



Sur la surface d'afforestation du Stillberg, près de Davos, l'Institut fédéral de recherches WSL s'intéresse depuis 50 ans déjà aux techniques d'afforestation en altitude et aux principes écologiques s'appliquant à la limite des arbres. Il y a 30 ans, on a planté ici 92 000 arbres selon un schéma bien précis

Pourquoi il n'y a pas d'arbres en altitude

La limite de la forêt

Si les arbres ne poussent pas au-dessus d'une certaine altitude, cela s'explique principalement par des températures trop basses pendant la période de végétation. Le réchauffement climatique actuel pourrait donc faire remonter la limite supérieure de la forêt. L'Oural, une région peu peuplée de Russie où la limite de la forêt est clairement plus élevée qu'il y a un siècle, permet de vérifier l'impact du réchauffement sur cette limite.

Le climat se réchauffe. En cent ans, les températures moyennes ont augmenté de 0,6° C environ. En montagne aussi, les conséquences se font sentir : les glaciers fondent, le permafrost dégèle et, aux altitudes moyennes, le manteau neigeux diminue. Quelles sont donc les conséquences de ce réchauffement sur la végétation ?



Photo : Foto Furter, Davos

On appelle limite de la forêt la ligne qui délimite vers le haut une forêt compacte. Dans les vallées intérieures des Alpes, comme ici, dans le val Truppchun

(Parc national suisse), cette limite se situe plus haut que dans les Préalpes. Elle se compose souvent d'arolles et de mélèzes

foretinfo.net

Le portail Internet international *foretinfo.net* met à disposition une quantité considérable d'informations pour toute personne qui s'intéresse à la nature. Qu'il s'agisse de faits concernant la forêt ou la faune sauvage, des dernières nouveautés en matière de technique forestière ou de recherche, d'informations sur le bostryche ou les écosystèmes, tous ces sujets et une multitude d'autres sont traités dans des textes accessibles accompagnés de plus de 4000 images et d'autant de liens. Les contenus, en 5 langues, sont mis à disposition par onze institutions basées en Allemagne, en France, en Italie, au Liechtenstein, en Autriche, en Slovaquie et en Suisse.

Facteur déterminant : la température

Du point de vue écologique et esthétique, on observe en montagne une démarcation très claire : la limite de la forêt ou des arbres. Par limite de la forêt, on entend la ligne qui délimite vers le haut une forêt compacte. La limite des arbres, elle, englobe tous les arbres isolés. Pourquoi ceux-ci disparaissent-ils à mesure que l'on monte ? A première vue, on pourrait croire que les températures hivernales très basses ou les périodes de gel font plus de mal aux arbres qu'aux végétaux plus proches du sol. Ce n'est pas le cas : en effet, les arbres peuvent s'adapter à des températures inférieures à -60° C en stockant du glucose et d'autres substances protectrices et en modifiant leurs cellules. Des mesures de la température à la limite des arbres, dans toutes les régions du monde, montrent que c'est surtout

un climat trop froid pendant la période de végétation qui influence la limite des arbres. Les racines ont besoin d'une température de 5 à 7° C pour permettre des processus métaboliques indispensables à la croissance. Si la période de végétation est trop courte ou trop froide, les arbres n'ont pas assez d'énergie à investir dans la constitution d'un tronc vertical. A leur limite supérieure, les arbres sont aussi leurs propres ennemis : leur ombre rafraîchit le terrain autour de leurs racines. Affaiblis, ils ont du mal à s'affirmer face à des espèces plus proches du sol. Les températures estivales influencent donc la limite de la forêt. Au niveau local, d'autres facteurs s'y ajoutent : les déplacements de la neige, le gel au début de l'été, le vent, certaines espèces de cham-



Photo : Peter Bebi

A la limite des arbres, ceux-ci ont la vie dure. Les branches supérieures de ce mélèze ont dépéri plusieurs fois parce qu'au printemps, lorsque le sol

est gelé, l'apport en eau est insuffisant (dessiccation hivernale). Par contre, les branches qui sont à l'abri de la neige continuent de se développer



Photo : Foto Furter, Davos



Photo : Foto Furter, Davos

Saas im Prättigau en 1948 (en haut) et 2003 (à g.). Dans les Alpes, c'est surtout dans les zones moins élevées que la forêt s'est étendue avec le recul de l'agriculture et de l'exploitation des alpages. De 1985 à 1995, la surface couverte par la forêt dans les Alpes a augmenté de 7,6%

pignons, la sécheresse et la concurrence des herbacées. Dans un espace limité, ces facteurs peuvent avoir une influence déterminante. C'est ce qui explique que la limite de la forêt est rarement une ligne droite. Mais vues d'une certaine distance, ces variations passent inaperçues et on peut considérer la limite de la forêt comme une ligne qui résulte de la température.

L'influence de l'homme

Les conditions climatiques propices aux arbres pendant la période de végétation – et, par conséquent, la hauteur de la limite des arbres – varient en altitude selon le climat : dans les régions sub-polaires, on les trouve à quelques centaines de mètres et dans les massifs des tropiques, à plus de 4000 m – 4900 m au maximum. Dans les Alpes aussi, la limite des arbres varie d'une région à l'autre. C'est dans les vallées intérieures du Valais et de l'Engadine qu'elle est la plus élevée : à 2500 m. La cause en est l'importance du rayonne-

ment et l'échange de température entre le sol et l'air environnant. Par contre, sur les sommets exposés des Préalpes, à partir de 1800 m, les arbres manquent en général de chaleur. Si leur croissance est liée à la température, on peut en déduire que la limite de la forêt devrait s'élever avec le réchauffement climatique. Cependant, la forêt est un système qui réagit lentement. Il faut plusieurs dizaines d'années pour qu'elle s'étende à un terrain qui était ouvert. La limite des forêts est donc toujours en retard sur le climat.

Qui plus est, dans l'espace alpin, depuis des siècles, la limite de la forêt est fortement influencée par l'homme. L'exploitation agricole et forestière l'a souvent fait descendre bien en dessous de son altitude naturelle. A mesure que l'agriculture revient aux méthodes extensives, les forêts gagnent du terrain et leur limite se rapproche de leur hauteur naturelle. En ce qui concerne les fluctuations naturelles dans les Alpes, nous n'avons que peu d'indications – même si le bois qu'on trouve lors du recul des glaciers semble indiquer que cette limite était autrefois plus élevée qu'aujourd'hui¹.

Dans l'Oural, la limite s'élève

Dans les Alpes, on distingue difficilement les variations dues au climat de celles qui dépendent de la reconquête par la nature des terrains délaissés par

l'agriculture. A l'inverse, dans la chaîne de l'Oural, en Russie, la limite de la forêt n'est pas influencée par l'homme². Au sud de l'Oural, la forêt s'étend presque jusque sur les sommets : on trouve des sapins jusqu'à 1300 m d'altitude. Dans l'Oural septentrional, les arbres les plus élevés sont des mélèzes. Ici, la limite des arbres n'est qu'à 300 m ; plus haut, on trouve la toundra et des déserts rocaillieux. Des chercheurs russes ont découvert des photographies de l'Oural au début du XX^e siècle. Ils ont constaté que la limite de la forêt s'était élevée de 60 à 80 m depuis lors. Sur les pentes douces, cette dénivellation correspond à une distance de 500 à 900 m. Dans ces régions isolées, on peut exclure toute influence

de l'homme. Pour les chercheurs, l'explication réside donc dans le réchauffement climatique. En effet, en Oural septentrional et méridional, les températures annuelles moyennes ont augmenté de 1,5° C en 150 ans, et la période de végétation s'est prolongée de une à deux semaines. Depuis les années 1960, des écologistes russes photographient régulièrement certains points à la limite de la forêt en Oural septentrional et méridional. Ils notent au millimètre près sur des cartes la limite et la répartition des différents types de forêts. Leurs informations confirment elles aussi que la limite s'élève. Là où, il y a 40 ans, s'étendait la toundra, de jeunes forêts apparaissent. Et dans les zones où, il y a quelques décennies, seuls

La limite de la forêt, également appelée zone de combat : le vent, la friction des cristaux de neige et de glace, les dégâts causés par le gel et, surtout, les

basses températures pendant la période de végétation empêchent les arbres de conquérir des zones plus élevées

La limite de la forêt dans l'Oural, en Russie. Sur le cercle polaire, elle est à 300 m seulement ; 2000 km plus au sud, elle est à 1300 m – comme sur cette photo

Photo : Frank Hagedorn



Photo : Frank Hagedorn



Photo : Andreas Rigling



Coupe d'un tronc de mélèze fossilisé, datant d'il y a 1000 ans, avec 199 cernes qu'on reconnaît encore aisément. La comparaison avec des « masters » permet

de déterminer l'âge du bois fossilisé. En outre, la largeur des cernes constitue une indication des conditions climatiques de l'époque en question

Les forêts fossilisées au-dessus de la limite actuelle de la forêt montrent qu'il y a un millénaire, dans le nord de l'Oural, les températures étaient comparables à aujourd'hui

Photo : Frank Hagedorn



des arbres isolés survivaient, on trouve aujourd'hui des forêts compactes.

Forêts fossilisées au-dessus de la limite des arbres

En faisant de longues randonnées près du cercle polaire, le professeur Stepan Shijatov a trouvé des témoins d'un passé lointain³. Au-dessus de la limite des arbres, il est tombé sur des restes de forêts fossilisés, des troncs de mélèzes hauts de plusieurs mètres. Grâce aux cercles annuels de ces arbres, on a pu évaluer l'âge de cette forêt d'antan : elle a vécu il y a environ 1000 ans. Cela montre qu'à l'époque, le climat en Oural septentrional était comparable à aujourd'hui. Lors du refroidissement dû à la petite glaciation, aux XIII^e et XIV^e siècles, les arbres sont morts. Mais en raison de la forte teneur en sève de leur bois et du climat spécifique – des étés brefs et secs et des hivers glaciaux – les arbres ont été conservés. Aujourd'hui, entre les arbres fossilisés, on voit croître de nouvelles pousses de mélèzes. Le réchauffement permet donc à la forêt de regagner le terrain qu'elle avait perdu. ▲

Frank Hagedorn, Andreas Rigling, Peter Bebi,
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL (trad.)



Photo : Andreas Rigling

Il y a 40 ans, Stepan Shijatov (devant à dr.), chercheur russe aujourd'hui âgé de 72 ans, a utilisé du papier millimétré pour cartographier la répartition des végétaux et des arbres. Ses croquis permettent de retracer l'évolution de la limite de la forêt

1 Cf. *Les Alpes*, 1/2006, « L'avancée de la forêt dans la Mesolcina »

2 Des chercheurs de l'Institut fédéral de recherches WSL et de l'EPFZ étudient actuellement avec des collègues russes et allemands l'évolution de la limite de la forêt en Oural méridional et septentrional.

3 Cf. www.wsl.ch/forest/risks/projects/stillberg/ et www.wsl.ch/forest/INTAS_P2001-0052/ (en anglais)

Albert V. Carozzi Horace-Bénédict de Saussure (1740–1799), un pionnier des sciences de la terre

Ed. Slatkine, Genève, 2005. 16×23,5 cm, 432 pages, broché. Plusieurs photos en noir et blanc et fac-similés de documents d'époque. ISBN 2-8321.0202-6. Prix : 51 francs

Horace-Bénédict de Saussure était un personnage extrêmement complexe. S'il a connu la gloire à la suite de son ascension du Mont-Blanc en 1787, c'est surtout grâce à la publication des quatre volumes de ses *Voyages dans les Alpes*¹ que sa notoriété a perduré bien au-delà de sa mort en 1799. Alpiniste certes, mais surtout grand voyageur, naturaliste curieux de tout ce qu'il voyait, chercheur infatigable, homme de terrain capable de synthèses brillantes, le savant genevois était cependant d'une grande timidité en ce qui concerne la publication des résultats de ses recherches. Ce n'est que d'une manière cryptée que certaines de ses observations sur la formation des Alpes, par exemple, apparaissent dans ses *Voyages* ; il se réservait la possibilité de faire connaître ses découvertes scientifiques dans un ouvrage consacré à sa Théorie de la Terre, ouvrage qui malheureusement ne vit jamais le jour. Et pourtant, il y avait matière à faire avancer la géologie et l'orogénèse : il y a plus de deux siècles, de Saussure formulait d'une manière brillante et avant-gardiste l'explication de la formation des chaînes de montagnes par des refoulements horizontaux en sens contraires, concept de base de la géologie structurale moderne. Même s'il parvint à démontrer l'exactitude de sa théorie par des simulations en laboratoire, il garda sa découverte pour lui et elle n'apparaît que dans ses notes manuscrites et dans ses carnets.

Albert V. Carozzi, professeur émérite à l'Université de l'Illinois, est un spécialiste de l'histoire de la géologie du XVIII^e siècle. Il a consacré 40 ans à l'étude des découvertes de de Saussure. Grâce à la collaboration de la Bibliothèque pu-

blique et universitaire de Genève, dépositaire de la quasi-totalité des notes et des écrits de l'illustre savant, Carozzi a rédigé une biographie qui est certes une étude de cabinet, mais dont les résultats sont toujours corroborés par des observations de terrain réalisées sur les itinéraires des *Voyages dans les Alpes*. Il réussit ainsi à sortir de l'ombre les découvertes de de Saussure, dans les matières aussi diverses que la glaciologie, la géologie structurale, l'origine du basalte, la géographie physique, l'altération atmosphérique des roches et la standardisation des observations géologiques de terrain. Il parvient à mettre en lumière l'évolution de sa pensée scientifique, en s'appuyant sur nombre de manuscrits inédits et en replaçant dans l'ordre chronologique les notes éparses et souvent lacunaires des *Voyages*.

Ouvrage captivant, cette biographie complète permet aussi de cerner l'homme et son temps, la période troublée qu'il traverse, ses rapports avec les événements politiques, ses aspirations, ses joies et ses peines. Mais elle revêt toute son importance au niveau des découvertes scientifiques dont la lecture n'est pas particulièrement ardue, car il s'agit d'une époque où « l'honnête homme » pouvait encore appréhender une bonne partie du savoir encyclopédique. En ce qui concerne l'œuvre de ce pionnier des sciences de la terre, l'auteur la fait découvrir avec bonheur, clarté et élégance. Comme dans tout ouvrage de ce genre, des annexes proposent une riche bibliographie, un index des noms de lieux et des noms propres, la légende détaillée des illustrations et quelques lettres du savant à sa femme.

Maurice Zwahlen, La Chaux-de-Fonds

Armando Pietro Editore Vivere tra le pietre

Cevio, 2004. 21×27 cm, 370 pages, reliure en toile. Photos en couleur, en noir et blanc et dessins. A commander par téléphone au 091 754 13 40 et au 091 754 23 68 ou par courriel à museovm@bluewin.ch. Prix : 80 francs

Vivere tra le pietre (Vivre parmi les pierres) est la synthèse richement illustrée des travaux de recherche lancés en 1994 par l'Association du Musée du val Maggia.

1 Une nouvelle édition des *Voyages dans les Alpes* a été publiée chez Slatkine à Genève en 2002. Cf. *Les Alpes*, 2/2003