpes.»

Pour de plus amples informations sur l'habitat du tamarin des Alpes (en allemand):
www.wsl.ch/tamrindesalpes

Des endroits où les autres n'arrivent pas à survivre

Les animaux, plantes ou champignons qui perdurent dans des conditions extrêmes appliquent le plus souvent deux des trois stratégies écologiques. Les espèces pionnières sont vite sur place lorsque des crues, des avalanches ou des incendies ont créé de nouveaux espaces. Elles y poussent et s'y multiplient rapidement avant que d'autres espèces ne puissent s'implanter. Les organismes résistants au stress ne misent pas, eux, sur la rapidité, mais sur la longévité et la ténacité. Ces deux groupes peuvent supporter les conditions les plus hostiles dans lesquelles les autres ne parviennent pas à survivre: un froid glacial, la sécheresse, une pénurie de substances nutritives. Leur autre point commun: dans des sites moins extrêmes, ils sont désavantagés par rapport aux espèces qui appliquent la troisième stratégie de survie, c'est-à-dire les espèces très fortes dans la lutte pour accaparer place, lumière et substances nutritives.

Les espèces pionnières créent souvent des conditions qui permettront à d'autres organismes de vivre. Beat Frey, microbiologiste au WSL, étudie des microorganismes qui prospèrent sur les éboulis de glaciers en train de fondre, et même dans la glace elle-même. Ils résistent alors aux rayonnements UV extrêmes et à des variations de températures pouvant atteindre 40 degrés. Au pied du Glacier du Damma (UR), les chercheurs du WSL ont inventorié au moins 1000 espèces de bactéries et 200 de champignons. «Elles transforment des déserts rocailleux apparemment morts en sols», indique Beat Frey.

Les espèces tolérantes au stress colonisent au contraire les sites extrêmes à long terme. En 2011, des botanistes ont trouvé sur le Dom (4545 mètres d'altitude) une saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*) en fleur, dont ils ont estimé l'âge à 30 ans. «Pour les espèces spécialisées, les conditions ne sont, dans certains cas, pas si inhospitalières que cela», nuance Christian Rixen du groupe Écosystèmes montagnards du SLF, qui examine la flore des sommets. L'hiver, la neige joue le rôle d'une couverture protectrice. Les coussinets ou rosettes des plantes emmagasinent la chaleur à proximité des racines. La saxifrage supporte d'être gelée complètement toute la nuit, d'autres plantes stockent des substances antigel.

Ces artistes de la survie présentent pour de nombreuses raisons un intérêt pour la science. Ainsi, dans les sites extrêmes, l'influence du changement climatique est particulièrement nette. «Les évolutions de la végétation en haute montagne sont le plus souvent liées aux modifications du climat», précise Christian Rixen. Dans les sites extrêmes, un nombre d'espèces souvent supérieur à la moyenne sont menacées d'extinction. Sur fond de changement climatique, les habitants des sommets sont par exemple chassés par les concurrents des altitudes inférieures. Les habitats très pauvres en nutriments comme les marais, et les espèces spécialisées qui y vivent, se sont également raréfiés.

Le tamarin des Alpes est typique des paysages de bancs de gravier et des zones alluviales, paysages rares en Suisse, dont d'autres espèces menacées sont aussi tributaires. C'est une vraie pionnière qui présente par ailleurs des caractéristiques de tolérance au stress. Les plantules survivent dans des bancs de gravier asséchés tandis que d'autres jeunes plantes dépérissent déjà. La plante adulte tolère d'avoir «les pieds dans l'eau»; elle peut même, ensevelie à un mètre de profondeur, donner encore de nouvelles pousses qui se développent directement à partir de morceaux de plantes. Le long système racinaire sert non seulement d'ancre pour la plante mais aussi pour la rive – d'où, en France, la plantation de tamarins des Alpes sur des talus aménagés le long des rives.

Repousser les limites

Quelles conditions peut-on qualifier d'extrêmes? La réponse sera différente selon les formes de vie. Pour les plantes de grande taille comme les arbres, la situation est déjà critique à la limite supérieure de la forêt, de 1800 à 2000 mètres d'altitude. «Le port érigé rend difficile l'utilisation optimale de la chaleur du sol, et expose ces plantes au vent et à la neige», explique Peter Bebi, chef du groupe Écosystèmes montagnards du SLF. Les arbres nécessitent une période de croissance d'au moins trois mois à une température moyenne de 6 degrés environ. Les arbres individuels qui sont le plus souvent petits et très vieux, peuvent survivre dans des endroits protégés jusqu'à 3000 mètres d'altitude.



Sabine Fink présente une stratégie de survie des saules sur les bancs de sable et de gravier: des racines extrêmement longues, mises à nu ici par l'érosion.

«En raison du changement climatique, nous nous attendons à ce que la limite supérieure de la forêt se déplace en altitude dans de nombreuses régions, et vers le nord dans l'Arctique», précise Peter Bebi. Un tel déplacement de cette limite supérieure a aussi des répercussions sur le climat, notamment parce que la forêt renvoie moins de rayonnements thermiques dans l'espace que la neige. La diversité des espèces pourrait aussi évoluer parce que les plantes en amont de cette limite bénéficient par exemple de beaucoup plus de lumière, mais doivent supporter pour ce fait des écarts extrêmes de températures, et que les animaux peuvent se mettre moins bien à l'abri. C'est pour ces raisons que Peter Bebi étudie avec son équipe les facteurs qui influencent la croissance des arbres en altitude.

Ainsi, les habitats extrêmes sont non seulement fascinants, mais méritent encore une attention et une protection particulières. Les études sur la propagation potentielle du discret tamarin des Alpes le long de la Moesa donnent des indications sur les chances de survie de cet arbrisseau menacé. Elles révèlent également dans quelle mesure le cours d'eau est proche de l'état naturel ou non. Les chercheurs du WSL vont pour ce faire continuer d'examiner, en bottes de pêcheur et gilet de sauvetage, des cours d'eau sauvages comme la Moesa. (bki)

SÉCHERESSE La forêt soumise au stress. Quel est l'impact d'un été sans pluie sur la forêt? Une initiative de recherche lancée par le WSL après la sécheresse de 2018 donne des éléments de réponse à cette question – ainsi qu'à celle de l'avenir du hêtre sur le Plateau.

Plateforme d'informations sur la détection précoce de la sécheresse en Suisse: drought.ch

L'été 2018 reste lié à des souvenirs de grande chaleur et de pluies rares: lits de rivière desséchés, interdiction de faire du feu en plein air et succession de plusieurs nuits tropicales dans les villes avec des températures supérieures à 20 °C. «Début juillet 2018, les prévisions nous laissaient déjà entrevoir une sécheresse de longue durée», explique Manfred Stähli, hydrologue, chef de l'Unité de recherche Hydrologie de montagne et mouvements de masse. C'est ce que montrent les données de la plateforme d'informations *drought.ch*, que le WSL exploite et anime en collaboration avec d'autres partenaires. Sur cette plateforme sont représentées la sécheresse du moment et la sécheresse escomptée grâce à différents paramètres, par exemple les précipitations, l'écoulement des lacs, l'humidité du sol et l'eau accumulée sous forme de neige.

En ce début juillet 2018 également, les feuilles d'arbres de la région de Schaffhouse changèrent déjà de couleur. Un groupe de chercheurs réagit alors, lançant en août l'initiative de recherche du WSL «Sécheresse 2018». «Nous voulions en apprendre le plus possible sur les répercussions directes de cette sécheresse extrême sur la forêt, sur le potentiel de récupération de celle-ci, et



Les hêtraies d'Ajoie (JU) présentent encore en 2019 des dégâts causés par la sécheresse de l'année précédente.



Pénurie d'eau: le niveau du lac de Joux (VD) était à son plus bas en octobre 2018.

sur la survenue de dégâts durables», explique Andreas Rigling, chef de l'Unité de recherche Dynamique forestière et coresponsable de l'initiative de recherche.

Fin de saison précoce chez certains hêtres

La Suisse a déjà connu de longues périodes de sécheresse, dans les années 1920 et 1940 par exemple, ou dernièrement en 2003 et en 2015. L'élément nouveau cette fois-ci réside dans l'observation de symptômes de sécheresse à vaste échelle non seulement sur les résineux, mais aussi sur les feuillus, notamment sur les hêtres. Jusqu'ici, cette essence était considérée comme assez robuste: les étés caniculaires précédents, seuls quelques arbres avaient présenté des colorations de feuilles dans l'ensemble de la Suisse.

Or en 2018, des groupes complets de hêtres laissèrent tomber leurs feuilles jusqu'à trois mois avant la date habituelle, tout d'abord dans le nord-est de la Suisse, puis dans le nord-ouest jusqu'au Jura. «Avec l'automne avancé, les arbres se protègent afin de ne pas perdre trop d'eau en raison de la forte évaporation», explique Andreas Rigling. Mais les arbres n'ont pu de ce fait continuer à réaliser la photosynthèse et leur croissance s'arrêta plus tôt.

Chez les épicéas et les sapins blancs, la situation n'était pas meilleure. En plus des dégâts causés directement par la pénurie d'eau, les arbres affaiblis souffrissent aussi d'une énorme infestation par les scolytes. Fin 2018, deux fois plus de bois d'épicéa étant infestés par le typographe (*Ips typographus*) par rapport à l'année précédente, des milliers d'arbres durent être évacués hors des forêts.

Pour en savoir plus sur l'initiative de recherche «Sécheresse 2018»: www.wsl.ch/secheresse2018

Les chaudes périodes de sécheresse modifient la forêt

Dans certaines régions de Suisse, le semestre estival de 2018 fut le plus sec depuis le début des mesures – un événement extrême qui, du point de vue statistique, ne se produit que tous les quarante ou cinquante ans. D'abondantes précipitations hivernales mirent fin à cette période. Mais la sécheresse continua de

laisser des traces dans la forêt. Ainsi, environ 20 % des hêtres dont le feuillage s'était coloré de façon précoce en 2018 présentaient encore des dégâts subséquents un an plus tard, par exemple des fentes sur le tronc ou des parties de houppier dépérées. Néanmoins, depuis 2018, seuls 2 % des arbres examinés ont complètement dépéri. «On n'assiste donc pas à un dépérissement des arbres à vaste échelle», nuance Andreas Rigling. Mais la situation pourrait vite changer. «La forêt peut-elle supporter un épisode extrême comme celui de 2018? La réponse dépend avant tout de l'intensité de la sécheresse lors des années qui suivent.» Car le stress hydrique dont souffrent les arbres s'accumule d'épisode en épisode, et les rend moins robustes vis-à-vis d'autres sécheresses et plus vulnérables face à des perturbations ou à des maladies.

Sur fond de changement climatique, les conditions extrêmes à l'image des étés 2003, 2015 et tout récemment 2018, menacent de devenir la norme. Les années sèches sont de surcroît de plus en plus chaudes. «Ces sécheresses aux températures encore plus élevées détermineront l'évolution de nos forêts», précise Andreas Rigling. Des modélisations dans le cadre du programme de recherche «Forêt et changements climatiques», qui relève du WSL et de l'Office fédéral de l'environnement, ont déjà souligné que le hêtre pourrait souffrir de plus en plus de déficit hydrique sur le Plateau. Les prochaines décennies, cette essence pourrait se retrouver vraiment en difficulté et devoir migrer sur des sites profonds et plus humides ainsi qu'en direction des Préalpes et des Alpes (voir la page 23). «L'été 2018 nous a montré que le hêtre atteint ses limites à certains endroits – et que nos modélisations pour l'avenir sont probablement justes», déclare Andreas Rigling.

Les expériences issues de l'été 2018 aideront les chercheurs du WSL à adapter les scénarios sur l'évolution future de la forêt. Mais la gestion de l'eau doit aussi prendre en compte des étés plus chauds et plus secs. La Confédération travaille actuellement à l'élaboration d'un système d'alerte précoce pour la sécheresse à l'échelle de toute la Suisse, à l'image de celui qui existe déjà pour les incendies de forêt ou les inondations. Ce système doit permettre de détecter le plus tôt possible des déficits hydriques régionaux et d'adapter en conséquence la gestion de l'eau dans les bassins versants concernés. Le but est qu'en dépit de l'insuffisance des précipitations, la population et l'agriculture aient suffisamment d'eau à disposition et que le niveau de la nappe phréatique ne baisse pas trop. Ces interventions profiteront aussi indirectement à la forêt.

(lbo)

Käthi Liechti, Birmensdorf

«J'ai toujours aimé venir au bord du Türlersee. À chaque saison ses richesses: des fleurs au printemps, une baignade en été, une promenade dans le vent d'automne, et si le temps est très favorable, la possibilité de s'aventurer l'hiver sur le lac gelé.»

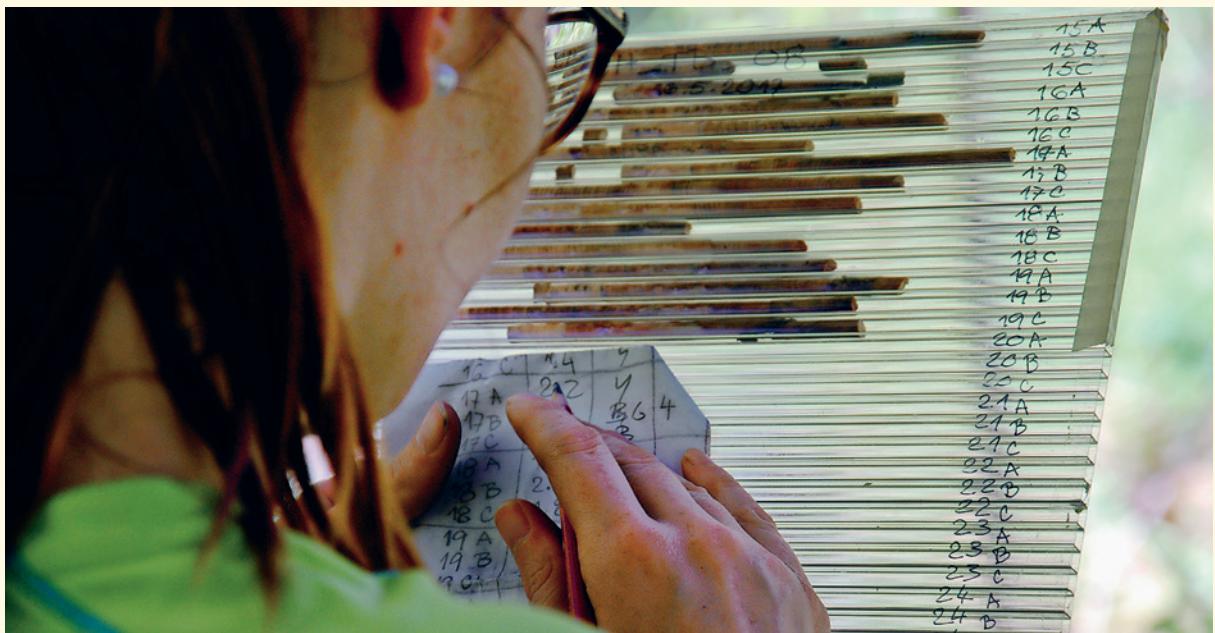


ALERTE AUX CRUES À ZURICH

Käthi Liechti fait partie du groupe Prévisions hydrologiques. Elle est l'une des responsables du système de prévision des crues de la Sihl géré par le WSL pour le canton de Zurich. Depuis cette année, elle administre aussi la base de données sur les dé-

gâts liés aux intempéries, que le WSL entretient depuis 1972. «Au quotidien du bureau s'ajoutent les travaux sur le terrain à la station ICOS dans la forêt du Seehorn près de Davos, où nous mesurons les gaz à effet de serre et les flux de carbone.» (bki)

FORÊT Quels gènes permettent aux arbres de résister au changement climatique? Réponse dans les cernes.



Les cernes visibles dans les carottes donnent de nombreuses informations sur le climat passé et indiquent, en combinaison avec des données génétiques, la façon dont les différents arbres réagissent au changement climatique du fait de leur patrimoine génétique.

Chaque arbre est un individu marqué par son environnement et par ses gènes – tout comme nous, les êtres humains. Les différents arbres supportent plus ou moins bien les changements et les extrêmes environnementaux: un épicéa vivra mieux une période de sécheresse qu'un autre; un hêtre récupérera plus lentement d'un gel tardif que son voisin. Patrick Fonti et Christian Rellstab souhaitent connaître le rôle que jouent dans ces phénomènes les divers gènes.

Quelle chance pour les deux chercheurs que les arbres documentent leur propre vie et leur croissance par leurs cernes! En effet: «lorsqu'au niveau de la croissance, l'on fait statistiquement abstraction de l'influence moyenne du climat, les cernes varient néanmoins d'un arbre à l'autre – et révèlent quel individu peut, grâce à son patrimoine génétique, bien relever des défis comme la sécheresse ou le gel tardif», explique

le dendrologue Patrick Fonti. Les chercheurs examinent 3577 arbres de sept espèces pour lesquels les cernes et le génome ont été caractérisés. Le biologiste Christian Rellstab, à l'aide de grandes puissances de calcul, recherche les liens entre les caractéristiques de croissance issues des cernes et les caractéristiques génétiques.

Actuellement, ce travail relève de la recherche fondamentale. Mais si P. Fonti et C. Rellstab parviennent à trouver des gènes et des réseaux génétiques déterminants pour l'adaptation des essences au changement climatique, l'exploitation forestière pourrait en bénéficier. Pour le rajeunissement par exemple, il serait alors possible d'utiliser de façon ciblée des graines d'arbres au patrimoine génétique approprié. *(bio)*

Données du projet GenTree issu du programme de l'UE Horizon 2020, www.gentree-h2020.eu

FORÊT Migration des arbres: certaines espèces n'atteignent pas les nouveaux sites assez rapidement

Si le temps devient par exemple plus sec sur fond de changement climatique, certaines essences disparaîtront de leurs habitats actuels tandis que d'autres, mieux adaptées, coloniseront les lieux à leur tour. Mais ces dernières ne sont pas toujours sur place, elles doivent tout d'abord y parvenir. Or cela peut durer longtemps car les arbres ne se propagent que par leurs graines. D'où la question que pose Heike Lischke, écologue au WSL: «Les arbres peuvent-ils tenir le rythme du changement climatique?»

Pour y répondre, elle et son équipe ont simulé la propagation de différentes essences à l'aide d'un modèle informatique «TreeMig». Elles ont appliqué divers scénarios de changement climatique et pris en compte le transport des graines, la capacité de survie, la croissance et la durée de développement des arbres, ainsi que la concurrence par les autres essences. Le résultat: selon l'espèce, la vitesse de migration est de 10 à 1000 mètres par an. «C'est parfois nettement plus lent que le déplacement du climat, notamment dans la zone boréale». Celle-ci comprend de vastes parties de la Scandinavie, de l'Amérique du Nord et de la Russie. Selon les simulations, certaines espèces se retrouveront en fin de siècle dans un retard de migration qui ne pourra être compensé que plusieurs milliers d'années plus tard.

En Suisse, le retard escompté est moins marqué car sur les pentes des Alpes, le climat change à petite échelle et les arbres doivent se déplacer sur des distances plus courtes. Sont notamment concernées les espèces dont

le transport de graines se limite majoritairement à de petites distances, par exemple le hêtre ou l'arolle. Celles comme le mélèze jouissent d'une situation plus aisée car leurs graines étant disséminées plus loin, elles parviennent plus rapidement aux altitudes supérieures que leurs concurrents plus lents.

Lorsque la migration des arbres n'arrive pas à suivre le rythme du



En Suisse, le chêne pubescent est surtout présent en Valais et au pied sud du Jura – avec le changement climatique, il devrait conquérir de nouveaux sites.

changement climatique, des fonctions de la forêt peuvent se détériorer, notamment l'efficacité des forêts protectrices. Le modèle permet de déterminer les espèces trop lentes, tel le chêne pubescent, espèce xérophile, qui pourraient de ce fait être soutenues via des plantations ciblées le long de leurs routes de migration. (cho)

www.wsl.ch/treemig (en anglais)

Les grands murins aiment les forêts fermées

De vieux arbres au large diamètre, un couvert fermé, peu d'arbustes au sol et un espace de vol ouvert: voilà à quoi ressemble la forêt idéale pour le grand murin, l'une des plus grandes espèces de chauves-souris vivant en Suisse. Grâce à son travail de master au WSL, Katja Rauchenstein souhaitait découvrir laquelle de ces structures était déterminante pour les chauves-souris. À la tombée de la nuit, ces animaux classés «vulnérables» dans la Liste rouge quittent leur quartier de jour dans l'espace urbain et volent jusqu'à la forêt pour chasser.

Il est possible d'identifier les structures forestières à l'aide de mesures laser depuis un avion et de les représenter sur des cartes au moyen d'un modèle de calcul. Katja Rauchenstein a contrôlé la fiabilité de ce modèle en enregistrant la nuit les activités de vol des chauves-souris dans les forêts aux alentours des 18 colonies. Dans les parcelles de forêt classifiées comme vraisemblable-

ment «adaptées», les chauves-souris étaient effectivement plus actives que dans les «moins adaptées» et les «inadaptées». «J'ai été surprise de voir que le facteur déterminant pour le nombre de chauves-souris qui chassaient, n'était pas la strate herbacée mais le couvert fermé», explique Katja Rauchenstein.

Le modèle peut désormais être affiné grâce à ses résultats. Une meilleure prévision et une protection ciblée des forêts où les chauves-souris chassent est ainsi possible. La prévision des trajectoires de vol empruntées par les animaux pour gagner la forêt s'en voit aussi améliorée. Pour Martin Obrist, biologiste au WSL et superviseur du travail de master, les résultats de Katja Rauchenstein représentent une importante pièce de puzzle dans un plus grand projet visant la protection des couloirs de vol des chauves-souris. (lbo)

www.wsl.ch/chauvessouris



Les grands murins aiment chasser dans cet endroit: hêtraie près de Beggingen (SH).

BIODIVERSITÉ Concurrence venue d'en bas: pour le lièvre variable, la situation se complique en altitude



Sur les traces du lièvre variable: Maik Rehns recueille des crottes cachées dans les hautes herbes.

Comment étudier un animal que l'on ne voit que rarement et qui est stressé en présence de l'être humain? Il suffit de partir à la recherche de ses déjections et de les examiner à l'aide de méthodes génétiques. En effet dans ses excréments, plus précisément dans l'ADN qu'ils contiennent, se trouvent des informations sur l'individu les ayant produits.

Depuis 2014, des collaborateurs du WSL ramassent de ce fait systématiquement des crottes de lièvre variable dans une zone du parc national suisse afin d'en apprendre plus sur l'habitat et la structure des populations de ces farouches animaux. Pour son travail de master au WSL, Laura Schenker a analysé l'ADN des crottes recueillies jusqu'à 2018. Elle a ainsi pu démontrer la présence en moyenne de 6,4 animaux au kilomètre carré, soit près de deux fois

plus qu'on ne l'estimait. Au printemps, une plus grande quantité de mâles en quête de femelles fréquentait la zone étudiée, puis leur nombre diminuait à nouveau avant l'automne.

Parenté indésirable

La jeune chercheuse a également pu montrer qu'un lièvre brun avait laissé en 2016 des excréments à 2300 mètres d'altitude, soit une première mention de cette espèce de lièvre à cette altitude dans le parc national. «Du fait du changement climatique, le lièvre brun peut gagner des altitudes supérieures et concurrencer le lièvre variable dans son propre habitat», explique Laura Schenker. Certes, le changement climatique permet aussi au lièvre variable d'accéder à des altitudes plus élevées, mais au prix d'un habitat plus réduit car les

surfaces disponibles s'y font plus rares. Autre point important: l'accouplement de lièvres bruns mâles et de lièvres variables femelles donne des animaux hybrides qui à leur tour peuvent se reproduire avec des lièvres bruns. «La part du patrimoine génétique du lièvre variable se réduit dès lors à chaque génération.»

Felix Gugerli et Kurt Bollmann, les biologistes du WSL qui ont accompagné ce travail de master, ont poursuivi les études à long terme sur

le lièvre variable menacé dans le parc national. Ils recommandent en outre un monitoring national de l'espèce. Dans la Liste rouge nationale révisée, le lièvre variable est classé comme «espèce potentiellement menacée». Kurt Bollmann assure qu'«en tant que pays alpin, nous assumons une responsabilité internationale pour cette espèce dont l'habitat s'amenuise en continu sur fond de changement climatique». (lbo)

BIODIVERSITÉ

Les chaumes, ces refuges



L'anthocérote *Anthoceros agrestis* est presque exclusivement présent dans les chaumes de céréales.

À l'image de nombreuses autres plantes des champs, les anthocérotes enrichissent aussi la diversité des espèces peuplant les terres cultivées. Mais les deux espèces présentes dans le nord de la Suisse, l'anthocérote jaune et l'anthocérote noir, sont menacées. Après un lent recul au XX^e siècle, elles se sont véritablement effondrées à partir de 2005. Telles sont les conclusions d'un nouveau rapport sur la flore des bryophytes des terres cultivées, rédigé par Ariel Bergamini, biologiste au WSL, et d'autres chercheurs, à l'attention de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Il

porte sur l'analyse de leur monitoring en cours depuis bientôt trente ans.

Les prescriptions en matière de protection des sols en vigueur depuis 2005 et le changement climatique sont les principaux responsables de ce fort recul. Depuis lors, les agriculteurs doivent après récolte labourer et végétaliser le plus vite possible leurs champs de céréales afin d'empêcher l'érosion et le lessivage de l'azote. Ce qui est bon pour le sol est mauvais pour les anthocérotes qui perdent ainsi leur habitat le plus important: les chaumes en place jusqu'à la fin de l'automne. De surcroît, pendant les étés secs, les plantes n'arrivent parfois plus à se développer faute d'humidité suffisante.

Pour stopper le recul des anthocérotes et d'autres bryophytes des terres cultivées, les chercheurs recommandent une série de mesures. «La plus prometteuse serait de laisser à nouveau des chaumes en alternance sur différentes terres cultivées», précise Ariel Bergamini. (bki)



Gabor Reiss, Birmensdorf

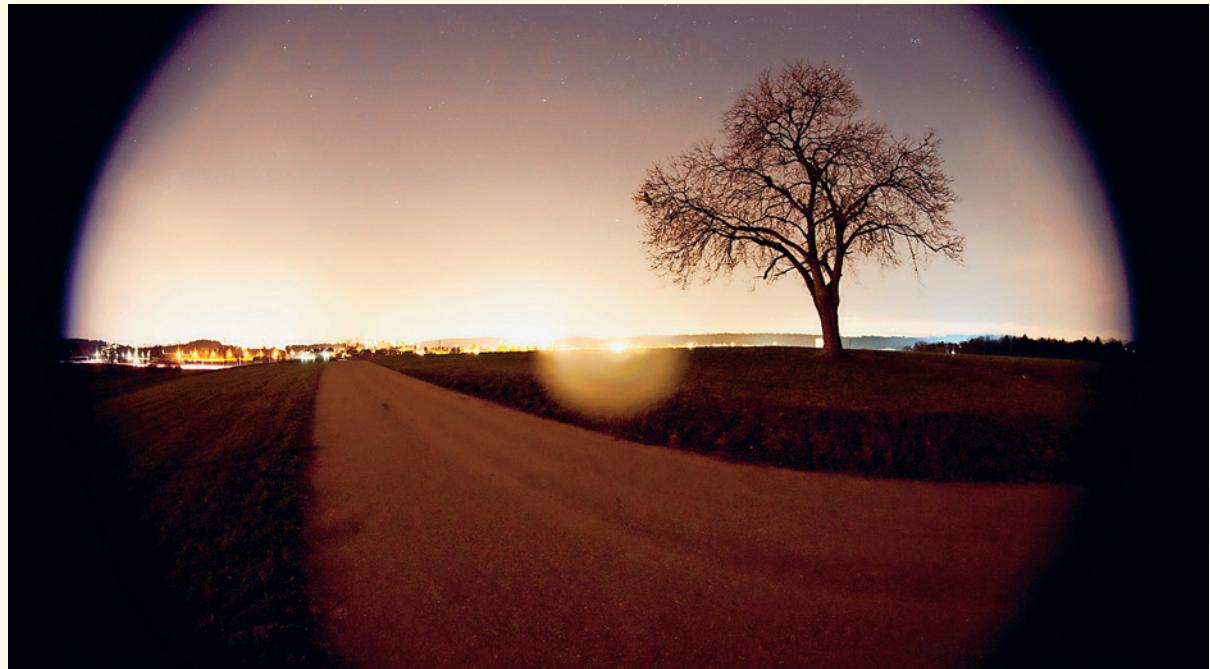
«Je passe beaucoup de temps dans les serres du WSL où je m'épanouis personnellement tout en étant productif. Là, nous nous occupons des essais des chercheurs ou faisons pousser des essences rares.»

DES PLANTES POUR LA RECHERCHE

Gabor Reiss dirige la pépinière expérimentale au WSL Birmensdorf. Le pépiniériste de formation fournit des graines et du matériel végétal en vue d'essais scientifiques. Il conseille les chercheurs lorsqu'ils ont des questions sur les besoins des

plantes, par exemple sur la fertilisation. Avec son équipe, il assure également l'aménagement proche de la nature de l'aire du WSL. «Mon emploi n'est pas du tout monotone, je travaille au bureau et aussi à l'extérieur avec les plantes.» (Ibo)

PAYSAGE «Fiat Nox»: les réserves naturelles nécessitent des zones tampon contre la lumière



Le brouillard peut renforcer jusqu'à 18 fois la pollution lumineuse car les gouttelettes d'eau propagent la lumière.

L'obscurité s'est faite rare dans une Suisse densément peuplée: il n'existe quasiment plus d'endroit qui, la nuit, ne soit éclairé par une lumière artificielle. L'éclairage nocturne perturbe le rythme jour/nuit des personnes, des animaux et des plantes. Il est de ce fait surprenant que l'on dispose de relativement peu d'informations sur les techniques de mesure locale de la lumière et sur la pertinence des différentes formes d'éclairage.

Pour les études écologiques sur ce thème, on utilise la plupart du temps des photos prises de nuit par satellite. «Elles ne donnent toutefois que de rares indications sur les conditions lumineuses locales car ce sont des instantanés», explique Léo Constantin qui a effectué au WSL son travail de master sur ce sujet. Il serait plus important de savoir à quelle lumière les organismes vivants sont véritablement exposés – par exemple

dans des réserves naturelles avec des espèces menacées.

Les nuages renforcent la pollution lumineuse

Dans la réserve naturelle du Katzensee près de Zurich, l'une des plus claires du canton la nuit, Léo Constantin a installé dans ce but vingt enregistreurs de lumière qui mesurent la luminosité toutes les minutes. Afin de localiser les sources de lumière, il a aussi pris des photos, par temps brumeux, nuageux ou clair, avec un objectif de type «fish-eye», un objectif d'appareil photo à la lentille arrondie qui englobe presque tout le ciel.

Il est apparu que les sources lumineuses proches à l'image de celles de Zurich-Affoltern ou de l'aéroport provoquaient un fort «Skyglow» au niveau du Katzensee, soit une coupoles de lumière visible de loin. L'effet

était particulièrement marqué en présence de brouillard ou de nuages car les gouttes d'eau propagent fortement la lumière. Certaines nuits brumeuses étaient plus claires que des nuits de pleine lune.

Les sources de lumière ponctuelles sur les bâtiments ou les phares des voitures ont de fortes répercussions sur le Katzensee au niveau local. «La plantation ciblée d'arbustes ou d'arbres a réduit considérablement de tels impacts lumineux», précise la superviseuse de Léo Constantin, Janine Bolliger, écologue au WSL.

Sur quelle distance devrait-on endiguer les émissions lumineuses dans les réserves naturelles? L'étude est la première à donner des indications claires à ce sujet. Si de grandes zones d'habitation se situent à proximité, la zone tampon contre la lumière devrait, en raison du «Skyglow», couvrir au moins un kilomètre contre environ 500 mètres, selon la situation, lors de sources de lumière ponctuelles comme des phares ou des lampes. *(bki)*

www.wsl.ch/master_constantin (en anglais)

PAYSAGE Sur quelles distances le transport de biomasse se justifie-t-il à des fins de production énergétique?

Pour promouvoir la transition énergétique, il serait possible d'exploiter en Suisse davantage de bois disponible de manière durable en vue du chauffage, de même que des engrains de ferme pour la production du biogaz. Mais ces matières premières doivent souvent être transportées sur de longues distances jusqu'à leur lieu de destination, ce qui implique une consommation d'énergie sous forme de carburant, une hausse des émissions de CO₂ et des coûts financiers.

Sur quelles distances le transport se justifie-t-il en fonction de tous ces aspects? Des chercheurs du groupe Gestion forestière durable du WSL se sont penchés sur la question. À cet effet, grâce à une enquête auprès de spécialistes, ils ont identifié les voies de transport principales des bûches, des copeaux de bois, du lisier et du fumier, et recensé les machines utilisées pour le chargement, le déchargement et le transport. Sur la base de ces conclusions, ils ont calculé la distance à partir de laquelle la consom-

mation énergétique dépassait l'énergie fournie par les matières premières.

Le résultat: du point de vue de la consommation énergétique, le transport peut valoir la peine sur des centaines de kilomètres. Les émissions de CO₂ produites sont relativement faibles par rapport à la grande quantité de CO₂ fossile économisée par l'exploitation de la biomasse. Les distances effectives de la source à l'acheteur sont comprises entre cinq et dix kilomètres pour les engrains de ferme, et entre un et trente kilomètres pour les bûches et les copeaux de bois.

Plus que la consommation énergétique, ce sont les coûts qui limitent les distances de transport de la biomasse mais là aussi, une marge de manœuvre existe: pour le fumier, jusqu'à 80 kilomètres valent la peine dans des conditions optimales, contre 110 kilomètres au maximum pour les bûches et jusqu'à 480 kilomètres pour les copeaux de bois. *(cho)*

www.wsl.ch/biomass-transport (en anglais)

Quel est l'impact du changement climatique sur les laves torrentielles dans l'Illgraben?

Les laves torrentielles sont des événements extrêmes. Elles surviennent après des précipitations persistantes ou violentes, une intense fonte des neiges ou un tremblement de terre. Théâtre de trois à huit laves torrentielles par an, l'Illgraben en Valais compte parmi les chenaux les plus actifs des Alpes. Depuis plus de vingt



Site expérimental de laves torrentielles près de La Souste (VS). L'Illgraben fait partie des chenaux les plus actifs des Alpes.

ans, le WSL y effectue des mesures, avec comme pièce maîtresse la nouvelle balance à laves torrentielles, la plus grande au monde. Des capteurs mesurent les forces générées par le mélange d'eau et d'éboulis qui agissent sur le sous-sol. Des appareils de mesure laser et radars, ainsi que des capteurs d'accélération et des caméras vidéo permettent de mener des analyses supplémentaires sur le débit, la teneur en eau, la densité et la vitesse d'écoulement des matériaux.

La plupart des laves torrentielles de l'Illgraben se déclenchent en juillet après de violentes averses. Non seulement l'intensité des précipitations est déterminante, mais aussi la quantité d'eau déjà présente dans le sol. Jusqu'ici, c'est ainsi en mai que les laves torrentielles charrent la plus grande quantité de matériaux lorsque

des volumes d'eau supplémentaire sont issus de la fonte des neiges. Mais quel sera sur les laves torrentielles l'impact des hivers plus courts et des étés plus secs annoncés pour l'avenir?

Dans le programme de recherche «Climate Change Impacts on Alpine Mass Movements» (CCAMM), le WSL étudie les répercussions du changement climatique sur les mouvements de masse en montagne. Jacob Hirschberg, doctorant au WSL, examine dans un projet partiel du CCAMM l'influence du changement climatique sur les laves torrentielles dans l'Illgraben. «Nous pensons qu'à l'avenir, les précipitations se répartiront sur une durée plus réduite, mais qu'elles seront plus fortes», indique Jacob Hirschberg. Les analyses démontrent aussi que les laves torrentielles dans l'Illgraben pourraient se produire davantage au printemps et à l'automne car les pluies y seraient plus abondantes qu'aujourd'hui. Les jours de gel étant moins nombreux, la fréquence des laves torrentielles pourrait toutefois diminuer du fait d'un volume moindre de roches érodées. Dans un scénario climatique extrême, vers la fin du siècle, les laves torrentielles ne se déclencherait plus qu'au printemps car l'été, toute la masse de matériaux mobilisable aurait déjà rejoint la vallée.

Dans les sites à plus haute altitude, la fonte du pergélisol pourrait cependant se traduire par une plus grande quantité de roches meubles. «S'en suivraient des laves torrentielles plus fréquentes et de plus grande envergure», explique Jacob Hirschberg.

(sni)

ccamm.slf.ch

DANGERS NATURELS La forêt comme assurance contre les avalanches et les chutes de pierres

La forêt protège d'innombrables maisons en montagne contre les avalanches et les chutes de pierre. Dans le cadre du programme national de recherche «Économie durable», l'économiste Roland Olschewski et son équipe veulent découvrir s'il est encore possible d'augmenter ces prestations de protection – et si oui à quel prix, et avec quel niveau d'acceptabilité de la population.

Sur la base de scénarios fictifs mais réalistes, les chercheurs ont ainsi sondé des habitants de sept communes de montagne pour savoir quelle valeur ils attribuent à la protection protectrice de la forêt. Ils leur ont notamment demandé s'ils seraient prêts à payer une somme d'argent donnée pour des soins supplémentaires à la forêt de protection qui feraient passer leur maison de la zone rouge de dangers à la zone bleue, plus sûre. Roland Olschewski se réjouit: de nombreuses personnes seraient disposées à dépenser plus d'argent pour une forêt protectrice à l'efficacité accrue. Cet argent pourrait-il servir à couvrir les dépenses supplémentaires en vue des soins sylvicoles? L'équipe de recherche étudie également cette question.

L'objectif: un modèle commercial opérationnel

Dans une prochaine étape, Roland Olschewski et ses collègues veulent développer un modèle commercial pratique – une assurance – qui ferait le lien entre les nouvelles connaissances et les réglementations existantes. Une collaboration entre le secteur des assurances et les pouvoirs publics ainsi que des compétences en sciences éco-

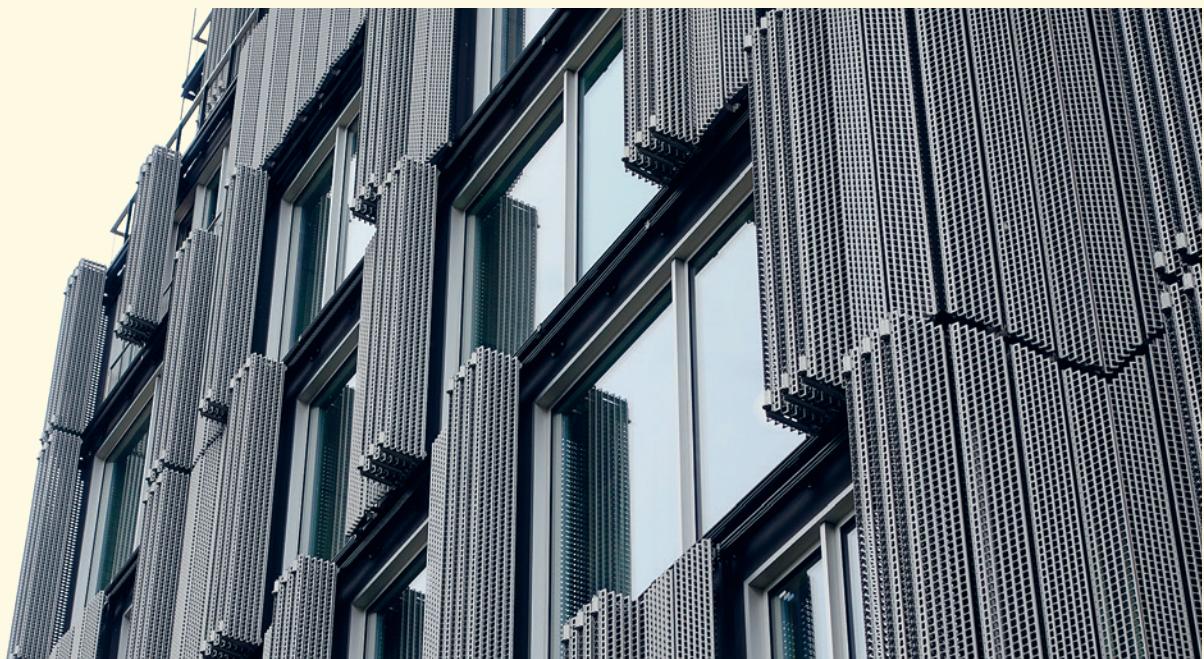


Des arbres morts placés au bon endroit peuvent aussi protéger contre les chutes de pierres, comme le montrent des modèles informatiques et des essais à l'image de celui-ci à Schiers (GR). Mais les soins sylvicoles supplémentaires sont onéreux – la population serait-elle prête à en payer le prix?

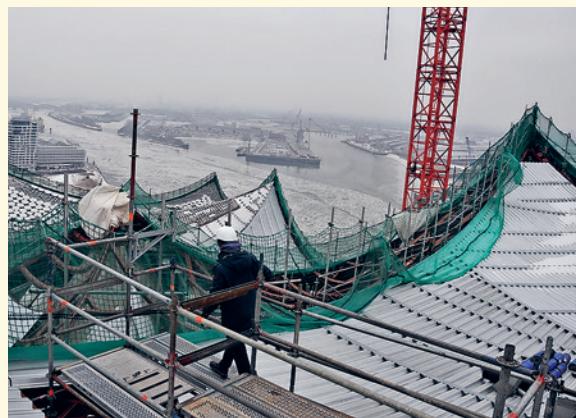
nomiques s'avèreraient nécessaires. En effet, une assurance ne fonctionnera pas si le groupe de prestataires ou de payeurs de primes est trop réduit, à savoir si seuls quelques propriétaires immobiliers ou propriétaires de forêt participent au projet. Les cercles décisionnels ne doivent pas non plus trop se recouper: la commune ne pourra pas à la fois posséder la forêt protectrice et le bâtiment menacé.

Mais les habitants seront-ils toujours prêts à payer, comme l'enquête le laisse entendre, si la facture de primes pour la forêt protectrice leur est envoyée directement? «Cela n'implique pas pour autant l'envoi de factures individuelles. Les opérations peuvent aussi passer par les pouvoirs publics», clarifie R. Olschewski. (bio)

www.nfp73.ch



Les volets pliants et coulissants se ferment automatiquement en cas de tempête et de chute de neige.



Le toit de la Philharmonie de l'Elbe a une倾inéation pouvant atteindre 50°. Grâce au choix judicieux des matériaux, il est possible d'empêcher des avalanches de toit.

Une grosse stalactite est suspendue à un chéneau qui surplombe un trottoir fortement fréquenté. On n'ose imaginer ce qui se passerait si plusieurs kilos de glace tombaient sur les passants. «Pour éviter les accidents ou les dégâts causés par le glissement de la neige ou par la chute de glace, il est recommandé de faire appel le plus tôt possible à un nivologue lors de la planification du bâtiment», explique Stefan Margreth. Le chef du groupe Mesures de protection au SLF donne des conseils aux architectes sur la façon de réduire les risques et d'éviter les accidents causés par la neige et la glace.

Le plus souvent, dans une première étape, Stefan Margreth estime si un bâtiment pourra poser problème et contrôle ainsi la situation d'enneigement et la géométrie du bâtiment. Combien de jours neige-t-il à cet endroit? À quelles hauteurs de neige doit-on s'attendre? Par la suite, il évalue les différentes propositions des architectes par rapport aux matériaux ou à la conception des bâtiments, et il choisit la meilleure solution. Souvent, de légères adaptations au niveau de l'édifice suffiront, par exemple de plus fins rebords de fenêtre où une moindre quantité de neige pourra s'accumuler, ou encore une gouttière chauffée.

Ces dernières années, Stefan Margreth a réalisé diverses expertises dont certaines pour des constructions spectaculaires à l'image de la Philharmonie de l'Elbe à Hambourg, de Herzog et de Meuron. En 2008, ces architectes bâlois renommés lui ont demandé d'estimer le danger d'avalanches de toit et de formation de glace au niveau d'un chéneau de ce bâtiment de 110 mètres de haut. Le toit ressemble à un paysage de montagne avec des inclinaisons de surface pouvant atteindre 50°. «La surface et la forme déterminent si la neige reste sur le toit ou si elle glisse», indique Stefan Margreth. Une surface rugueuse empêche la neige de glisser. Pour le toit de la Philharmonie de l'Elbe, des disques ronds d'aluminium ajourés ont été choisis. Il existe des interstices entre les différents disques afin que la couche de neige s'y imbrique et ne glisse pas.

Pas une science exacte

Pour les projets coûteux, les bureaux d'architectes réalisent souvent un modèle à l'échelle 1:1 d'un élément critique du bâtiment. Mais pour véritablement découvrir les problèmes qui pourraient survenir à cause de la neige et de la glace, il faudrait observer le modèle pendant plusieurs hivers. Or personne ne dispose d'autant de temps. «L'intuition est de ce fait importante, de même qu'une attention particulière portée aux paysages hivernaux. Je peux souvent appliquer les observations effectuées sur les paravalanches enneigés à des situations comparables au niveau des bâtiments», déclare Stefan Margreth.

En 2014, le bureau d'architectes Herzog et de Meuron a confié un autre mandat au SLF, cette fois pour la façade de la tour Meret Oppenheim à Bâle. L'édifice de 81 mètres de

haut se situe directement à l'entrée sud très fréquentée de la gare CFF. La façade métallique avec ses éléments mobiles est caractéristique de l'ouvrage – les volets pliants et coulissants peuvent s'ouvrir et se fermer séparément. Mais que se passe-t-il s'il neige? Si les volets sont ouverts, la neige peut s'accumuler et éventuellement tomber lorsqu'on les referme. Stefan Margreth a discuté avec les architectes de différents volets fabriqués à partir de divers matériaux et modes de construction. Ils ont choisi un mécanisme de fermeture contrôlé: en cas de fortes chutes de neige ou de tempêtes, tous les volets se ferment automatiquement.

Stefan Margreth a aussi participé à la planification de «The Circle» près de l'aéroport de Zurich, actuellement le plus grand et le plus onéreux projet de construction privé en Suisse. Le bâtiment dispose d'une façade fermée en forme de boomerang, très en surplomb, qui domine trois voies de circulation menant à l'aéroport. Stefan Margreth a conseillé les architectes pour la façade et les chéneaux. «Je leur ai déconseillé des rebords de fenêtre trop nombreux. Cela serait vraiment déplorable que de la neige tombe sur la chaussée depuis le toit.» L'inauguration de l'ouvrage est prévue pour 2020. (sni)

www.slf.ch/protection-paravalanche

Carolin Willibald, Davos

«Si l'on habite à la campagne, il ne faut pas faire les choses à moitié. Cette vieille ferme près de Davos est idéalement située. Une neige abondante, la piste de ski de fond et les randonnées à ski depuis le pas de sa porte sont indissociables d'un long hiver, tout comme l'approvisionnement en bois.»



FASCINATION POUR LA NEIGE

En tant que randonneuse à ski, Carolin Willibald s'intéresse depuis longtemps aux processus à l'œuvre dans la neige. Dans sa thèse, elle vise une meilleure compréhension de la mécanique et de la microstructure de celle-ci. Pour simplifier la matière complexe, la physicienne a déve-

loppé une modélisation de la neige. À l'aide de petites boules de glace, elle étudie la façon dont les particules se lient ou dont elles réagissent à une contrainte. Autant de questions qui permettent entre autres une meilleure compréhension des avalanches. (sni)



La santé est un bien précieux – cela vaut non seulement pour nous, êtres humains, mais aussi pour la forêt. En effet, une forêt saine est en équilibre et peut remplir plusieurs fonctions importantes: protéger des avalanches ou des chutes de pierres, assurer la propreté des eaux souterraines et proposer un habitat sûr à nombre d'animaux et de plantes. Le WSL étudie la façon dont la forêt protège contre les maladies et dont elle peut mieux s'adapter au changement climatique. Il examine par ailleurs quels sont les impacts positifs du paysage et des espaces naturels sur le bien-être des personnes, sur la réduction du stress et ainsi sur l'amélioration de la santé mentale. (cho)

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

IMPRESSION

Responsable de l'édition:
Konrad Steffen†, prof.
Christoph Hegg, Acting Director WSL

Textes:

Lisa Bose (Ibo), Claudia Hoffmann (cho), Beate Kittl (bki), 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
Papier: 100 % Recycling

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

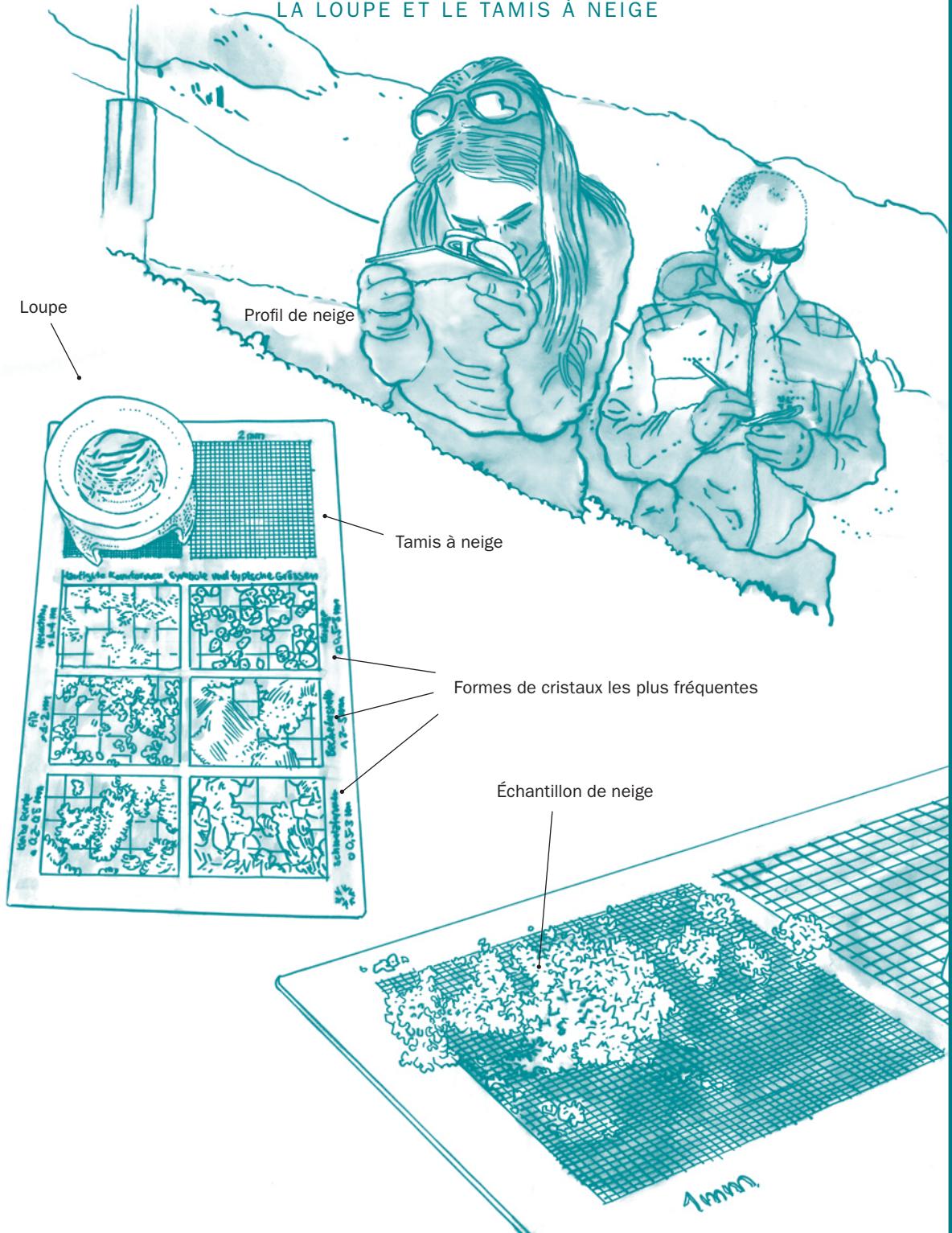
Référence bibliographique:
Institut fédéral de recherches WSL
2020: Magazine du WSL Diagonale,
2/20. 36 p., ISSN 2296-3596

PERSONNES



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

LA LOUPE ET LE TAMIS À NEIGE



On ne change pas une équipe qui gagne: aujourd'hui encore, les nivologues utilisent une loupe et un tamis pour étudier les cristaux de neige – comme quatre-vingts ans plus tôt. Ils prélèvent des échantillons des différentes couches d'un profil de neige et les placent sur un tamis. Les mailles de celui-ci, de dimensions diverses, servent de référence pour déterminer la taille des cristaux. La forme et la taille des cristaux de neige permettent de déduire les caractéristiques de la couche de neige.

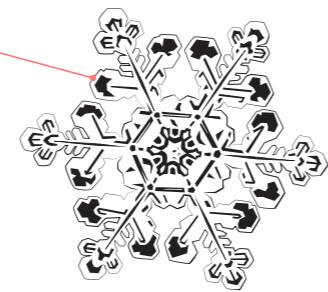
Vidéo à l'adresse:
www.wsl.ch/schmilblick



EXTRÈMEMENT BEAUCOU

10 trillions

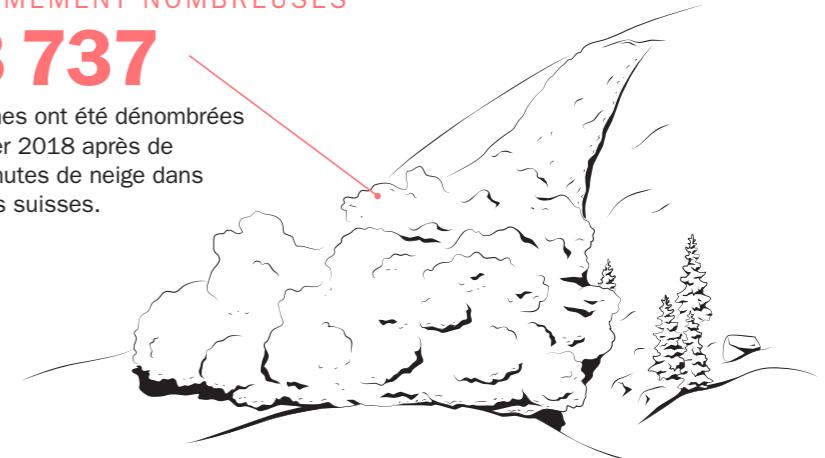
C'est à peu près le nombre de molécules d'eau que contient un cristal de neige d'un millimètre de diamètre.



EXTRÈMEMENT NOMBREUSES

18 737

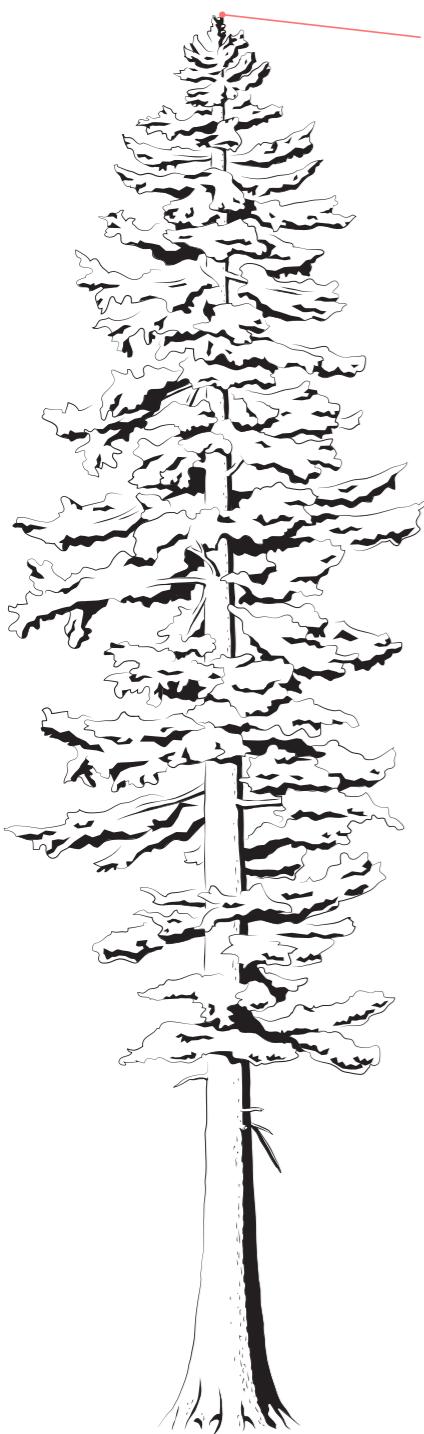
avalanches ont été dénombrées en janvier 2018 après de fortes chutes de neige dans les Alpes suisses.



EXTRÈMEMENT HAUT

58 m

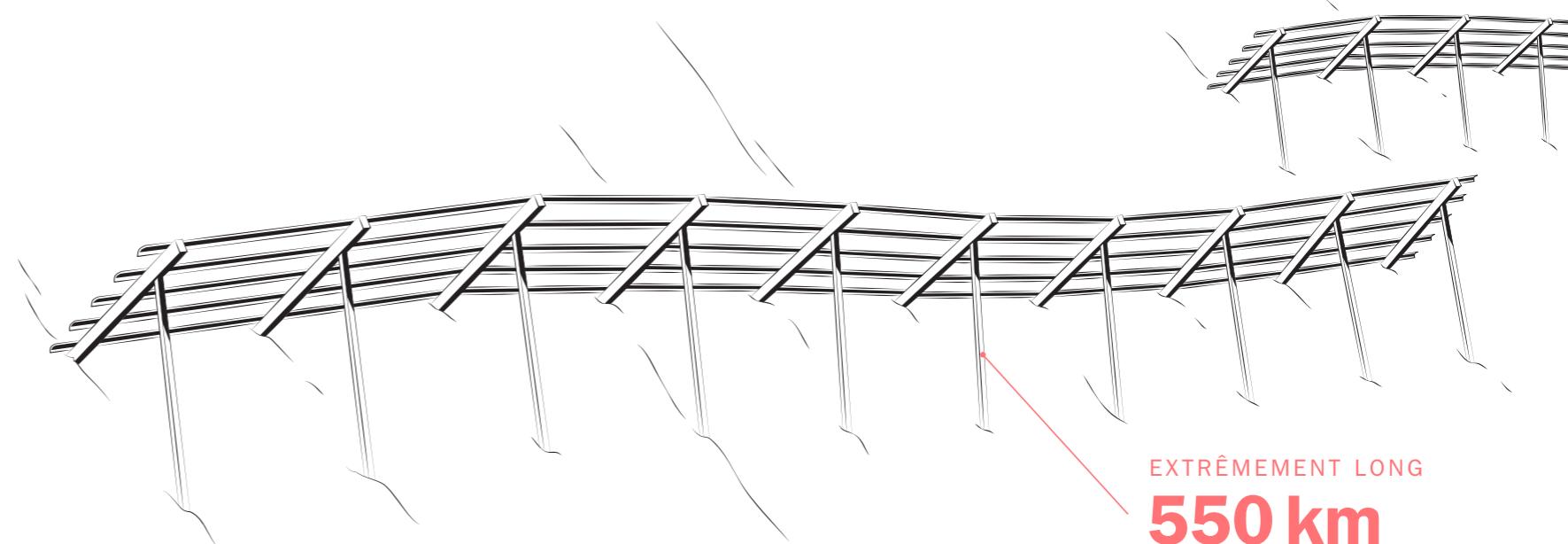
L'arbre le plus haut de Suisse, un sapin blanc, se dresse à Oberlangenegg (BE).



EXTRÈMEMENT RARE

3

Ces 50 dernières années, on n'a répertorié le lichen *Sphaerophorus melanocarpus* qu'à trois endroits en Suisse.



EXTRÈMEMENT LONG

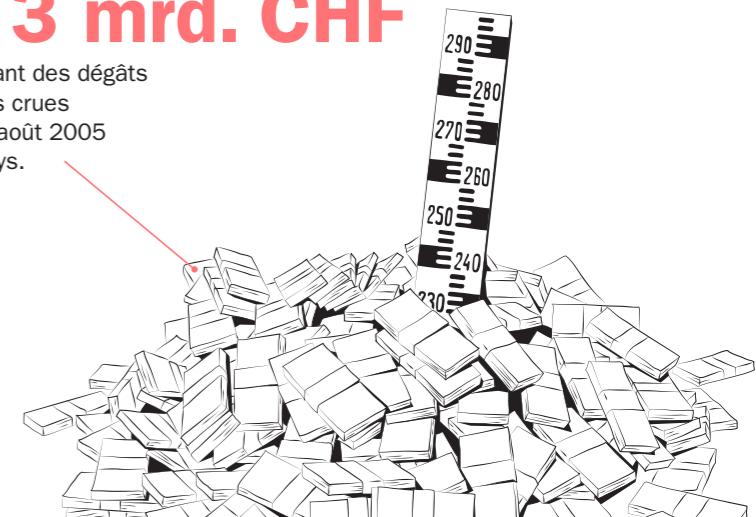
550 km

Telle est la longueur totale des ouvrages paravalanches en Suisse.

EXTRÈMEMENT CHER

Env. 3 mrd. CHF

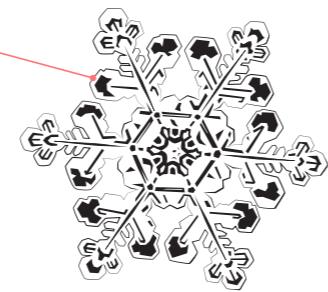
C'est le montant des dégâts causés par les crues des 21 et 22 août 2005 dans notre pays.



EXTRÈMEMENT BEAUCOU

10 trillions

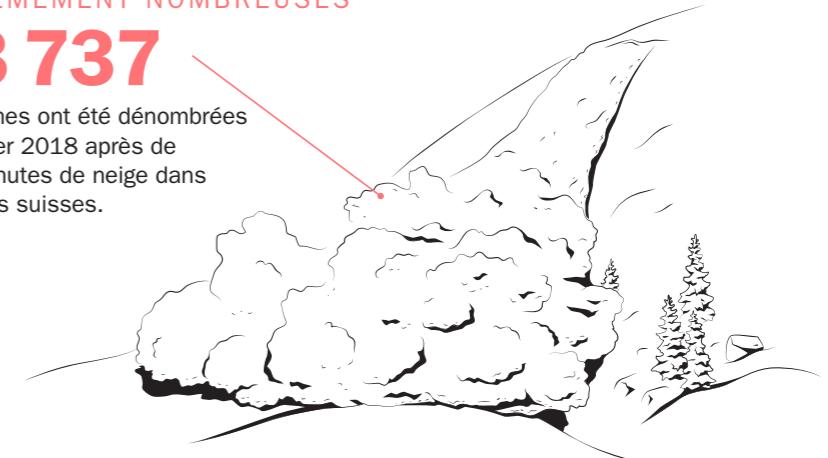
C'est à peu près le nombre de molécules d'eau que contient un cristal de neige d'un millimètre de diamètre.



EXTRÈMEMENT NOMBREUSES

18 737

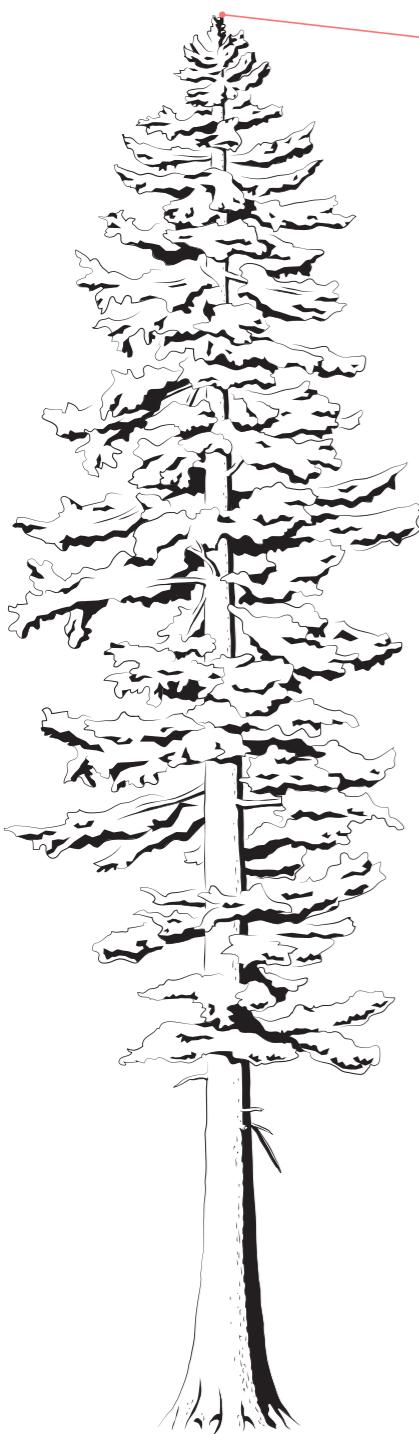
avalanches ont été dénombrées en janvier 2018 après de fortes chutes de neige dans les Alpes suisses.



EXTRÈMEMENT HAUT

58 m

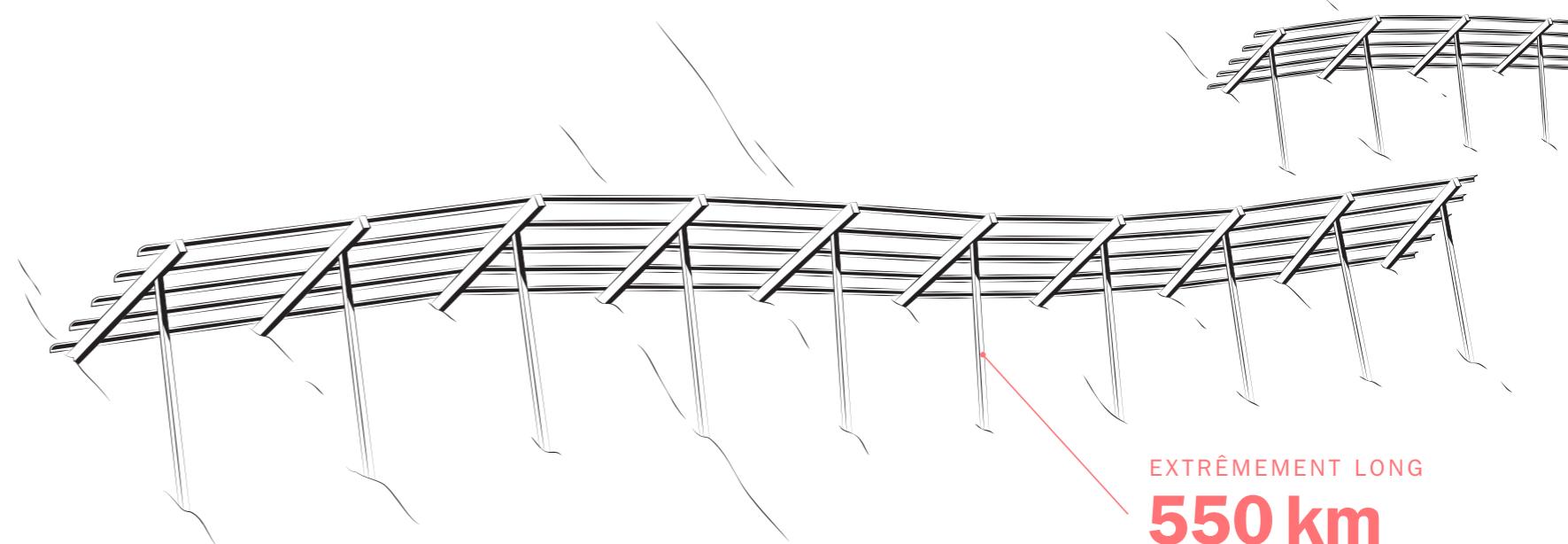
L'arbre le plus haut de Suisse, un sapin blanc, se dresse à Oberlangenegg (BE).



EXTRÈMEMENT RARE

3

Ces 50 dernières années, on n'a répertorié le lichen *Sphaerophorus melanocarpus* qu'à trois endroits en Suisse.



EXTRÈMEMENT LONG

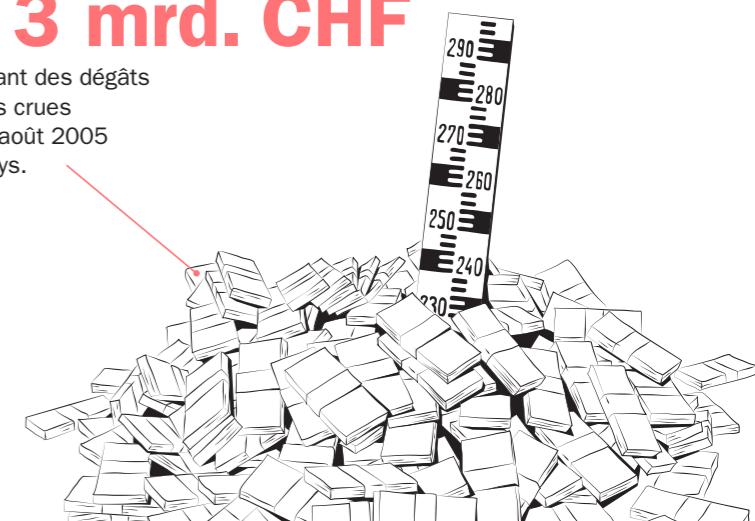
550 km

Telle est la longueur totale des ouvrages paravalanches en Suisse.

EXTRÈMEMENT CHER

Env. 3 mrd. CHF

C'est le montant des dégâts causés par les crues des 21 et 22 août 2005 dans notre pays.



SITES

Birmensdorf

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

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

Lausanne

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

Cadenazzo

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

Sion

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

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

L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL étudie les modifications de l'environnement terrestre, mais aussi l'utilisation et la protection des habitats naturels et des paysages cultivés. Il observe l'état et l'évolution 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.

