

DIAGONALE

THÈME CENTRAL

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

N° 2
16

Télédétection:

Étude de la biodiversité
en forêt à l'aide de
données 3D, p. 22

Nouveau logiciel:

Des photos anciennes
illustrent le développe-
ment du paysage, p. 26

Sports de neige:

Quel est le risque
encouru lors de randon-
nées hors-piste? p. 29

ÉDITORIAL

Chère lectrice, cher lecteur,
Que le WSL se consacre également à la recherche énergétique pourra en surprendre plus d'un. Après tout, le développement technologique ne relève pas de notre mandat. Toute technologie a néanmoins des impacts sur l'environnement et la société, positifs comme négatifs. Nos chercheurs étudient de ce fait les chances et les risques liés à la transition énergétique. En effet, qui-conque sélectionne les technologies à appliquer et leur mise en œuvre devrait connaître les conséquences qui en découlent.

Face à un projet d'une ampleur telle que la transition énergétique, il vaut la peine de se projeter vers l'avenir, à l'image du WSL et de l'Eawag, parties prenantes du programme de recherche «Energy Change Impact». Ainsi, nous évaluons le potentiel énergétique des ressources renouvelables en Suisse. Nous recherchons les répercussions éventuelles de leur utilisation sur la biodiversité, les habitats naturels et l'être humain. Non pas pour faire obstacle à la transition énergétique – mais pour en anticiper les chances et les risques, et façonner la transformation du système énergétique de façon optimale.

Je vous souhaite une lecture passionnante,



Christoph Hegg
Directeur adjoint du WSL





Stations météorologiques: les ultrasons permettent de visualiser la croissance des plantes, p. 24

Transition énergétique



UNE-DEUX

Rolf Iten, Directeur de la société de conseil Infrac: «On ne sait pas encore comment introduire la transition énergétique dans la société et l'économie.»

→ 5



BIOMASSE POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SUISSE

Le WSL examine les potentiels énergétiques de la biomasse. Au centre de ses recherches, le bois, mais aussi la biomasse non ligneuse.

→ 10



L'AVENIR SERA VERT

La production d'énergie éolienne et solaire a besoin de place. Des conflits surviennent souvent, mais l'avenir est également synonyme de chances à saisir.

→ 16

QUELLE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE VOULONS-NOUS?

La sortie du nucléaire oblige la Suisse à transformer complètement son système énergétique. Le WSL étudie les potentiels et les risques de ce projet intergénérationnel.

→ 2

THÈMES-CLÉS

20 FORÊT

22 BIODIVERSITÉ

25 PAYSAGE

28 DANGERS NATURELS

32 NEIGE ET GLACE

PORTRAITS

19 Doris Schneider Mathis, laborantine en chimie

31 Anil Yildiz, ingénieur civil

34 Fabian Wolfsperger, ingénieur en sport

35 IMPRESSUM, À L'HORIZON

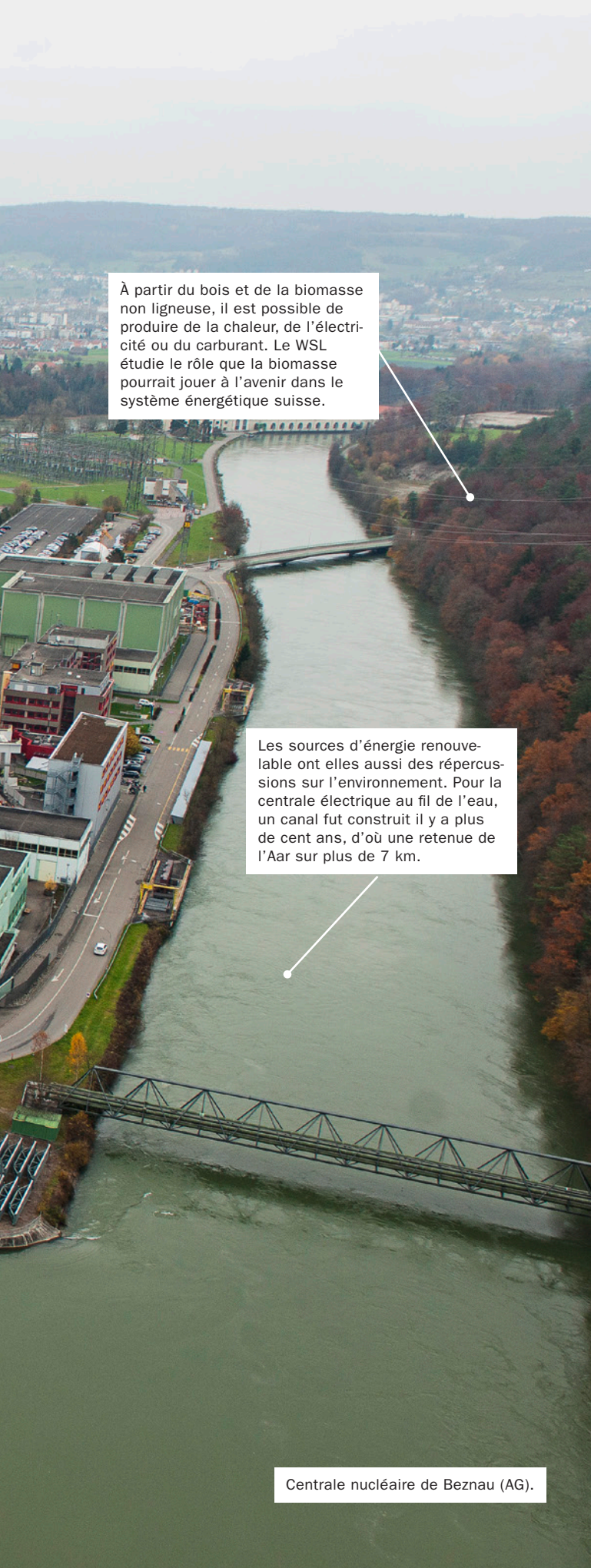
36 LE SCHMILBLICK: tambour pour le triage des semences

THÈME CENTRAL La sortie du nucléaire oblige la Suisse à transformer complètement son système énergétique. Le WSL étudie les potentiels et les risques de ce projet intergénérationnel.

Quelle transition énergétique voulons-nous?

Environ 40% de l'électricité suisse proviennent de centrales nucléaires et doivent, conformément à la Stratégie énergétique 2050, être économisés ou remplacés par de l'électricité renouvelable.



An aerial photograph showing the Aar river flowing through a landscape. On the left bank, there is a large industrial complex, the Beznau nuclear power plant. A road runs alongside the river. In the foreground, a bridge crosses the river. The background shows rolling hills and some buildings.

À partir du bois et de la biomasse non ligneuse, il est possible de produire de la chaleur, de l'électricité ou du carburant. Le WSL étudie le rôle que la biomasse pourrait jouer à l'avenir dans le système énergétique suisse.

Les sources d'énergie renouvelable ont elles aussi des répercussions sur l'environnement. Pour la centrale électrique au fil de l'eau, un canal fut construit il y a plus de cent ans, d'où une retenue de l'Aar sur plus de 7 km.

Centrale nucléaire de Beznau (AG).

Après la catastrophe nucléaire de Fukushima, tout s'est soudain accéléré: le Conseil fédéral a élaboré la Stratégie énergétique 2050 qui a scellé la sortie du nucléaire, le Parlement l'a ensuite approuvée. Les cinq centrales nucléaires suisses produisent actuellement environ 26 térawatt-heures (TWh) d'électricité par an, soit à peu près 40 % de la production suisse d'électricité. Le Conseil fédéral veut compenser le manque à venir par des économies et des énergies alternatives, en particulier des sources d'énergie non fossiles. Afin d'atteindre les objectifs d'ici 2050, il faudrait construire quelque 110 kilomètres carrés d'installations photovoltaïques – soit deux tiers de la surface du Liechtenstein –, plus de 1000 nouvelles éoliennes et au moins une douzaine d'installations géothermiques. Un projet intergénérationnel.

Peu de recherches sur les répercussions

La Confédération a reconnu la nécessité de connaissances supplémentaires pour assurer la réussite de la transition énergétique. À cet effet, elle a investi environ 250 millions de francs dans la recherche énergétique entre 2013 et 2016. Sept centres de compétences, deux programmes nationaux de recherche (PNR 70 et 71) et 24 chaires d'enseignement se focalisent depuis sur les nouvelles technologies énergétiques, la transformation des réseaux électriques ou les questions économiques et juridiques. Des chercheurs du WSL sont également actifs dans trois des centres de compétences ainsi que dans les PNR.

Vu la taille majeure de l'investissement, il est judicieux d'envisager les risques et conflits potentiels de la transition énergétique et de savoir si les ressources en bois, en vent, en so-



Énergie du futur ou gaspillage et dégradation du paysage? Les grandes centrales éoliennes et solaires divisent l'opinion: la plus ancienne centrale solaire d'Europe sur le Mont-Soleil (canton de Berne), construite sur un alpage, en est un exemple.

leil et en eau seront suffisantes. C'est dans ce but que le WSL et l'Eawag ont lancé le programme de recherche «Energy Change Impact» (recherche sur l'impact de la transition climatique) en 2014. D'ici à 2016, le Conseil des EPF leur a octroyé 1,5 million de francs venu du budget de la recherche énergétique.

Prendre des décisions éclairées

L'objectif du programme consiste à montrer aux citoyens, à l'État et aux entreprises les conditions cadres dans lesquelles la transformation du système énergétique aura lieu. Différents projets du WSL explorent par exemple le potentiel des sources d'énergie alternatives. Y a-t-il – sur fond de réchauffement climatique – suffisamment d'eau pour les nouvelles centrales hydroélectriques? De quelles réserves de bois disposent les forêts selon les différents scénarios d'exploitation? D'autres projets étudient les conséquences des technologies sur l'environnement, l'économie et la société, qu'elles soient positives ou négatives. Ainsi, alors que les pôles économiques régionaux profitent de la production de bois-énergie, la biodiversité en forêt pourrait, selon le type d'exploitation, en souffrir, ou au contraire augmenter – en présence d'aménagements intelligents.

«Le choix des technologies et la façon de les promouvoir devraient avoir lieu en connaissant leurs répercussions sur l'environnement et la société», souligne Christoph Hegg, Directeur adjoint du WSL. Seuls quelques rares projets sont financés par la Confédération sur la base de cette approche, déplore-t-il. Le programme «Energy Change Impact» donne une impulsion dans ce sens. Le financement complémentaire s'achève toutefois en 2017. Par la suite, le WSL devra entièrement soutenir ses projets par ses propres moyens ou acquérir des fonds de tiers extérieurs. Or, ces moyens financiers permettraient à la recherche sur l'impact d'agir préventivement et de réduire ainsi les risques. Le programme «Energy Change Impact» ouvre de petites fenêtres sur l'avenir qui donnent à voir aux acteurs de la politique et à la société différents chemins possibles vers la transition énergétique. Afin d'aller dans la direction souhaitée en toute connaissance de cause.

(bki)

Pour en savoir plus
sur le programme de
recherche «Energy
Change Impact»:
[www.wsl.ch/more/
energychange-
impact-fr](http://www.wsl.ch/more/energychange-impact-fr)

UNE-DEUX **La transition énergétique oblige à collaborer.**

De nombreuses recherches sont menées en vue de la transition énergétique. Bien des questions demeurent toutefois sans réponse en ce qui concerne le transfert dans la politique, l'économie et la société. Entretien avec Astrid Bjørnsen (WSL) et Rolf Iten (Infras).

Tous deux, vous vous concentrez sur les conséquences potentielles de la transition énergétique. Où se trouvent les plus grands déficits de connaissances?

RI: Lorsque l'on veut effectuer un changement technique, sociétal et économique d'une telle ampleur, on a besoin d'une multitude d'informations. Tout d'abord sur la technique et les ressources, ensuite sur la capacité et le degré d'acceptation par la société et l'économie d'un tel changement. Le grand problème réside selon moi dans le fait que l'on ne sache pas encore comment introduire la transition énergétique dans la société et l'économie.

AB: Le défi consiste à obtenir une vue d'ensemble et à en déduire les mesures favorables à l'application de la transition énergétique, de haut en bas jusqu'au niveau local – par exemple le nombre d'éoliennes tolérable pour une vallée donnée. Ce point n'est pas encore résolu.

Comment transmettre les informations là où elles sont nécessaires?

RI: La recherche énergétique me semble être plus universitaire et moins axée sur la pratique que dans le passé. Pour les professeurs et les doctorants, les problématiques intéressantes scientifiquement sont souvent plus importantes que les

questions qui émanent de la société, l'économie ou la politique.

AB: Dans le paysage de la recherche, la prise de conscience de cette Valley of Death, la distance entre la recherche et le marché, augmente. Les programmes de recherche comme le programme-cadre européen Horizon 2020 ou Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER) créent de plus en plus d'incitations pour remédier à ces manques.

RI: Selon moi, la Vallée de la Mort se situe moins au simple niveau du transfert technologique qu'à celui du transfert dans la société et la politique. Or, trop peu est fait à ce niveau. Le Trialogue Énergie Suisse est allé dans la bonne direction. Il s'agit d'un forum de discussion de haut niveau entre scientifiques, entrepreneurs, parlementaires, consommateurs et ONG.

AB: Dans la recherche, le déficit de communication est lié au système. Ce qui compte dans une carrière de chercheur, ce sont les publications. Les investissements dans des réseaux de responsables politiques ou des débats avec la population, c'est-à-dire la transmission des connaissances, ne sont pas suffisamment reconnus. Il est d'autre part toujours très difficile d'attirer des non-scientifiques à une conférence sur la recherche énergé-



Rolf Iten (RI) est économiste ainsi que directeur et partenaire de la société de conseil Infras. Il y est responsable des thématiques de la politique économique et de l'énergie.



Astrid Bjørnsen (AB) est spécialiste en sciences de l'environnement et dirige le programme de recherche «Energy Change Impact» du WSL et de l'Eawag.

tique. Ce format ne convient en effet pas aux agendas chargés des politiques et des journalistes. Chez certains chercheurs, une nouvelle compréhension des rôles s'impose aussi. Il faudrait plus de personnes qui transmettent les connaissances à la population et à la politique de façon ciblée.

Beaucoup de recherches, quelques débats mais peu d'applications, donc. Pourquoi?

RI: Après plus de vingt ans dans le domaine, je ne vois toujours pas comment trancher ce nœud gordien. On sait ce qui est faisable au niveau de la technologie et des ressources. On sait que la transition énergétique est parfaitement gérable au niveau économique et social – mais ce message ne passe pas. Dès que l'on veut introduire des mesures de pilotage efficaces, les gens commencent à crier et à se plaindre de toutes parts.

Cela signifie-t-il que l'on ne sait vraiment que faire de ces résultats de la recherche – répercussions incluses?

AB: Dans la recherche, il y a cette volonté de toujours aller de l'avant, de développer de nouvelles technologies, d'un peu sauver le monde finalement. La dernière chose que l'on souhaite, ce sont des sceptiques qui nous ralentissent et nous disent: Stop, regardons d'abord si c'est la bonne direction. Une recherche qui prédise, à l'aide de données et d'études, les répercussions de mesures à l'image des mesures incitatives financières, et de ce fait accompagne la transformation du système énergétique, est selon moi grandement nécessaire.

RI: Mais c'est aussi une question de communication. Les gens ne

comprennent pas le fonctionnement des systèmes incitatifs financiers ...

AB: ... Le système n'est de toute façon pas assez bien compris par les politiques ni par le grand public. Les centrales de pompage-turbinage sont à nouveau critiquées à tout-va. Les détracteurs n'ont tout simplement pas compris qu'une transition énergétique sans accumulateurs était mission impossible.

RI: Il faut aussi faire appel à des économistes comportementaux ou à des psychologues sociaux qui se concentrent sur la perception des choses. Comment naît la volonté d'accompagner un changement? Nous sommes encore extrêmement loin du but.

AB: Oui, extrêmement!

Au WSL, des spécialistes en sciences sociales et des économistes effectuent aussi des recherches. Qu'en ressort-il?

AB: Ces projets révèlent parfois des choses surprenantes. Une étude a par exemple montré la façon dont les touristes percevaient le rehaussement du mur du lac de retenue du Grimsel. Autre résultat: ils ne considéraient pas du tout l'énergie hydraulique comme une énergie verte. Les connotations sont alors moins positives et innovantes que pour l'énergie éolienne, solaire ou celle issue de la biomasse. Une autre étude du WSL a conclu que la pose de panneaux photovoltaïques ne suscite quasiment pas de conflits, contrairement à l'énergie éolienne où seuls quelques îlots au potentiel de conflit moindre apparaissent.

Comment introduire de telles connaissances dans la mise en œuvre de la transition énergétique?

AB: Le problème, c'est que les chercheurs et les entrepreneurs,



Pour que la transition énergétique soit un succès, il faut des réseaux électriques flexibles, mais aussi et surtout des réseaux de communication.


mais aussi les hommes et femmes politiques parlent des langages diamétralement opposés. Il faudrait un réseau national qui permette à l'économie d'utiliser les connaissances interdisciplinaires ou les technologies issues du secteur énergétique. Ce réseau viserait à encourager la compréhension mutuelle et à unir les différents secteurs qui appliquent véritablement la transformation énergétique.

RI: Dépasser les stéréotypes et les guerres de tranchées idéolo-


giques telles qu'elles font rage au Parlement serait aussi nécessaire – partisans des énergies renouvelables contre adeptes du nucléaire.

AB: Pour obtenir une vue d'ensemble avec du recul, les différentes disciplines de recherche doivent davantage communiquer. La transition énergétique ne peut se passer de collaboration si l'on souhaite une application pertinente. *(bki)*

«Le grand problème selon moi, c'est que l'on ne sache pas encore comment introduire la transition énergétique dans la société et l'économie.»

A large pile of cut logs and branches in a forest, serving as a wood energy storage site. The logs are stacked haphazardly, with many smaller branches and twigs interspersed. The wood is mostly light brown, indicating it is dead or decaying. The background shows a dense forest with green foliage.

Les dépôts de bois-énergie sont très attractifs en tant que sites de reproduction pour les coléoptères vivant dans le bois mort. Si le bois est déchiqueté, ces dépôts se transforment toutefois en pièges sans issue pour les larves.



Aujourd'hui, le rôle de fournisseur en bois-énergie de la forêt redevient plus important, ce qui peut entrer en conflit avec les intérêts de la protection de la nature. Les habitants du bois mort sont notamment mis sous pression.

Une étude pilote du WSL dans des hêtraies le montre: l'impact des pièges dans les stocks de bois-énergie est plus fort dans les forêts sombres que dans les forêts claires. Il dépend aussi des dimensions et de la stratification des pièces de bois.

Stock de bois-énergie dans une hêtraie à proximité de Birmensdorf.

Biomasse pour la transition énergétique suisse. Dans le cadre des centres nationaux de compétences en recherche énergétique, le WSL étudie les potentiels énergétiques de la biomasse.

L'atmosphère est paisible dans le parc du Platzspitz situé au cœur de Zurich. Des jeunes gens sont assis sur l'herbe en petits groupes et profitent des premiers rayons du soleil matinal. Juste en face, un employé de «Grün Stadt Zürich» fait ses rondes avec un tracteur-tondeuse. Lui et ses collègues passent ainsi régulièrement dans tous les espaces verts de la ville afin que les amateurs de soleil puissent s'installer sur la pelouse. La quantité d'herbe amassée chaque année est considérable. Mais qu'advient-il de cette biomasse?

Pour son étude au WSL, Georg Müller, géographe et urbaniste, s'est fixé comme objectif de connaître la quantité de matériel végétal issue de l'entretien du paysage dans le canton de Zurich et la façon dont celle-ci est valorisée. Il a ainsi non seulement étudié la tonte de gazon dans les parcs ou les autres espaces verts publics de la zone urbanisée, mais aussi les déchets de taille non ligneux résultant de l'entretien des réserves naturelles, ou du fauchage le long des routes et des voies de chemins de fer. Une question l'intéressait tout particulièrement: dans quelle mesure ces «déchets végétaux» sont-ils exploitables afin de produire de l'énergie?

«Dans le contexte de la transition énergétique, les énergies renouvelables jouent un rôle croissant. La biomasse peut aussi apporter sa contribution», explique Georg Müller. Toute la biomasse peut en effet être valorisée énergétiquement. Elle est soit brûlée, dégageant ainsi de la chaleur, soit mise en fermentation pour produire du biogaz. À la base de la production de biogaz se trouvent



Le fauchage de la végétation en bordure d'autoroutes ou de routes cantonales permet d'obtenir une certaine quantité de biomasse utilisable à des fins énergétiques.

des processus de décomposition. Ils se déroulent de façon naturelle dans les marais et au fond des lacs: les microorganismes décomposent la substance organique en vase clos et le biogaz se constitue. Celui-ci peut être rassemblé dans un réacteur et transformé en électricité dans une centrale électrique, ou injecté dans le réseau de gaz naturel après un traitement spécial. Les déchets de taille du parc du Platzspitz sont aussi acheminés chaque semaine dans l'installation urbaine de biogaz.

De l'électricité pour 5000 ménages

La végétation issue de l'entretien du paysage ne représente bien sûr qu'une petite partie de la biomasse énergétiquement utilisable. Pourtant, ce type de production d'énergie est déjà d'actualité depuis longtemps dans d'autres pays. L'Allemagne le subventionne même grâce à des fonds publics. En Suisse, au contraire, l'utilisation énergétique de la biomasse herbacée ne fait encore l'objet que de rares débats. C'est ce qu'a voulu changer Georg Müller avec son travail. Mais ce ne fut pas son unique motivation: «Si nous valorisons énergétiquement la biomasse qui résulte de toute façon de l'entretien de surfaces naturelles protégées, nous pouvons concilier les intérêts de la protection de la nature et ceux de la protection climatique.» Du point de vue de la protection climatique, cela signifie que lors de la transformation de la biomasse en énergie, aucun CO₂ supplémentaire ne gagne l'atmosphère. Et pour la protection de la nature, le fauchage et le transport régulier des déchets de taille favorisent la diversité du monde végétal et animal dans les prairies à litière.

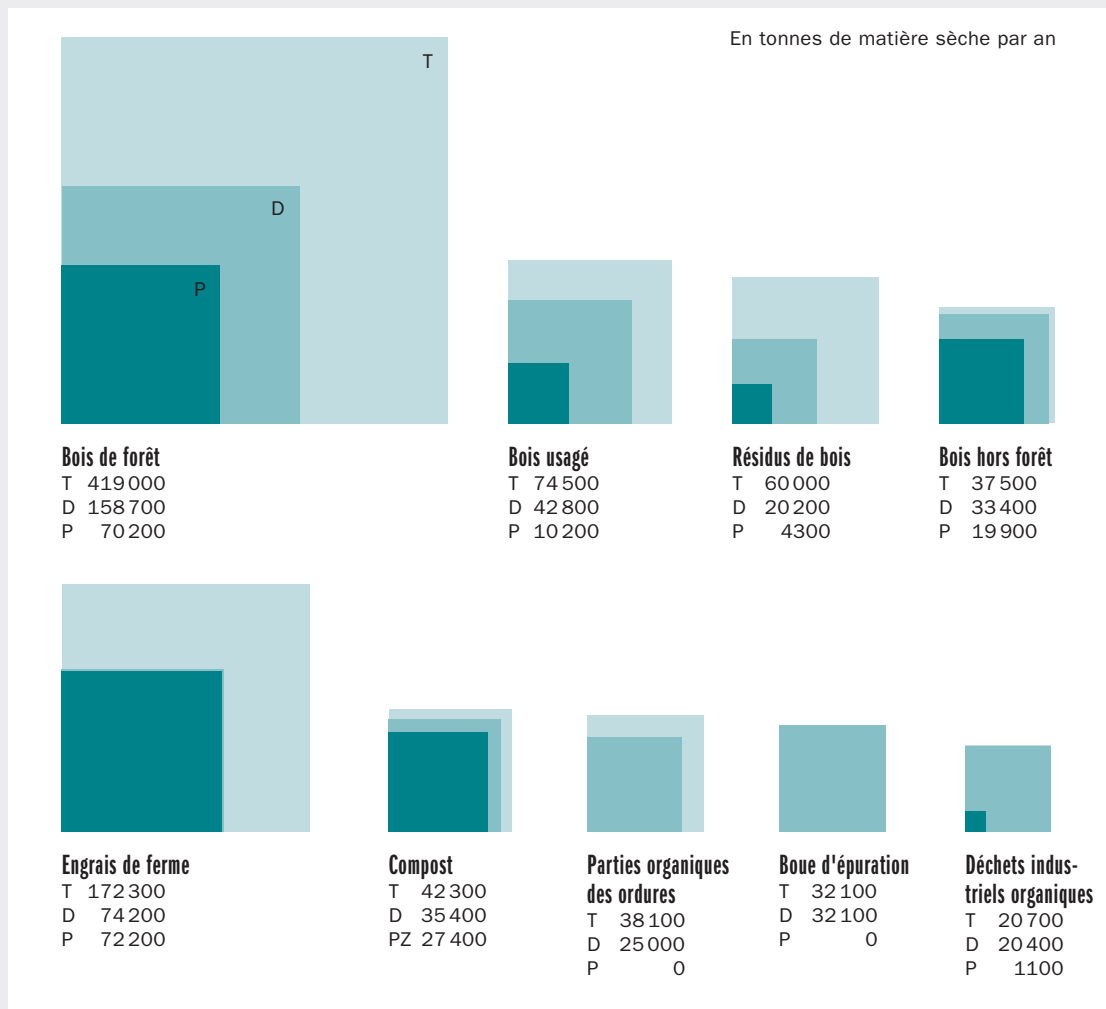
Afin de connaître la quantité effective de végétation issue de l'entretien du paysage dans le canton de Zurich et celle d'énergie susceptible d'être produite, Georg Müller s'est appuyé sur les bases de données disponibles, notamment sur les inventaires des surfaces des différents habitats. En l'absence de données, il a réalisé des entretiens avec des spécialistes responsables des divers espaces verts. Pour pouvoir émettre des énoncés qui dépassent les frontières du canton de Zu-



Les déchets biologiques collectés sont broyés, puis acheminés dans le fermenteur de biogaz. C'est là que se produit la transformation industrielle de la biomasse non ligneuse en biogaz.

GRAPHIQUE INFORMATIF Biomasse utilisable à des fins énergétiques dans le canton d'Argovie

Pour tous les types de biomasse, le WSL a étudié le nombre de tonnes de matière sèche qui s'accumuleraient théoriquement par an dans le canton d'Argovie d'ici à 2050 et dont l'utilisation énergétique serait durable en l'état actuel des connaissances. En plus de la biomasse déjà utilisée aujourd'hui, le WSL a calculé le potentiel énergétique supplémentaire exploitable dans l'avenir. Le bois de forêt et les engrais de ferme présentent de loin le plus grand potentiel additionnel.



BOIS DE FORÊT: Tous les assortiments de bois en provenance de la forêt directement destinés à l'utilisation énergétique. **BOIS USAGÉ:** Bois issu de l'entretien et de la transformation de bâtiments. **RÉSIDUS DE BOIS:** Déchets de production issus d'entreprises qui traitent et transforment le bois brut. **BOIS HORS FORÊT:** Toutes les parties lignifiées d'arbres et de buissons issues des espaces ouverts et des zones d'habitation. **ENGRAIS DE FERME:** Purin et fumier provenant de l'élevage. **COMPOST:** Tous les restes non lignifiés rassemblés par les collectivités locales en provenance de l'entretien du jardin, etc. ainsi que ceux des repas ménagers. **PARTIES ORGANIQUES DES ORDURES:** Restes des denrées alimentaires ou des plantes et autres déchets d'origine organique (papier, carton, liège, etc.) **BOUE D'ÉPURATION:** Composants biogènes et organiques des eaux usées. **DÉCHETS INDUSTRIELS ORGANIQUES:** Résidus de la transformation agroalimentaire, déchets issus de la gastronomie et de la transformation de la viande.

- T Potentiel théorique: Ensemble de la biomasse.
- D Potentiel durable: Potentiel théorique après déduction de la quantité d'énergie inutilisable du fait de contraintes techniques, écologiques, politiques, juridiques ou économiques.
- P Potentiel utilisable supplémentaire: Potentiel durable, déduction faite du potentiel déjà exploité.

rich, il a ensuite extrapolé les résultats à toute la Suisse. Il s'est alors avéré que si on valorisait énergétiquement toute la végétation issue de l'entretien du paysage en Suisse, il serait possible de couvrir le besoin annuel en électricité de 25 000 ménages environ. Georg Müller émet toutefois des réserves: «Aujourd'hui, les agriculteurs utilisent environ 40 à 50 % de la végétation issue de l'entretien du paysage comme fourrage animal ou comme litière, notamment les déchets de taille en provenance des réserves naturelles. Y recourir pour la production d'énergie serait peu pertinent car elle est déjà utilisée de façon durable.»

La même chose vaut pour la tonte du gazon, dont le mulch reste au sol – comme cela est pratiqué dans certains parcs. Cela peut être avantageux économiquement et écologiquement – il est ainsi possible d'économiser des engrais. Pour ces raisons, Georg Müller a écarté de telles surfaces. Il a uniquement calculé le potentiel énergétique durable de la végétation issue de l'entretien du paysage (voir aussi le graphique informatif avec les concepts sur le potentiel). Extrapolé à toute la Suisse, il avoisine les 90 000 gigajoules, ce qui permettrait à environ 5000 ménages de couvrir leur besoin en électricité. Georg Müller voit le plus grand potentiel dans la végétation de bordure d'autoroutes et de routes cantonales. Pour des raisons de sécurité, le service d'entretien l'enlève déjà, afin d'éviter que le matériel végétal ne soit déplacé par le vent ou ne bouche les tuyaux d'évacuation.

La biomasse gagnera en importance

Même si la végétation issue de l'entretien du paysage n'assure qu'une faible contribution à la transition énergétique, Georg Müller est convaincu que la biomasse, en tant que source d'énergie renouvelable, s'imposera de plus en plus. Des propos que ne peut que corroborer Oliver Thees. Au WSL, il dirige le groupe de recherche «Systèmes de gestion forestière». Dans le cadre du centre de compétences BIOSWEET, il étudie en collaboration avec Vanessa Burg, Matthias Erni et Renato Lemm, le rôle potentiel joué par la biomasse dans le système énergétique suisse du futur. Dans le contexte de la Stratégie énergétique 2050, la Commission pour la technologie et l'innovation CTI et le Fonds national suisse FNS ont établi huit centres de compétences en recherche énergétique, ou «Swiss Competence Centers for Energy Research» (SCCER). Le SCCER BIOSWEET (BIOMass for SWiss EnErgy fuTure) est l'un d'eux.

La vision que poursuivent Oliver Thees et les autres chercheurs venus de neuf institutions, c'est le doublement de l'approvisionnement énergétique à partir de la biomasse d'ici à 2050. La plupart des institutions au sein du SCCER BIOSWEET se concentrent sur la recherche technologique; elles étudient la façon dont la biomasse pourra être transformée de façon plus efficace en électricité, en biogaz ou en carburants liquides. L'équipe du WSL autour d'Oliver Thees observe de près les différentes ressources en biomasse et leur disponibilité, tant pour la biomasse ligneuse que non ligneuse. La première compte le bois de forêt – houppiers, branches ou troncs de faible diamètre délaissés par l'industrie. Le bois issu de l'entretien des arbres et des arbustes en milieu urbain, ou provenant des talus routiers et des berges (bois hors forêt), peut aussi être utilisé à des fins énergétiques. De même que celui résultant des transformations de bâtiments (bois usagé) ou encore les déchets de production des scieries ou des ateliers de menuiserie (résidus de bois). Quant à la biomasse non li-

Pour en savoir plus
sur SCCER-
BIOSWEET:
[www.wsl.ch/more/
biosweet-fr](http://www.wsl.ch/more/biosweet-fr)

gneuse, elle comprend la végétation issue de l'entretien du paysage décrite ci-dessus à laquelle s'ajoutent les engrais de ferme, les déchets de récolte agricole, les déchets verts des ménages, des jardins et de l'industrie, ainsi que les boues d'épuration. Comme tous les types de biomasse sont très différents en termes de quantités et de teneur énergétique, il convient tout d'abord de créer une base comparable. Pour tous les types, l'équipe de chercheurs calcule le nombre de tonnes de substance sèche théoriquement présentes et effectivement utilisables de façon durable, et elle établit ensuite leur potentiel énergétique futur – et ce pour toutes les régions de Suisse. Oliver Thees: «Cette compilation nous permet de comparer les biomasses et d'en déduire où l'apport énergétique est actuellement le plus grand et où il le sera à l'avenir» – une base de décision importante pour les politiciens ou les exploitants de centrales à biomasse.

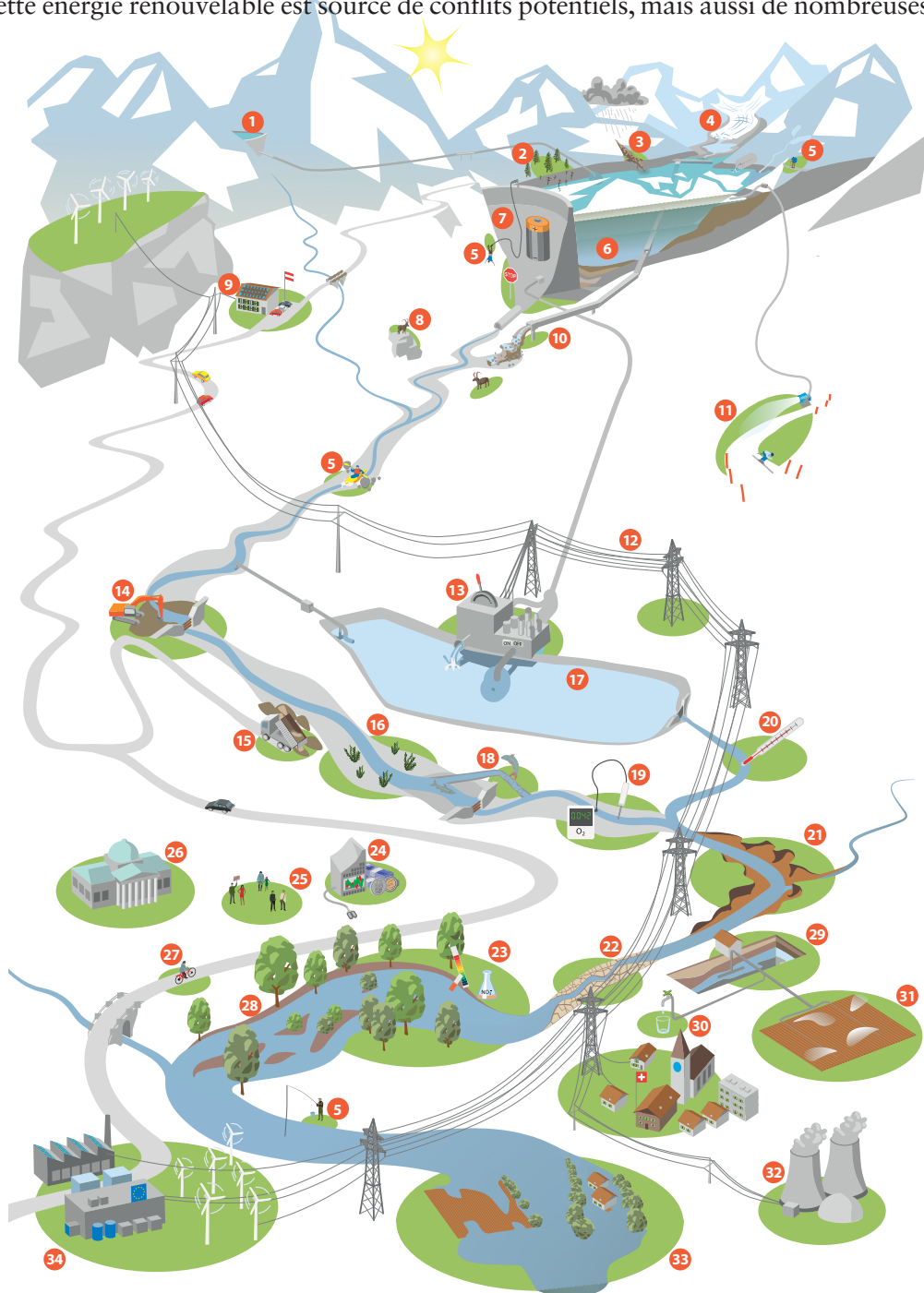
La première phase du projet de recherche s'achèvera fin 2016. D'ici là, les données sur tous les types de biomasse seront disponibles. Dans une deuxième phase, l'équipe définira divers scénarios énergétiques et simulera l'évolution de ces types jusqu'en 2050, sur la base des données du projet SCCER BIOSWEET. Il est déjà possible de tirer de premières conclusions d'une étude préliminaire: dans le projet de recherche «Énergies renouvelables en Argovie» (voir aussi Diagonale 2/15), une collaboratrice d'Oliver Thees a étudié les biomasses dans le canton d'Argovie de façon similaire à ce qui est désormais réalisé dans SCCER BIOSWEET pour l'ensemble de la Suisse. Il ressort de cette étude que le bois de forêt et les engrais de ferme présentent les plus grands potentiels de biomasse énergétiquement utilisable (voir le graphique informatif). La comparaison avec les autres énergies renouvelables en Argovie a démontré qu'au niveau purement quantitatif, la contribution de la biomasse à l'approvisionnement énergétique renouvelable demeurerait modeste à l'avenir. Pour Oliver Thees, ce n'est pas une raison de rester les bras croisés: «Contrairement à l'énergie solaire ou éolienne, la biomasse offre une énergie stockable et ainsi disponible de façon flexible dans le temps afin de compenser les fluctuations des quantités énergétiques solaires et éoliennes. C'est aussi la seule énergie renouvelable qui permette la production de chaleur, d'électricité et de carburant. Je suis de ce fait convaincu que malgré sa faible quantité, la biomasse jouera à l'avenir un rôle plus important qu'aujourd'hui dans le système énergétique global.» (chu)

Rapport sur l'étude
«Énergies renouvelables en Argovie»:
www.wsl.ch/more/energiestudie_aargau
(en allemand)

- | | |
|--|---|
| 1 Transvasement des ressources hydrauliques | 18 Migration des poissons |
| 2 Mise en eau | 19 Valeur pH de l'eau |
| 3 Avalanches et glissements de terrain | 20 Température de l'eau |
| 4 Disparition des glaciers et du pergélisol | 21 Érosion des berges |
| 5 Tourisme et loisirs | 22 Aridité et sécheresse (prévention) |
| 6 Comblement du bassin de retenue | 23 Composition chimique de l'eau |
| 7 Stockage de l'énergie, rétention des eaux et régulation du débit | 24 Marchés financiers et subventions |
| 8 Protection des habitats | 25 Codécision des citoyens |
| 9 Compensation des énergies renouvelables variables | 26 Législation |
| 10 Galeries de déviation pour les sédiments | 27 Barrages et routes d'accès |
| 11 Installations d'enneigement artificiel | 28 Forêts alluviales d'essences à bois dur |
| 12 Infrastructures du réseau électrique | 29 Nappe phréatique |
| 13 Exploitation de la centrale à accumulation par pompage (turbinage, pompage) | 30 Eau potable |
| 14 Extraction du gravier/des sédiments | 31 Irrigation |
| 15 Enrichissement des alluvions | 32 Démantèlement des centrales nucléaires |
| 16 Zones alluviales et habitats ripicoles | 33 (Protection contre les) crues |
| 17 Bassins de compensation | 34 Importation et exportation d'électricité et conception de la politique énergétique |

GRAPHIQUE INFORMATIF Centrales à accumulation par pompage – une solution verte?

Aujourd'hui, 55 % environ de l'électricité suisse proviennent de l'énergie hydraulique – tendance à la hausse. La construction et la transformation des centrales hydroélectriques sont sujettes à controverse lorsque des intérêts différents s'affrontent. Lors d'un atelier réunissant divers experts et acteurs de Suisse et d'Autriche, le WSL a élaboré ce graphique. Il indique les domaines de notre environnement, de notre économie et de notre société qui sont concernés, ou qui impactent la force hydraulique. Cette énergie renouvelable est source de conflits potentiels, mais aussi de nombreuses chances à saisir.



Publié pour la première fois sous Björnsen Gurung et al. (2016) «Rethinking Pumped Storage Hydropower in the European Alps» dans la revue Mountain Research and Development 36(2). DOI: [dx.doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00069.1](https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00069.1)

La production d'énergie éolienne et solaire a besoin de place. Le WSL étudie les conflits mais aussi les chances qui pourraient se profiler à l'avenir.

Zurich, près de la Schaffhauserplatz, dans l'arrondissement 6: comme à de nombreux autres endroits, un vieil immeuble locatif est en train d'être rénové. Ses murs sont entourés d'échafaudages et des artisans sont partout à l'œuvre. Si l'on regarde le bâtiment de plus près, sa façade saute aux yeux. Là où les plaques de verre d'un gris mat n'ont pas encore été installées ressortent des câbles. Cette façade n'est pas ordinaire. Elle est équipée de cellules solaires qui, avec l'installation photovoltaïque sur le toit, fournissent de l'électricité - même en quantité supérieure à celle dont auront besoin les habitants.

La production d'énergie renouvelable nécessite de la place. Dans le cas ci-dessus, cette place est disponible, et l'élégante façade ne dérangerait personne. Mais des conflits surviennent souvent: dans de nombreux sites adaptés à la production d'énergie renouvelable, la construction d'éoliennes ou d'installations solaires réduirait d'autres prestations écosystémiques. La production alimentaire aurait ainsi moins d'espace à disposition, la valeur esthétique d'un paysage pourrait baisser ou l'habitat destiné aux animaux et aux plantes s'amenuiser (voir Diagonale 2/13, p. 30).

Si on limite la production à des sites peu conflictuels, le potentiel énergétique global s'en trouvera considérablement réduit. Peser les intérêts est donc nécessaire, l'utilisation des énergies renouvelables offrant aussi de grandes chances. Dans le cadre du programme de recherche «Energy Change Impact», Janine Bolliger et ses collaboratrices et collaborateurs étudient la quantité d'énergie éolienne et solaire potentiellement produite en Suisse lors de faibles conflits d'utilisation du sol, et les opportunités économiques qui en découleraient. Pour leurs prévisions, les chercheurs ont pris en considération trois scénarios futurs d'utilisation du sol, ainsi que le progrès technologique escompté.

Des chances liées à l'urbanisation

Afin de découvrir le progrès technologique sur lequel tabler, les chercheurs ont effectué des entretiens avec des spécialistes. Les experts en technologie estiment que d'ici à 2035, les éoliennes devraient fonctionner de façon plus efficace qu'aujourd'hui, même avec des vents de faible vitesse, et qu'il serait plus facile de les transporter et de les installer, y compris dans les régions éloignées. L'efficacité des cellules solaires devrait elle aussi augmenter d'au moins 20 %. Elles gagneront également en attractivité, en couleurs ou en invisibilité, ce qui facilitera probablement l'acceptation au sein de la population.

Regard audacieux vers l'année 2035: l'énergie solaire pourra être mieux utilisée car les surfaces construites en Suisse augmenteront dans tous les scénarios d'utilisation du territoire. Grâce à de plus grandes surfaces de toiture et de façades sur lesquelles poser les cellules solaires, le potentiel de l'énergie solaire devrait, en 2035, être de 20 à 50 pourcents supérieur à celui de 2009 selon le

Plus d'informations
à l'adresse:
[www.wsl.ch/more/
chances-renouvelables](http://www.wsl.ch/more/chances-renouvelables)

scénario d'utilisation du territoire choisi. Les conflits seront rares, notamment si l'on part du principe que de nouvelles générations de cellules solaires pourront par exemple produire de l'électricité de façon invisible entre des vitres de verre. À l'avenir, l'énergie solaire contribuera donc probablement plus qu'on ne pensait à combler le déficit énergétique pronostiqué.

La situation est différente en ce qui concerne le potentiel de l'énergie éolienne car les turbines éoliennes déclenchent plus de conflits que les installations solaires (bruit, esthétique, protection de la nature). Le potentiel énergétique global se distingue aujourd'hui déjà très fortement du potentiel énergétique peu conflictuel et malgré les innovations technologiques, cela ne changera probablement pas ultérieurement. Étant donné que les surfaces bâties et les sur-



La façade photovoltaïque de cette tour à Zurich Leimbach fournit environ 85 000 kWh/an et couvre ainsi un tiers de l'électricité consommée par les habitants.

Photo: Lisa Bose, WSL

faces forestières augmenteront jusqu'en 2035, les sites adaptés aux éoliennes se raréfieront de surcroît. Certes, l'efficacité améliorée des turbines compensera cette perte, mais dans tous les scénarios futurs d'utilisation du paysage, la différence entre le potentiel énergétique envisageable et celui peu conflictuel reste importante et de ce fait comparable à la situation actuelle.

Pour quatre régions rurales de Suisse (Surselva, Conches, Emmental supérieur et Val-de-Ruz), les chercheurs ont de plus évalué la façon dont l'économie locale bénéficie de l'utilisation de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire. Même si la création de valeur diffère selon les régions, elle demeure néanmoins partout inférieure à 5 % de la valeur actuelle. La raison à cela? La majorité des installations sont produites à l'étranger et ne rapportent ainsi que peu d'argent aux régions, ne serait-ce qu'au niveau de la maintenance.

Il est possible de chiffrer l'optimisation des sites

L'énergie éolienne n'a-t-elle donc aucune chance? J. Bolliger émet des réserves: «Nos résultats s'appliquent à la Suisse où l'on accorde une place de choix à la «beauté» du paysage. Nombreux sont ceux qui, aujourd'hui, veulent un paysage sans éoliennes, synonymes de nuisances optiques et acoustiques, mais l'acceptation de la société pourrait évoluer.» Il est évident que tous les sites qui entrent en ligne de compte pour les turbines ne sont pas adaptés. «Un site est optimal si le bénéfice lié à l'énergie éolienne produite compense au minimum la perte de prestations écosystémiques», déclare Felix Kienast, Directeur du Centre sur le paysage et professeur en écologie du paysage à l'EPFZ, «de telles estimations facilitent naturellement la recherche de sites et la décision de construire.» Un logiciel d'optimisation permet de telles comparaisons. Grâce à lui, F. Kienast et ses collègues ont calculé les sites où l'implantation de turbines entraîne la plus faible perte de prestations écosystémiques tout en générant la plus forte performance énergétique. Le nombre de turbines perturbatrices peut ainsi être limité dans la mesure du possible.

Autour de la Schaffhauserplatz à Zurich, aucune pesée d'intérêts n'a été nécessaire. En automne 2016, la transformation de l'immeuble locatif sera vraisemblablement terminée, celui-ci produira alors de l'électricité. Sa façade lisse contrastera encore avec celle des maisons voisines aux murs en crépis – mais peut-être plus pour très longtemps. *(lbo)*

Doris Schneider Mathis,
Birmensdorf

«Originaire des Grisons,
quand la chape de
brouillard me pèse, je
cherche un horizon
plus dégagé à proximité
de mon domicile,
Bonstetten. Lors de
longues promenades
sur le haut plateau
de Feldenmas, je me
laisse gagner par la tran-
quillité et la sécurité
des forêts avoisinantes.»

LES INSECTES À TAILLE GÉANTE

Dans le travail de Doris Schneider Mathis, tout ren-voie aux insectes. La collaboratrice technique s'oc-cupe des relevés sur le terrain et identifie à la loupe binoculaire les insectes capturés. Elle forme

au domaine de l'entomologie les apprentis labo-rantins en biologie et familiarise les stagiaires avec ce domaine spécialisé. «J'aime travailler avec les jeunes, cela enrichit mon quotidien professionnel.»

FORÊT Chêne ou chêne? La génétique aide à déterminer les espèces



Prélever un échantillon foliaire de chêne n'est pas si simple que cela.

C'est compliqué: les chênes pédonculés ont des pétioles très courts et des oreillettes à la base des feuilles. Les feuilles du chêne sessile sont dépourvues d'oreillettes, mais dotées de poils étoilés sur la face inférieure – à l'image des feuilles du chêne pubescent qui comportent quant à elles des poils en buisson. Même les spécialistes n'arrivent pas toujours à identifier les chênes avec certitude d'autant plus que les espèces se croisent. Comme les trois espèces de chênes ne s'en sortiront probablement pas de la même façon dans les conditions climatiques futures, la détermination correcte des espèces est importante pour la recherche et la gestion forestière.

Dans le cadre du programme de recherche «Forêt et changements cli-

matiques» de l'OFEV et du WSL, Christian Rellstab a recherché si des marqueurs génétiques, des caractéristiques foliaires (morphologie de la feuille) ou une combinaison des deux permettaient une détermination la plus fiable possible des espèces. Ses collaborateurs et lui ont collecté des feuilles dans 71 peuplements de chênes, sur 20 arbres à chaque fois. Ils les ont utilisées pour étudier l'empreinte génétique des arbres en laboratoire et pour saisir, à travers la loupe binoculaire, les caractéristiques de la forme, du tracé des nervures et des petits poils de la face inférieure des feuilles.

Une combinaison entre génétique et caractéristiques foliaires offre la différenciation la plus fiable. «Nombreux sont ceux qui considèrent les méthodes morphologiques traditionnelles et la génétique comme des disciplines opposées», explique C. Rellstab, «mais chez les espèces qui se croisent et dont l'aspect extérieur est similaire, elles sont complémentaires.» Son étude recommande toutefois de se limiter à la génétique si celle-ci est prise en compte. Les études morphologiques sont en effet coûteuses en temps et les analyses purement génétiques fournissent des résultats dont la qualité est presque aussi bonne que la combinaison des deux méthodes. De plus, les arbres croisés ne présentent pas toujours de caractéristiques morphologiques intermédiaires, alors que les analyses génétiques sont très éclairantes. *(bio)*

A.R. Pluess, S. Augustin, P. Brang (Réd.)
*Forêts et changements climatiques. Éléments
pour des stratégies d'adaptation.*
À paraître en décembre 2016, Éditions Haupt

FORÊT Les hêtres des vallées sèches intra-alpines sont-ils adaptés à la sécheresse?

Sur le Plateau suisse, environ un arbre forestier sur quatre est un hêtre, et même un sur trois dans le Jura. À basse altitude (étages collinéen et montagnard inférieur), le hêtre est ainsi l'essence la plus fréquente de notre pays. Mais elle pourrait être confrontée à un problème de survie: considéré comme mal armé pour faire face aux conditions climatiques futures, le hêtre résiste en effet difficilement aux étés extrêmement secs. Marcus Schaub et Matthias Arend, écophysiologistes, se sont de ce fait intéressés aux hêtres qui croissent depuis longtemps dans des sites secs, tout en s'étant adaptés aux conditions climatiques de l'hiver suisse. Pourraient-ils devenir des parents-modèles pour les générations futures lorsque le climat sera plus sec sur le Plateau suisse?

Au printemps 2011, Matthias Arend planta de jeunes hêtres issus de peuplements forestiers secs intra-alpins de la vallée du Rhône et du Rhin, dans une installation écosystémique modélisée (MODOEK) à Birmensdorf – une installation expérimentale où il est possible de contrôler avec précision la sécheresse du sol. À titre de comparaison, il planta aussi des hêtres de peuplements nettement plus humides, en provenance également de la vallée du Rhône et du Rhin. Au cours des étés 2013 et 2014, la moitié des arbres fut exposée à une sécheresse artificielle contrôlée tandis que l'autre moitié poussa dans des conditions humides. Les chercheurs étudièrent la croissance des arbres pendant et après la sécheresse, les modifications éventuelles de leur métabolisme et leur développement en

fonction des saisons. Comme on s'y attendait, on assista à une diminution moindre de la photosynthèse chez les arbres issus des peuplements forestiers secs, et à une récupération plus rapide après la sécheresse. La croissance annuelle de leurs pousses fut aussi moins entravée. Résultat étonnant cependant: à la suite de la sécheresse, les arbres, toutes origines confondues, présentèrent une production photosynthétique supérieure à ceux qui avaient toujours eu suffisamment d'eau, compensant ainsi une partie des pertes subies. «Nous n'avions pas prévu un tel phénomène», déclare Marcus Schaub.

La stratégie d'adaptation préventive conforme à la politique forestière 2020 recommande aux gestionnaires forestiers d'utiliser des essences et des provenances résistant à la sécheresse. Cet essai démontre que chez les hêtres suisses, certaines origines seraient appropriées. *(bio)*



Dans l'installation écosystémique modélisée, les arbres poussent dans des conditions proches de l'état naturel, néanmoins modifiables expérimentalement.

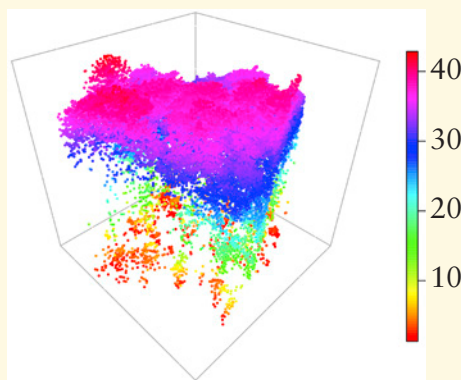
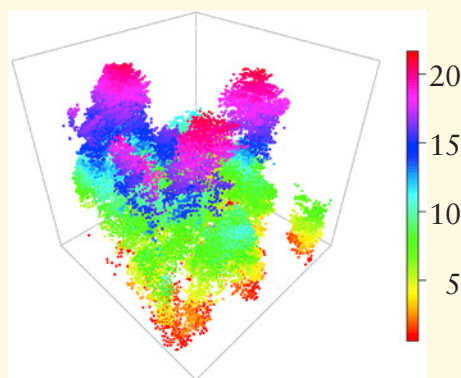
BIODIVERSITÉ La télédétection permet des analyses des structures forestières et de la biodiversité à vaste échelle

Les forêts fascinent Florian Zellweger depuis son enfance. Pendant ses études de géographie à l'Université de Zurich, il s'est concentré sur la diversité de nos forêts et a appris en même temps à utiliser les systèmes d'information géographique et les données de télédétection – une combinaison qu'il a pu appliquer de façon optimale lors de sa thèse de doctorat au WSL.

Toutes les forêts ne présentent pas la même diversité. Différents facteurs entrent en jeu, notamment le climat, les propriétés du sol et la structure de la forêt. Plus cette structure est diversifiée, plus les animaux et les plantes disposent d'un grand nombre de petits habitats différents.

Sur le terrain, un relevé des données sur la structure forestière – par exemple sur la répartition des arbres et des arbustes, ou sur la quantité de lumière qui traverse la canopée pour atteindre le sol – sera toujours très onéreux.

Tout est plus simple aujourd'hui depuis le ciel: à intervalles réguliers, des relevés de vastes parties de la Suisse sont effectués depuis un avion à l'aide du balayage laser. D'immenses sets de données LiDAR (Light Detection And Ranging) sur la structure de surface du paysage sont ainsi disponibles. Le potentiel des données n'est que partiellement exploité: «Les possibilités d'utiliser les données 3D et de les relier à d'autres données sont



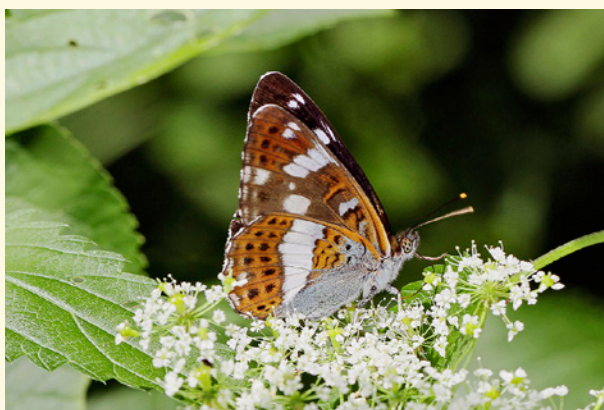
Une forêt de montagne (en haut) et une hêtraie (en bas) avec le nuage de points LiDAR représentant la structure forestière en 3D.

innombrables. Dans le domaine de la biodiversité, c'est toutefois encore trop rarement le cas», explique F. Zellweger.

La structure est déterminante

F. Zellweger voulait savoir dans son travail si les sets de données LiDAR laissaient présager la biodiversité en forêt. «Les données sur la structure forestière sont importantes car des interventions forestières permettent d'influer sur la structure d'une forêt», précise F. Zellweger. «Si nous savons ainsi quelles sont les structures propices à la biodiversité, nous pouvons émettre des recommandations à l'attention de la gestion forestière.» Pour le découvrir, il a relié des données sur la diversité et sur les habitats des différents groupes d'espèces avec des données LiDAR. Ses résultats sont réjouissants: il a pu montrer entre autres que les données sur les structures forestières permettaient de prédire la présence de nombreux papillons. Plus la strate arbustive était diversifiée en forêt, par exemple le long de lisières bien structurées, plus la diversité des papillons était élevée. De nombreux papillons et leurs chenilles trouvent en effet nourriture et protection dans les arbustes.

Grâce à l'exemple des chauves-souris, F. Zellweger a aussi pu démontrer que la structure forestière déterminait également la façon dont les différentes espèces utilisaient leur habitat. Des espèces de chauves-souris souvent présentes au cœur des forêts étaient par exemple moins actives dans des peuplements forestiers aux nombreuses branches et au feuillage dense, continu verticalement. Ces structures perturbent les cris d'écholocation et de ce fait l'orientation des chauves-souris.



Une strate arbustive richement structurée favorise la diversité des papillons. En photo un Petit sylvain.

Valeur ajoutée grâce à de nouveaux liens

Les données sur la structure forestière issues de la télédétection sont donc bien adaptées pour prévoir à grande échelle la biodiversité dans les forêts suisses. Les avantages de cette méthode: elle coûte moins cher que les relevés des structures forestières sur le terrain et peut être appliquée à des zones de toutes dimensions. Il est tout aussi simple de constater les modifications dans les forêts à la suite par exemple de tempêtes ou d'interventions forestières. Et F. Zellweger en est sûr: «La valorisation des sets de données issus de la télédétection ne fait que commencer». (lbo)

www.wsl.ch/more/structureforestiere

BIODIVERSITÉ Des capteurs à ultrasons permettent «d'entendre» pousser les plantes



Relevés de végétation dans la station météorologique automatique «Rhin postérieur - Alp Piänetsch» dans les Grisons.

Les stations météorologiques automatiques mesurent le vent, les températures et la hauteur de neige notamment. Mais ces stations IMIS font encore mieux: depuis les années 1990, leurs capteurs à ultrasons saisissent aussi la vitesse de croissance des plantes dans un périmètre de 75 cm en-dessous du capteur. Grâce à ce set unique de données issues d'environ 130 stations, les chercheurs du SLF, du WSL et de l'Université de Neuchâtel reconstruisent l'évolution de la végétation au fil des 20 dernières années, et prévoient les réactions futures des plantes alpines au réchauffement climatique.

Les premiers résultats démontrent que la durée de l'enneigement a nettement diminué dans toutes les stations étudiées ces dernières décennies – en premier lieu en

raison de la fonte précoce de la neige au printemps. Les plantes ont réagi aux modifications des conditions environnementales: le début de leur croissance est ainsi fortement corrélé à la date de la fonte des neiges, quelle que soit l'altitude de la station, si bien que plus la fonte totale du manteau neigeux a lieu tôt, plus les plantes sont susceptibles de sortir de leur état de dormance. Les années de fonte précoce des neiges, les plantes se développent toutefois plus lentement que lors d'une fonte tardive. Les températures atmosphériques s'avèrent être responsables de l'effet ainsi observé: plus tôt dans l'année, elles ne sont pas assez élevées pour fournir aux plantes la chaleur suffisante à leur croissance. (chu)

www.slf.ch/more/imis-vegetation-fr

PAYSAGE Mesures prises par les communes contre l'étalement urbain

En Suisse, rien qu'entre 1985 et 2009, l'urbanisation a gagné un espace équivalant à la superficie du Lac Léman. D'où un patchwork urbain qui se forme, des terres arables qui disparaissent, une consommation énergétique et des coûts d'infrastructure qui augmentent en maints endroits. Les communes jouent dès lors un rôle clé dans la lutte contre l'étalement urbain: elles doivent se développer dans le cadre des plans directeurs cantonaux et concilier les intérêts les plus divers.

Grâce au soutien du programme national de recherche «Utilisation durable de la ressource sols» (PNR 68), des chercheurs du WSL ont évalué les réponses de 1619 communes à la question: quelles mesures et structures organisationnelles vous ont permis de planifier et de développer votre sol ces dernières décennies? Les mesures les plus fréquentes concernent la densification du bâti et le développement stratégique des communes. Les communes définissent souvent les parcelles à densifier et les bâtiments à surélever, ou elles déterminent des espaces libres de constructions à même de protéger les espaces verts existants.

Les plans d'affectation spéciaux et les concours d'architecture servent souvent aux grandes communes à piloter les constructions dans les zones en expansion. Récemment, le classement de nouveaux terrains en zone à bâtir a ainsi été freiné, même si cette mesure est rare. Les petites communes essaient d'utiliser les «dents creuses» pour construire au centre des localités plutôt que de continuer à s'étendre en périphérie. L'obligation

de construire dans un délai donné sur les surfaces inventoriées comme zones à bâtir le permet notamment.

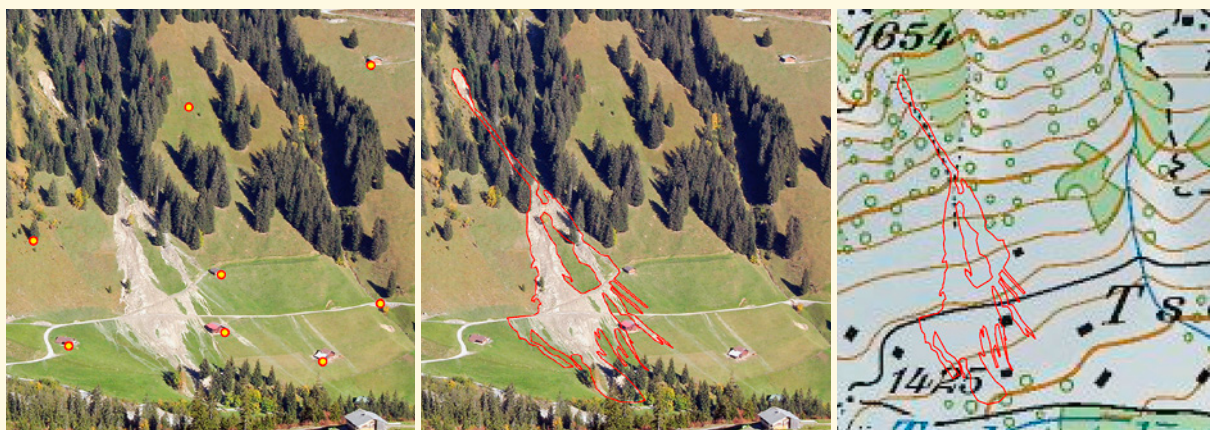
Une première: l'enquête fournit un aperçu systématique sur l'organisation de l'aménagement du territoire au niveau local. Il est ainsi possible de comparer les communes et les régions. Les données facilitent désormais l'étude d'autres corrélations, telle l'influence de certains instruments de pilotage sur l'étalement urbain.

(bki)



Travaux de construction du bâtiment le plus élevé du canton de Zoug, le Park-Tower.

PAYSAGE Monoplotting: saisir les modifications du paysage grâce à des photographies



Exemple d'une coulée de boue à Tschentetal/Egerle, Adelboden (BE). De gauche à droite: photo originale du 18.10.2011 avec les points de référence (points jaunes entourés de rouge); photo originale avec numérisation de l'étendue de la lave torrentielle (ligne rouge); carte détaillée avec un tracé de l'étendue de la lave torrentielle. En raison de la vaste surface couverte par les dépôts, une cartographie sur le terrain aurait été extrêmement complexe.

Grande fut la surprise de Marco Conedera lorsqu'il reçut une demande de Rio de Janeiro. Le Directeur de l'Instituto Moreira Salles – une organisation de promotion culturelle – avait découvert sur Internet l'outil de monoplotting mis au point par l'antenne du WSL au Tessin. Ce logiciel gratuit développé par Claudio Bozzini, Patrik Krebs et Marco Conedera permet de numériser des caractéristiques paysagères comme des cours d'eau ou des éperons rocheux sur n'importe quelle photo, et de les reporter sur une carte avec un degré de précision allant de quelques décimètres à quelques mètres. Les seules exigences vis-à-vis de la photo: disposer d'une version numérique, d'une bonne résolution, et d'au moins quatre points de référence, soit des éléments paysagers clairement identifiables sur la photo et sur une carte. La photo peut ainsi être géoréférencée, c'est-à-dire que chaque pixel se voit attribuer une coordonnée réelle.

Cette technique ouvre des perspectives insoupçonnées. Grâce à l'im-

mense trésor de photographies historiques qu'abritent de nombreuses archives, il devient possible de documenter quantitativement les modifications du paysage. De combien de mètres progresse la limite supérieure de la forêt par exemple, ou encore combien de mètres courants de terrassements traversaient jadis un paysage aujourd'hui boisé? Cette technique intéresse aussi désormais l'Instituto Moreira Salles: avec cet outil de monoplotting, il souhaite évaluer quantitativement plus de 10 000 photos de Rio et d'autres régions brésiliennes, une collection unique qui existe depuis le XIX^e siècle.

Mieux saisir l'ampleur des catastrophes naturelles

Le logiciel ne se limite pas à l'analyse des photographies historiques, mais offre aussi un grand potentiel pour documenter les catastrophes naturelles actuelles. Souvent, seules des photographies ciblées permettent par exemple de saisir des laves torrentielles qui se déclenchent en même

temps ou sur des terrains impraticables. Il en est de même pour les coulées de boue particulièrement importantes, lorsqu'il s'agit notamment d'introduire des mesures de sauvetage. Le monoplottage facilite l'évaluation ultérieure de telles images au calme dans un bureau, et ainsi le calcul de l'étendue exacte des dépôts de laves torrentielles. Un avantage qui n'a pas non plus échappé à l'Office fédéral de l'environnement. L'OFEV a chargé M. Conedera et son équipe de programmer une interface afin d'importer dans StorMe des photos évaluées par l'outil de monoplott-

ting. StorMe est la base de données du cadastre des catastrophes naturelles, gérée par les cantons sur mandat de la Confédération. À l'avenir, les collaborateurs des cantons pourront directement saisir une partie des dégâts avec le monoplottage – et consigner encore plus facilement les catastrophes naturelles. *(chu)*

www.wsl.ch/more/monoplotting-fr

PAYSAGE Structure 3D de la végétation – un nouvel outil la rend accessible

Pierre Cothureau, spécialiste en sciences de l'environnement, s'est fixé un objectif particulier dans son travail de master: permettre à tout chercheur qui s'intéresse à la structure de la végétation ligneuse de la modéliser en 3 dimensions pour les régions souhaitées, et ce, même sans connaissance spécifique en télédétection. À cet effet, il a développé le «Vertical Vegetation Structure Classifier» (VVSC). Cet outil SIG répartit la végétation en un maximum de six classes de hauteurs définies par l'utilisateur, et représente l'extrait de paysage choisi sous la forme d'un modèle 3D. Cette modélisation repose sur des données de télédétection (LiDAR) qui reproduisent toute la structure de la surface de l'ensemble de la Suisse. Grâce à l'outil de P. Cothureau, les chercheurs peuvent désormais tirer parti de ce set de données. Les modèles 3D sont importants pour différentes problématiques écologiques. P. Cothureau: «L'un des principaux ob-



Visualisation du paysage en 3D: la couleur vert clair représente la classe de végétation comprise entre 3 et 6 m de hauteur, la couleur vert foncé celle située entre 15 et 50 m.

jectifs du VVSC consiste à montrer aux utilisateurs si les différentes hauteurs de la structure végétale sont connectées dans le paysage.» Le travail de P. Cothureau a suscité un vif intérêt: il a été récompensé par le Young Scholar Award de l'entreprise Esri – l'une des entreprises leader dans la fabrication de logiciels de systèmes d'information géographique – et a pu présenter son projet à San Diego, aux États-Unis, à un public international spécialisé. *(ces)*

www.wsl.ch/more/vvsc-fr

DANGERS NATURELS Dans quelle mesure les plantes stabilisent-elles les pentes?



Les plantes peuvent empêcher des glissements de terrain, mais pas toujours: leur effet stabilisateur risque par exemple d'être entravé par un pacage ou une fertilisation intensifs.

Les laves torrentielles déclenchées à la suite de fortes intempéries s'accompagnent souvent de glissements de terrain, légers ou importants, qui causent des dégâts aux sols et aux infrastructures. Une couverture végétale intacte pourrait protéger de l'érosion et des glissements de terrain. Mais on ignorait encore dans quelle mesure et avec quelle combinaison de plantes cette protection était effective. Les résultats du projet du WSL, SOSTANAH (SOil STability and NATural Hazards), qui relève du programme national de recherche «Utilisation durable des sols» (PNR 68), livrent de nouvelles connaissances à ce sujet.

Afin de chiffrer l'effet stabilisateur des plantes, Anil Yildiz, docteur, a analysé en laboratoire des

échantillons de sols issus de deux zones de glissement. À l'aide d'un appareil de mesure du cisaillement, il a mesuré les forces nécessaires pour déclencher le glissement d'une pente – avec ou sans plantes. Il s'est avéré que celles-ci consolidaient déjà fortement la terre après six mois de croissance. Ainsi la stabilité de la pente est encore assurée même avec une déclivité de 5° supérieure à celle que permettrait la nature du sol.

Une étude sur le site d'Hexenrübli (NW), non boisé à la suite d'érosion et de glissements, est destinée à prouver l'efficacité des espèces ligneuses plantées. Les saules plantés entre 2009 et 2011 ont formé une biomasse aérienne et souterraine très développée. La prochaine grande intempérie montrera sans doute à quel

point les plantes ont amélioré la stabilité de la pente.

Les résultats des divers projets partiels SOSTANAH confirment et complètent les directives sur la gestion des forêts de protection (NaiS). En voici quelques enseignements: les pentes devraient comporter le plus grand nombre possible d'espèces, de groupes d'âges et de structures racinaires; un pacage et une fertilisation intensifs peuvent au contraire entraver l'effet protecteur des plantes; il est recommandé d'éviter autant que possible les percées de plus de 20 m dans la ligne de pente.

Quel rôle joue la structure forestière lors de glissements de ter-

rain? Des chercheurs du WSL l'ont évalué à l'aide de méthodes statistiques en prenant l'exemple de Sachseln (OW). En 1997, plus de 500 glissements de terrain s'y étaient déclenchés après de violentes pluies. Les calculs indiquent que sur la bonne centaine de glissements pris en compte, environ quatre cinquièmes ne se seraient pas produits en cas de gestion optimale. Une estimation a révélé que les soins appropriés et l'entretien de la surface forestière concernée ne coûteraient qu'un dixième du montant total des dégâts. *(bki)*

www.slf.ch/more/sostanah-fr

DANGERS NATURELS À quel risque d'avalanche nous expose une randonnée dans la neige?

«Muotathal (SZ), 27 février 2016: un randonneur à ski tué par une avalanche sur le Blüemberg.» Tous les hivers, nous lisons de telles annonces dans les médias. Chaque année, 23 personnes en moyenne périssent en Suisse dans une avalanche. Dans presque tous les cas, les victimes se trouvaient en dehors des pistes et l'on déplore régulièrement la prise excessive de risques des adeptes des sports de neige. Les randonnées dans la neige sont-elles donc particulièrement dangereuses? Or à ce jour, faute de données fiables, des suppositions ne pouvaient qu'être émises.

Les risques encourus lors de randonnées dans la neige sont similaires à ceux de la route

Par risque d'avalanche, on entend la probabilité qu'à un randonneur, au cours d'une journée de randonnée ou d'une année, de périr des suites d'une



Les hommes de 30 à 60 ans qui sont des adeptes de la randonnée à ski sont exposés au risque le plus élevé de périr dans un accident d'avalanche.

avalanche. Afin d'estimer ce risque pour un randonneur, on met en relation le nombre de victimes décédées avec l'ensemble des activités hivernales de randonnée en montagne. Depuis des années, le SLF effectue des relevés détaillés des accidents. Établir le nombre de personnes en randonnée est toutefois beaucoup plus diffi-

cile. Pour la première fois, les études «sport suisse» de l'Office fédéral du sport disposent de données statistiques fiables sur ce sujet. Pour ces études, environ 23 000 personnes vivant en Suisse ont été interrogées sur leur comportement sportif. L'enquête montre entre autres la fréquence des randonnées dans la neige auxquelles s'adonne la population suisse.

Kurt Winkler, prévisionniste d'avalanches au SLF, a comparé ces chiffres avec le nombre d'accidents d'avalanche. Une première: son calcul, fondé sur des statistiques, de ce risque d'accident mortel pour un randonneur. «Pour ce dernier, le risque de périr dans l'année lors d'une avalanche est quasiment aussi élevé que celui de mourir au cours de la même période sur la route», explique-t-il. Ce risque varie cependant: il est environ six fois plus faible pour les randonneurs à raquettes que pour ceux à ski. K. Winkler suppose que cela est surtout lié au côté relativement peu dangereux des terrains parcourus par les premiers. En revanche, les randonneurs à raquettes ont des chances de survie nettement plus mauvaises s'ils sont ensevelis par une avalanche. «Cela démontre que dans ce groupe, le secours par les membres du groupe ne fonctionne pas suffisamment. Il faudrait s'y préparer dans des cours de sauvetage», recommande K. Winkler.

Il est important de souligner que les hommes sont exposés à un risque jusqu'à trois fois et demi supérieur à celui des femmes. Ou pour le dire autrement: pour le même risque, une femme peut sortir en randonnée toute la semaine, et un homme seulement le week-end. Les 30–60 ans semblent prendre tendanciellement des risques plus élevés que les plus jeunes et les plus âgés. «Lors de nos campagnes

de prévention, nous devrions essayer ainsi de cibler davantage les hommes d'âge moyen adeptes de la randonnée à ski», ajoute K. Winkler.

Un manteau de neige ancienne fragile est critique

Frank Techel, aussi prévisionniste d'avalanches au SLF, a effectué une comparaison entre la fréquence des accidents d'avalanche dans différentes régions et le nombre d'entrées sur les portails en ligne où des alpinistes documentent leurs randonnées. Il a pu démontrer que le risque d'avalanche augmentait de façon significative non seulement avec le niveau de danger, mais aussi avec la localisation: il est en effet supérieur dans les vallées intra-alpines du Valais et des Grisons par rapport au reste des Alpes suisses du fait de la présence plus fréquente d'un manteau de neige ancienne fragile. Mais contrairement à la région, ni le temps ni le jour de la semaine n'ont d'influence sur ce risque.

(mhe)

Anil Yildiz,
Birmensdorf

«La ville me propose ce qu'offre rarement la nature: le contact avec les autres. Ici, à la Langstrasse de Zurich, je rencontre mes amis et discute avec eux, et je fais la connaissance de nouvelles personnes.»



REGARD DANS LE SOL

Avec leur système racinaire, les plantes stabilisent les pentes raides et instables. Dans sa thèse de doctorat, Anil Yildiz étudie comment cette influence des plantes peut se mesurer. L'ingénieur civil travaille avec des cher-

cheurs issus de différents domaines: biologie, sciences forestières et écologie. «J'apprécie la collaboration interdisciplinaire. Nous observons le même objet à travers diverses perspectives.»

NEIGE ET GLACE Dans les Alpes, la quantité d'eau stockée au printemps sous forme de neige a diminué



Dans les Alpes, d'énormes quantités d'eau sont stockées sous forme de neige de manière saisonnière.

Dans les Alpes, une partie des précipitations hivernales est temporairement stockée sous forme de neige. Au printemps et en été, celle-ci est alors disponible comme eau potable ou comme eau de fonte pour la production d'électricité et l'agriculture. Les fluctuations saisonnières des quantités pluviométriques sont alors partiellement compensées. Une première: pour son travail de master au SLF réalisé dans plus de 40 stations de mesures de quatre pays alpins, Anna-Maria Tilg a étudié les modifications de l'équivalent en eau de la neige, c'est-à-dire de la quantité d'eau libérée par la fonte complète de la neige. Malgré la répartition des stations à des altitudes très différentes et dans des régions climatiques très diverses, elle a découvert des tendances

étonnamment homogènes au niveau des Alpes les 45 dernières années. En effet, tandis que l'équivalent en eau de la neige évoluait peu l'hiver, il diminuait nettement dans environ la moitié des stations au 1^{er} avril, jour de référence de la période étudiée. Les raisons de ce phénomène? Des températures plus élevées, mais aussi en partie des précipitations printanières inférieures ces dernières décennies. Si, comme on s'y attend, les températures continuent d'augmenter, le débit des rivières alpines sera à l'avenir sensiblement plus faible l'été car l'essentiel de la fonte des neiges aura eu lieu plus tôt. *(mbe)*

www.slf.ch/more/swr

NEIGE ET GLACE Influencer le comportement des skieurs hors-piste grâce à des figures emblématiques

La neige fraîche, vierge, brille au soleil. Trois ou quatre virages en dehors de la piste, un saut téméraire au-dessus d'un monticule et les trois skieurs hors-piste glissent déjà en direction d'une zone de tranquillité pour la faune sauvage. Un panneau avec deux peluches en fourrure leur rappelle alors qu'ils ne doivent pas perturber les animaux sauvages.

Ce panneau relève de la campagne «Respect Wildlife», conçue spécialement pour les skieurs hors-piste sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV, du Club Alpin Suisse CAS et de diverses associations. Au cœur de cette campagne, de courtes vidéos avec les deux peluches Toni et Geri, ainsi que des skieurs hors-piste renommés en pleine action. Des figures emblématiques du hors-piste, acquises à la cause de la protection de la faune sauvage, ont diffusé les vidéos dans les médias sociaux.

L'évaluation le montre: la campagne est efficace

Les hivers 2013/14 et 2015/16, le WSL a évalué la campagne au moyen de sondages dans deux domaines skiables. Le résultat est positif: à Laax, où la campagne a été diffusée, sa notoriété a augmenté de façon significative, de même que la disposition des sondés à respecter les zones de protection de la faune sauvage. Mais sur le Flumserberg également où n'étaient visibles ni aucune vidéo ni aucun panneau, la campagne a été efficace grâce à la diffusion des vidéos sur Internet.

Des études antérieures du WSL prouvent que les randonneurs à ra-

quettes et à skis sont plus favorables à la protection de la faune que les adeptes du hors-piste; les informations habituelles suffisent à convaincre les premiers de respecter la faune sauvage. Chez les adeptes du hors-piste, de nouvelles approches sont nécessaires: «La décision de concevoir une campagne axée sur les destinataires et de l'effectuer avec des figures connues du groupe-cible, explique sa réussite», conclut Marcel Hunziker qui a dirigé l'évaluation «Respect Wildlife». (lbo)

www.wsl.ch/more/freerider-fr



Les deux peluches Toni et Geri rappellent aux skieurs hors-piste s'aventurant en dehors de la zone balisée qu'ils ne doivent pas perturber les animaux sauvages à cet endroit.

Fabian Wolfsperger,
Davos

«Ici, dans le domaine skiable de Pischa, commence l'une des plus belles descentes que je connaisse – l'été à vélo comme l'hiver à ski. Avant le départ, je profite du soleil et de la superbe vue sur Davos.»

RECHERCHE SUR LA NEIGE POUR LE SPORT ET L'INDUSTRIE

L'ingénieur en sport Fabian Wolfsperger mène des recherches en étroite collaboration avec l'industrie et les fédérations sportives: comment produire de la neige technique sans électricité? Quels éléments déterminent la qualité de glisse des

peaux de phoque? Quelles forces s'appliquent dans la goulotte d'évacuation d'une déneigeuse? «Codévelopper des produits innovants tout en disposant de temps pour mes travaux scientifiques, voilà ce que j'apprécie dans mon travail.»



Les réserves forestières assurent la protection des espèces et des processus. Tandis que l'être humain intervient dans les réserves forestières spéciales en faveur de certaines espèces végétales ou animales, toute exploitation est interdite dans les réserves forestières naturelles. Les processus naturels peuvent dès lors être favorisés. Apparaissent ainsi au fil du temps des structures similaires à la forêt primaire qui offrent un habitat à des espèces animales et végétales rares et menacées. Le WSL étudie l'évolution des réserves forestières et la façon dont elles se différencient notamment des forêts exploitées.

SERVICE D'ABONNEMENT

Possibilité de s'abonner gratuitement à
DIAGONALE: www.wsl.ch/diagonale

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

IMPRESSUM

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

Texte et rédaction:
Lisa Bose (lbo), Carla Eschmann (ces),
Sandra Gurzeler (sgu), Martin Heggli
(mhe), Christine Huovinen (chu),
Beate Kittl (bki), Reinhard Lässig (rlä),
Birgit Ottmer (bio)

Direction rédactionnelle:
Lisa Bose, Christine Huovinen;
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: 1200 exemplaires, deux
numéros par an. Le Magazine du WSL
DIAGONALE paraît aussi en allemand
et en anglais.

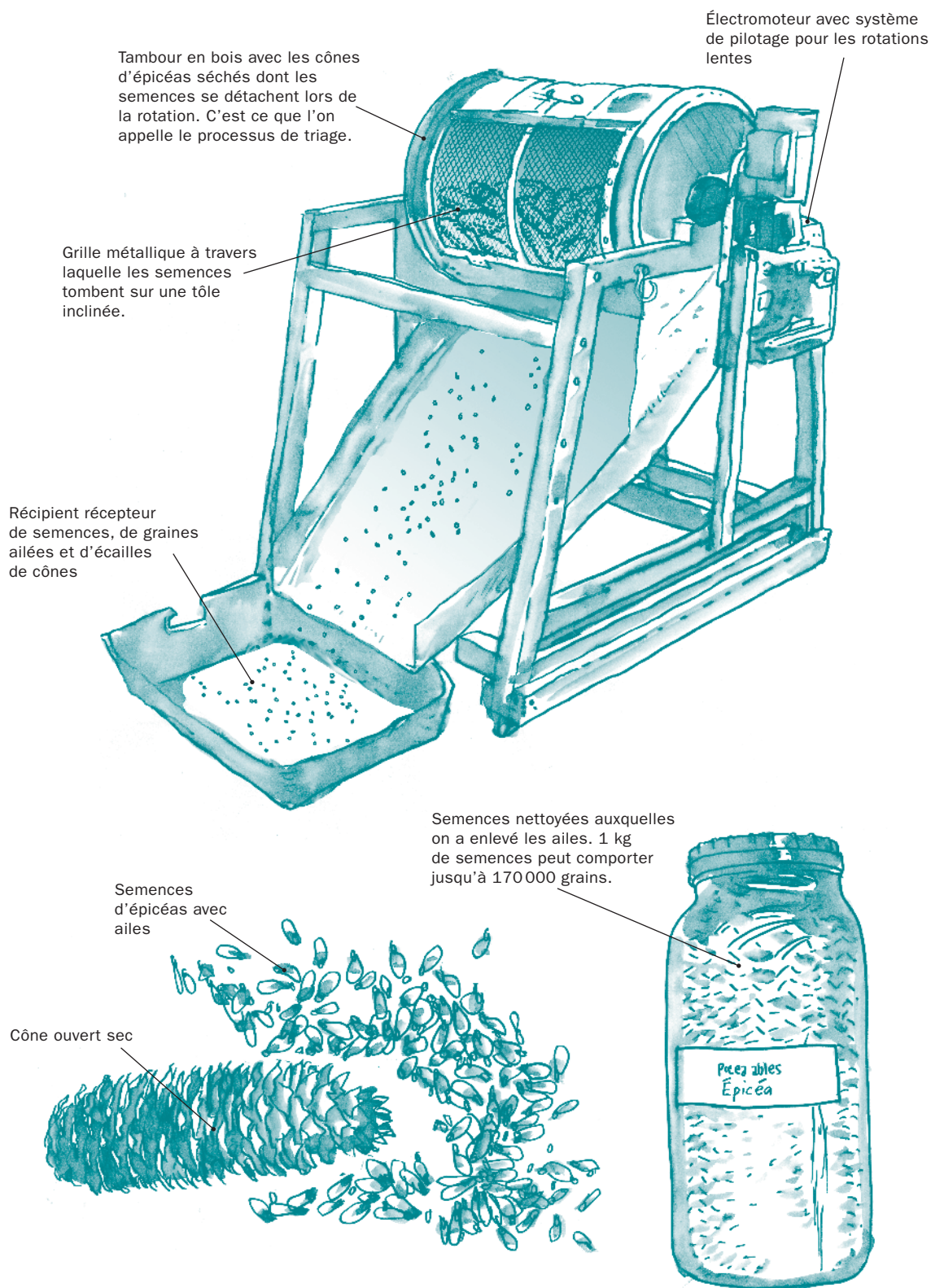
Référence bibliographique:
Institut fédéral de recherches WSL
2016: Magazine du WSL Diagonale,
2/16. 36 p. ISSN 2296-3596

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

TAMBOUR POUR LE TRIAGE DES SEMENCES



Le WSL collecte et trie les semences forestières. Il exploite le centre national de fourniture des semences qui propose celles-ci aux entreprises forestières et aux pépinières. Dans une chambre froide, le WSL entrepose des semences d'épicéas de diverses provenances et dont l'âge peut atteindre 60 ans, ainsi que des semences d'environ 50 autres espèces ligneuses.

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





Hêtres et sécheresse: moins d'eau n'est pas rédhibitoire, p. 21

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.

