

Les plantes alpines une vie en milieu extrême

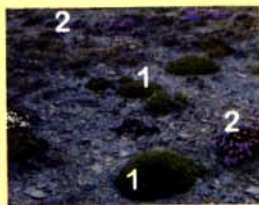
Comment les plantes de montagne peuvent-elles subsister dans un milieu hostile où rien n'est facile : longue permanence de la neige au sol, courte saison végétative, fortes amplitudes thermiques, sécheresse et vent... ? Pour survivre, la flore alpine a dû développer d'étonnantes stratégies d'adaptation... ou les merveilles de la vie aux frontières de la vie.

Les zones alpines dans le monde

Le terme « alpin » mérite quelques précisions. Au sens strict, il est relatif aux Alpes. Dans l'acception que nous retiendrons, il s'applique à la zone et aux plantes situées au-dessus de la limite naturelle des forêts (en absence d'intervention humaine), quelle que soit la partie du globe envisagée. Ainsi, dans les Alpes

françaises, la zone alpine (ou étage alpin) commence à partir de 2 200 mètres en moyenne. En zone tropicale et équatoriale, cette limite s'élève aux alentours de 4 000 mètres, alors que dans les zones polaires elle s'abaisse au niveau de la mer (Spitzberg, Terre de Feu, îles Kerguelen, etc.). Ces variations d'altitude en fonction de la latitude sont largement conditionnées par la température. Les zones alpines représentent environ

3 % des surfaces émergées et elles abritent près de 10 000 espèces, soit 4 % de la flore mondiale (en se restreignant aux plantes à fleurs). Ces « îles » au milieu des continents offrent de nombreux champs d'études : adaptations remarquables des plantes alpines aux contraintes de l'altitude, origine et histoire de la flore d'altitude fortement marquées par l'impact des épisodes glaciaires (encart 1), et impact des changements climatiques en cours.



10 m
Spitzberg
 Silène acaule (1) et Saxifrage à feuilles opposées (2), deux espèces que l'on retrouve dans les Alpes au-dessus de 2 200 m



2 700 m
Alpes
 Pelouse à Elyne queue de Souris près du col du Galibier à 2 700 m. Au fond, massif de la Meije



4 400 m
Kenya
 Séneçons géants, avec glaciers du mont Kenya (5 200 m)



2 200 m
Chili
 La forêt d'Araucaria araucana (1) laisse la place à l'étage alpin (2) à partir de 2 000 m. Au fond, volcan Llaima (3 200 m)



10 m
Île Kerguelen
 Azorelle magellanique (1), une plante formant des coussins (voir encart 2) dans les Andes et dans les îles subantarctiques. Au premier plan un Manchot papou.

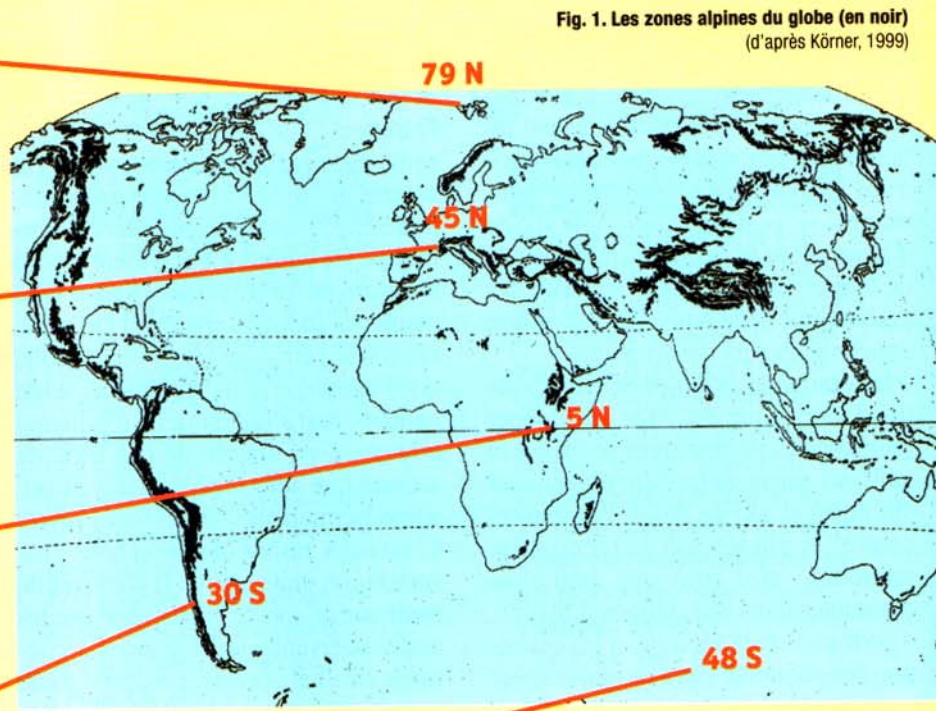


Fig. 1. Les zones alpines du globe (en noir) (d'après Körner, 1999)



À la différence des animaux qui peuvent se déplacer à la recherche de conditions plus favorables, les plantes vivent fixées dans le sol, ce qui les expose directement aux conditions de leur milieu : facteurs climatiques (température, précipitations, lumière, vent et humidité), facteurs édaphiques (caractéristiques du sol), facteurs biotiques (influence des autres plantes et des animaux herbivores) et facteurs anthropiques (action de l'homme). En zone alpine, ces facteurs sont soit limitants (basse température, faible disponibilité en azote...) soit en excès (lumière, UV).

Les conditions de vie en zone alpine

■ Se protéger des basses températures

Avec l'altitude, la température diminue en moyenne de 0,5 à 0,6 °C tous les 100 m. Les phénomènes biologiques dépendant de la température, le refroidissement en altitude est synonyme de ralentissement des processus vitaux comme la photosynthèse et la croissance. En plus, la saison de végétation peut être réduite à quelques semaines. Les températures en altitude sont également caractérisées par des fluctuations

de grande amplitude sur des périodes courtes. Ainsi, à 2 500 mètres dans les Alpes, les feuilles d'une plante exposée au sud peuvent passer de -10 °C par nuit claire à +40 °C, quelques heures plus tard, lors d'une belle journée ensoleillée. Plusieurs caractéristiques permettent d'éviter le froid et d'en limiter ses effets :

- la petite taille des plantes, typique de l'étage alpin (encart 2) ;
- la forme des plantes. De nombreuses plantes alpines adoptent une forme en boule (plantes dites en coussin). Ces coussins représentent un piège pour les rayons lumineux qui réchauffent la plante (fig. 4 et encart 2). Certaines plantes des montagnes équatoriales protègent leurs bourgeons au cœur d'une rosette de feuilles (encart 3) ;
- la pilosité. Les plantes alpines sont fréquemment recouvertes d'un « manteau » blanc-argenté de poils épidermiques qui isolent les parties vitales de la plante (fig. 5). Cette pilosité constitue également un écran qui limite la déshydratation provoquée par les vents et, en plus, elle réfléchit une partie du rayonnement solaire en excès (voir plus loin) ;
- la synthèse de molécules (sucres et protéines) qui protègent les membranes des cellules des effets du gel.



Fig. 2. La limite des arbres en altitude : le début de l'étage alpin

À gauche, conifères dits en drapeau (ici dans les montagnes Rocheuses, à 3 000 m). Les vents dominants limitent le développement

des branches sur le côté opposé des arbres. En bas, conifères à port rampant dans la zone de combat des montagnes Rocheuses à 3 200 m. À cette altitude, la croissance des arbres devient difficile, et les groupements herbacés remplacent progressivement les forêts.



Fig. 3. Drapeaux de glace sur les plantes des crêtes du Galibier (2 700 m).

Noter que le givre se dépose face au vent.

1 Les origines de la flore alpine : plusieurs voies de colonisation

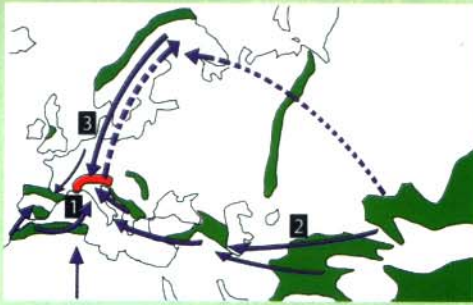
La surrection des principaux reliefs tels que nous les connaissons aujourd'hui est relativement récente (environ 5 millions d'années). Deux hypothèses ont

été proposées pour expliquer l'installation de la flore alpine : une différenciation locale à partir de la flore de plaine ; la colonisation de la nouvelle

chaîne par des plantes originaires d'autres régions montagneuses. L'étude de la distribution géographique des espèces suggère trois influences (carte ci-contre) : méditerranéenne (ex : campanules et silènes), centre-

asiatique (ex : primevères et gentianes) et arctique (ex : saules). Par exemple, le centre de distribution des Rhododendrons (près de 1000 espèces) est situé en Asie du Sud-Est (plusieurs centaines d'espèces en Chine, dans l'Himalaya, à Bornéo et au Japon). Le nombre d'espèces rencontrées diminue lorsque l'on se rapproche des Alpes (5 espèces dans le Caucase et uniquement 2 espèces dans les Alpes françaises). Des études génétiques récentes menées sur les soldanelles confirment une colonisation initiale d'origine asiatique, suivie

par des différenciations locales ayant donné les espèces actuelles. En ce qui concerne les échanges entre l'arc alpin et l'Arctique, ce sont les glaciations successives des deux derniers millions d'années qui ont vraisemblablement conduit à des mélanges floristiques répétés. L'avancée des glaciers a en effet refoulé les plantes en plaine, amenant un brassage puis la recolonisation des deux zones lors des périodes de recul des glaces. On qualifie d'arctico-alpines ces plantes dont il est impossible pour le moment de dire si leur berceau est dans les Alpes ou en Arctique.



Les voies de colonisation de l'arc alpin (en rouge) par trois cortèges : méditerranéen (1), centre-asiatique (2) et arctique (3). En vert, les principaux massifs montagneux en dehors des Alpes.



Saxifrage à feuilles opposées (col du Galibier, 2800 m), une plante que l'on retrouve en Arctique (Spitzberg, voir fig. 1). Cette plante est dite arctico-alpine.



Rhododendron stenophyllum (mont Kinabalu, 3000 m), l'une des 25 espèces de rhododendrons de Bornéo.



Soldanelle des Alpes, une espèce des combes à neige (zones concaves déneigées tardivement). Les analyses génétiques récentes montrent que les soldanelles sont originaires d'Asie centrale.

2 La petite taille des plantes alpines : une stratégie d'échappement au froid

La petite taille permet de profiter de températures qui sont plus élevées (ou moins froides!) à la surface du sol que 1 ou 2 m au dessus (fig. 4). Elle permet aussi la protection par le manteau neigeux en hiver (la température reste voisine de 0°C sous 40 cm de neige lorsque la température extérieure est bien inférieure à 0°C). Les bourgeons, partie vitale de

la plante, qui assurent la croissance l'année suivante, sont situés soit dans le sol chez les plantes à bulbe ou à tige souterraine (rhizome), soit à la surface du sol (plantes en rosette), soit à faible hauteur (arbustes). Enfin, la petite taille permet de limiter l'action mécanique de la neige et du vent qui ont tendance à casser les tiges et les branches.

Les plantes en coussin en sont un cas particulier que l'on retrouve dans diverses familles de plantes alpines : les Umbellifères (azorelles, A et fig. 1), les Primulacées (androsace, B), les Composées (C), les Oxalidacées (D), les Caryophyllacées (fig. 1 et 4), etc. On parle de convergence adaptative. L'évolution a conduit à

des formes analogues dans des groupes de plantes éloignés, mais exposés à des conditions environnementales similaires. Le coussin est un piège pour la chaleur apportée par les rayons du soleil (fig. 4), mais il permet également de limiter les pertes d'eau, ce qui explique que l'on retrouve cette forme chez des espèces de milieux arides montagneux ou non.



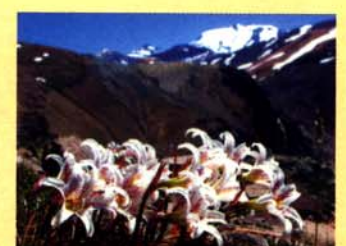
Le Saufe réticulé (*Salix reticulata*), une des espèces de saules nains très répandue dans les Alpes. Il s'agit de véritables petits « bonsais » naturels dont les tiges sont plaquées au sol (hauteur maximale, quelques centimètres).



Le Chou étalé (*Brassica repanda*), crucifère en rosette des éboulis schisteux (Galibier, 2700 m) dont le bourgeon est situé au niveau du sol.



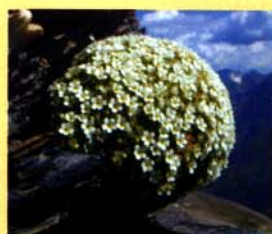
Landes à myrtilles en automne (massif de Belledonne, 2000-2400 m). Les bourgeons situés à moins de 50 cm du sol sont protégés des gels intenses par la neige en hiver.



Rhodophiala rhodolirion, une Amaryllidacée (Andes, Chili, 3000 m) dont le bulbe persiste dans le sol en hiver.



A. Azorella monantha (Umbellifères), dans les Andes chiliennes (2000 m)



B. Androsace helvetica (Primulacées) sur les crêtes du Galibier (2700 m)



C. Belloa chiliensis, une Asteracée (Andes, Chili, 2000 m). Les coussins de cette espèce pionnière servent de refuge pour l'installation d'autres plantes (comme des Adesmia).



D. Oxalis compacta, une Oxalidacée en coussin (Andes, Chili, 2000 m)



Fig. 4. Coussin de Silène acaule (Caryophyllacées) dans les environs du col du Galibier (2500 m) et diagramme de la température à la surface du coussin comparée à la température de l'air mesurée à 2 m du sol.

Le coussin fonctionne comme un piège à chaleur, permettant à la plante d'atteindre des températures plus favorables pour la photosynthèse et la croissance (modifié d'après Körner 1999).

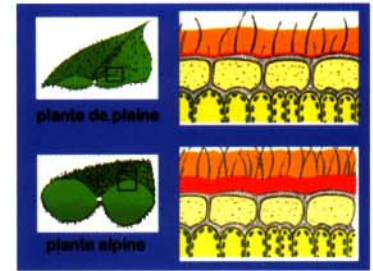
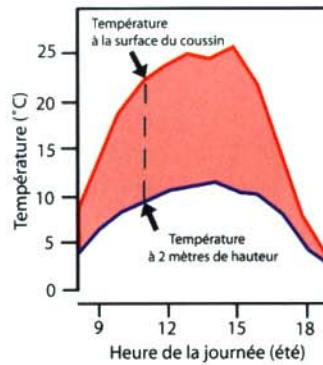


Fig. 5. Coupe schématique d'une feuille de plante alpine et d'une feuille de plante de plaine.

Les feuilles des plantes alpines sont généralement plus petites et plus épaisses, avec un revêtement protecteur (cuticule représentée en rouge) plus épais et une pilosité plus développée. Ces différences répondent à la nécessité de se protéger contre le froid, l'excès de lumière et les agressions mécaniques.

Dessin : P. Fernandez (référence bibliographique n° 3).

■ Résister aux fortes luminosités

Chacun sait que les plantes utilisent l'énergie solaire pour assurer la photosynthèse, ce processus complexe qui permet de fabriquer de la matière organique (sucres, protéines, lipides, etc.) à partir de matière minérale (ions du sol, dioxyde de carbone de l'air, eau) et d'énergie lumineuse. En montagne, la pureté de l'air et sa rareté font que les intensités lumineuses sont plus fortes qu'en plaine, au point d'excéder les capacités d'utilisation par les plantes. Il devient alors indispensable de se protéger contre cet excès d'énergie qui entraîne la synthèse de molécules toxiques, les formes réactives de l'oxygène (comme l'eau oxygénée) responsables de destructions en chaîne de molécules vitales (protéines, lipides des membranes, ADN, par exemple). Pour éviter ce stress oxydatif, les plantes usent de plusieurs stratégies comme la réflexion de la lumière à la surface des feuilles (en particulier grâce à l'abondante pilosité) ou la dissipation de l'énergie par émission de chaleur (implication de certains pigments caroténoïdes). Les plantes alpines peuvent également produire des molécules anti-oxydantes, comme la vitamine C, qui éliminent les formes réactives de l'oxygène (fig. 7).

L'intensité des rayons ultra-violet (UV) est également supérieure en montagne. Les UV sont susceptibles de détériorer le patrimoine génétique et d'engendrer un stress oxydatif. Les plantes alpines accumulent des pigments qui les piègent, par exemple les pigments anthocyaniques qui confèrent aux tissus des couleurs violettes, bleues ou rouges.

Fig. 6. Une situation où des plantes sont exposées à la combinaison de plusieurs facteurs de stress

(froid, forte lumière, UV et vent) : en juillet, après une chute de neige nocturne, une journée de plein soleil.
1. Renoncule des glaciers ;
2. Chou étalé (col du Galibier, 2700 m)

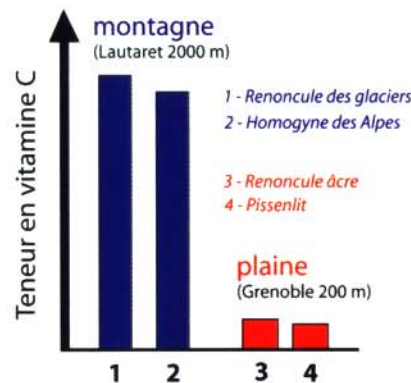


Fig. 7. Teneurs en vitamine C chez des espèces voisines, de montagne et de plaine.

Cette molécule anti-oxydante utilisée dans l'industrie agroalimentaire est synthétisée naturellement et accumulée par les plantes alpines pour lutter contre le stress oxydatif induit par l'excès de lumière et les UV.

■ S'accommoder de sols pauvres et instables

Les sols alpins contiennent peu d'azote utilisable par les plantes. En effet, le froid ralentit fortement l'activité des microbes du sol responsables de la décomposition de la matière organique morte. La neige constitue bien un réservoir d'azote disponible lors de la fonte, mais cet apport ne profite réellement qu'aux plantes croissant dans les combes les plus enneigées. Le fait que la faible teneur naturelle des sols alpins en composés azotés limite la croissance des plantes est démontré par le contraste spectaculaire que l'on observe au niveau des reposoirs à bestiaux (fig. 8). Dans ces secteurs où l'apport d'azote provenant des déjections animales est important, on constate

la présence d'une végétation luxuriante, pas toujours très esthétique, où dominent fréquemment le Rumex des Alpes et l'ortie.

Certaines plantes alpines ont développé des stratégies de conservation des éléments minéraux. La Benoîte des montagnes, par exemple, conserve des feuilles en vie sous la neige en hiver. La plante récupère les minéraux libérés lors de la mort de ces feuilles au printemps suivant.

Outre leur pauvreté, les sols alpins sont souvent instables du fait des fortes pentes et des alternances gel/dégel (solifluxion). Des plantes capables d'un fort enracinement assurent une stabilisation du substrat et permettent l'installation d'espèces compagnes (fig. 9).

3 La flore alpine des montagnes équatoriales

Là où chaque nuit s'apparente à l'hiver et chaque jour à l'été (Hedberg)

Le climat de l'étage alpin équatorial (au-dessus de 4 000 m) se caractérise par sa constance au cours de l'année (pas de saisons marquées) et par de forts contrastes jour/nuit.

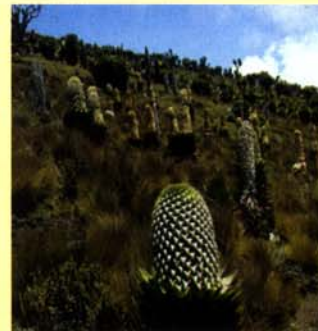
Les plantes sont exposées à des gelées nocturnes quotidiennes (-5 à -10 °C).

Un exemple d'adaptation remarquable à ces milieux est fourni par les plantes dites pachycaules, étymologiquement « à tiges épaisses », que l'on rencontre aussi bien en Afrique de l'Est au mont Kenya ou sur le Kilimandjaro que dans les Andes équatoriales (Équateur, Colombie, Vénézuéla).

Les plantes suivantes offrent un bel exemple de convergence adaptative avec une épaisse tige souvent terminée par une rosette de feuilles dense protégeant le bourgeon apical.



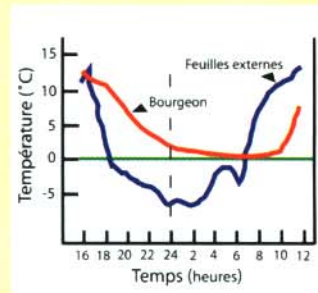
Espeletia sp. (Composées), Páramo del Angel, nord de l'Équateur (4 000 m). Les feuilles sont couvertes d'un épais duvet protégeant du froid, des pertes d'eau et des fortes intensités lumineuses.



Lobelia deckenii (Lobéliacées), mont Kenya (4 300 m). Les feuilles de cette espèce sécrètent à leur base un liquide qui joue le rôle d'isolant thermique protégeant le bourgeon.



Senecio johnstonii (Composées), mont Kenya (4 300 m). À noter l'accumulation de feuilles mortes le long de la tige, un véritable isolant thermique.



Évolution des températures au cours d'une alternance jour/nuit chez *Senecio johnstonii*. Les feuilles extérieures sont à la température de l'air alors que le bourgeon est protégé du gel (modifié d'après Körner 1999).



Fig. 8. Végétation au niveau d'un reposoir à bestiaux. L'azote d'origine animale a entraîné la prolifération de quelques espèces qui monopolisent l'espace (ici *Senecio* des Alpes et *Rumex* des Alpes).



Fig. 9. Banquettes soumises aux alternances gel/dégel. La Fétuque violette stabilise le sol et facilite l'installation d'espèces compagnes, comme des véroniques ou des gaillets (phénomène de facilitation).

La reproduction chez les plantes alpines

La reproduction sexuée, source de brassage génétique, implique la production de fleurs, la pollinisation, l'arrivée à maturité des graines, puis leur dissémination et leur germination. Parmi ces

étapes, certaines sont rendues aléatoires par les conditions d'altitude : la période de végétation n'est pas toujours assez longue pour permettre la maturation des graines ; la pollinisation est un problème vu la rareté des insectes et les vents violents ; les sites propices à l'installation des graines sont peu nombreux. C'est sans doute pourquoi la flore alpine compte très peu de plantes annuelles. La survie des plantes qui ne durent qu'une saison dépend en effet de la production de graines par voie sexuée.

■ Une optimisation de la reproduction sexuée

De nombreuses plantes alpines préforment leurs bourgeons floraux parfois 2 ou 3 années à l'avance. Cela permet une croissance rapide dès l'arrivée de conditions favorables. Par ailleurs, les fleurs sont souvent très colorées, ce qui peut être un moyen de lutte contre les UV (voir plus haut) et/ou un moyen pour attirer avec plus d'efficacité les rares pollinisateurs. Des études menées dans les Andes ont aussi montré que la floraison dure plus longtemps à haute altitude, ce qui augmente les chances de visite par les insectes pollinisateurs.

4 La Station Alpine du Lautaret, un lieu d'échanges privilégiés entre scientifiques et grand public

Cette station biologique d'altitude de l'Université J. Fourier (Grenoble I) associe un jardin botanique alpin centenaire et un chalet-laboratoire. Implantée dans un site grandiose, face aux glaciers de la Meije, elle a pour missions :

- la présentation de la diversité des flores alpines avec une sélection de plus de 2000 espèces issues des différentes montagnes du monde ;
- la sensibilisation du public à la préservation de la flore et des milieux alpins, lesquels jouent un rôle déterminant dans la régulation des grands cycles naturels comme celui de l'eau ;
- la vulgarisation scientifique ;
- la recherche sur les écosystèmes alpins et sur les adaptations des plantes alpines ;
- le développement d'échanges internationaux (collaborations scientifiques) et l'échange de graines avec près de 300 jardins répartis dans 50 pays.



Le Chardon bleu des Alpes (*Eryngium alpinum*, Umbellifères). Cette plante protégée est cultivée au jardin alpin du Lautaret pour la présentation au public, la conservation de l'espèce, et des recherches sur sa reproduction.



Visites guidées du jardin alpin. Des étudiants de l'Université ainsi que le personnel du jardin assurent des visites guidées quotidiennes qui sont la source d'échanges fructueux avec le public.



Rocaille des plantes du Caucase. Au fond, les glaciers de la Meije (3983 m).



Les recherches menées au Lautaret.

Elles combinent des études en laboratoire (en haut, mesure des effets de la lumière) et sur le terrain (en bas, parcelle expérimentale d'étude des interactions entre espèces).



5 Les zones alpines, espaces d'étude des effets des changements climatiques



Isflorden et glaciers du Kronebreen (Spitzberg, 79°N). Le réchauffement du climat provoque actuellement la régression des calottes glaciaires. Mais l'amplification de ce réchauffement pourrait aussi contribuer à détourner plus au sud des eaux chaudes du Gulf Stream, lesquelles ne viendraient plus terminer leur course au large des côtes de la Norvège et du Spitzberg. La conséquence serait alors une progression des zones prises par les glaces !

Les zones alpines ont été marquées par des changements climatiques majeurs lors des glaciations successives (voir encart 1). Ainsi, on estime que les limites naturelles d'étagement de la végétation ont été abaissées d'environ 1 200 m lors du dernier maximum glaciaire. Aujourd'hui, le réchauffement de l'atmosphère terrestre est nettement perceptible dans les zones polaires arctiques. En haute montagne, la limite des arbres, largement déterminée par la moyenne des températures de la belle saison, pourrait se trouver relevée de plusieurs centaines de mètres si cette moyenne augmentait ne serait-ce que de deux degrés. Dans ce cas, la distribution des plantes alpines serait beaucoup plus fragmentée qu'elle ne l'est actuellement, entraînant un risque d'extinction. Les zones alpines, modérément touchées par les activités humaines, sont des observatoires d'étude privilégiés pour suivre l'impact des modifications climatiques.

Dans ce domaine, plusieurs programmes internationaux de recherche sont en cours, dont le programme GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments).

■ Un recours au clonage naturel

Pour éviter les aléas de la reproduction sexuée, de nombreuses plantes alpines ont recours à la reproduction dite végétative ou clonale. Dans ce cas, il y a formation de copies conformes de l'individu initial, comme chez les vrais jumeaux. Au départ, c'est souvent une tige horizontale sur laquelle se différencient de nouveaux individus qui s'individualisent ensuite (figs. 10, 11, 12). Pour de nombreux arbustes, un marcottage se fait à partir de branches couchées dont les bourgeons se développent au contact du sol (rhododendron, myrtille). Enfin, certaines plantes produisent des bulbilles, des petites structures qui vont donner un individu semblable à la plante mère (ou clone). Parfois, comme chez la Renouée vivipare (fig. 13), ces bulbilles commencent à se développer sur le pied mère (viviparité).

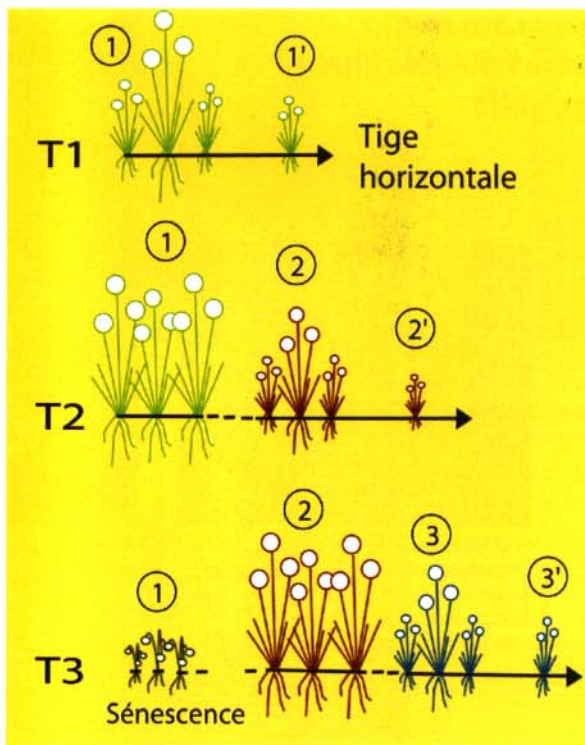


Fig. 10. Schéma de la reproduction d'une plante clonale à partir d'une tige à croissance horizontale.

Cette tige, appelée stolon si elle est aérienne ou rhizome si elle est souterraine, met en place (à partir de bourgeons) des plantes toutes identiques génétiquement, qui s'individualisent (couleur différente sur le schéma) après la mort de la tige. Un même individu génétique peut ainsi vivre durant des centaines voire des milliers d'années (cas de certains *Carex* ou de saules nains), bien après que la plante d'origine a disparu. T1 à T3 : temps successifs (semaines, mois ou années, selon les espèces considérées).

* Station Alpine du Lautaret - Université Joseph Fourier (Grenoble)
 Contact : serge.aubert@ujf-grenoble.fr



Fig. 11. Une graminée des Andes du Nord chilien (4200 m). À partir d'un individu initial, la croissance se fait de façon rayonnante (plusieurs rhizomes) pour former de grosses touffes appelées tussock qui évoluent en « ronds de sorcière » après mort des parties centrales.



Au centre : **Fig. 12. La Benoîte rampante (*Geum reptans*).** Cette plante utilise la reproduction clonale par des stolons pour coloniser les éboulis schisteux (ici au Galibier, 2800 m), mais aussi la reproduction sexuée (fleurs).

Ci-contre : **Fig. 13. La Renouée vivipare (*Polygonum viviparum*).** Elle utilise les deux modes de reproduction : sexuée (fleurs, 1) et clonale (bulbilles, 2).

BIBLIOGRAPHIE

1 J. Debelmas, L. Richard, A. Bocquet, A. Garcin, L. Genest, L. Leseigneur, J.-F. Lyon-Caen, J.-F. Noblet, G. Pautou, J.-P. Zuanon (1999). *Les Alpes; la géologie, les milieux, la faune et la flore, les hommes*. Éd. Delachaux et Niestlé
 2 E. De Anchisi (2001) *200 randonnées botaniques dans les Alpes*. Éd. Delachaux et Niestlé
 3 P. Fernandez et coll. (2002) *Livret-guide du Jardin Botanique Alpin du Lautaret* (56 p.)

4 P. Gensac (1999) *Guide écologique de la Vanoise; itinéraires de randonnée et initiation à l'écologie de montagne*. Éd. Gap, Collection Nature 2000
 5 P. Ozenda (1985) *La végétation de la chaîne alpine, dans l'espace montagnard européen*. Éd. Masson
 6 R. Ruffier-Lanche (1964) *Les plantes en coussinets*. *Bulletin de la Société des Amateurs de Jardins Alpains*; 49: 3-13

Plus spécialisé
 7 C. Körner (1999) *Alpine plant life; Functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Éd. Springer-Verlag
 8 H. Reisiigl, R. Keller (1987) *Alpenpflanzen im Lebensraum*. Éd. Gustav Fischer verlag
Sites internet:
 9 Station Alpine du Lautaret (Jardin Botanique Alpin et Chalet-laboratoire): <http://www.ujf-grenoble.fr/JAL>

10 Parcs Nationaux (Corse, Écrins, Mercantour, Pyrénées, Vanoise...): <http://www.parcnationaux-fr.com/portail/>
 11 Global Mountain Biodiversity Assessment: <http://www.unibas.ch/gmba/>
 12 The Global Observation Research Initiative in Alpine Environments: http://www.gloria.ac.at/res/gloria_home/