
Textes de
l'exposition
« Sur les
îles du ciel
... et si
Darwin
avait été
alpiniste »

du 7 octobre 2017 au
26 août 2018

Muséum de Grenoble





sur les îles
du ciel

et si Darwin
avait été alpiniste ?

exposition
au Muséum
de Grenoble

6 octobre
2017
26 août
2018

Muséum de Grenoble
1 Rue Dolomieu
04 76 44 05 35
@Museum 
www.museum-grenoble.fr



Contenu principal de l'exposition sur les îles du ciel (hors légendes, cartels et dispositifs)

PREAMBULE :	6
BIENVENUE SUR LES ILES DU CIEL	7
DES ILES DANS LES MONTAGNES ?	9
POURQUOI S'INTERESSER AUX ILES ?	9
LES ILES OCEANIQUES PLUTOT ETUDIEES EN PREMIER.....	9
CHARLES DARWIN (1809- 1882), LA BOTANIQUE ET UN ABOMINABLE MYSTERE	10
UN VOYAGE A L'ORIGINE DE SA REFLEXION	10
DES EXPERIENCES BOTANIQUES A L'APPUI DE SA THEORIE DE LA SELECTION NATURELLE	10
UN ABOMINABLE MYSTERE !	10
UN ABOMINABLE MYSTERE RESOLU !	11
À LA DECOUVERTE DES HAUTS SOMMETS	12
LES PRECURSEURS DE LA BOTANIQUE DANS LES ALPES	12
LA NAISSANCE DE L'ALPINISME : DES ASCENSIONS ET DEJA QUELQUES AVANCEES SCIENTIFIQUES.....	12
ALPIN ? ALPESTRE ? ALPIEN?	14
DE NOMBREUSES ESPECES ALPINES	14
UNE VEGETATION ETAGEE.....	14
DES PLANTES A FLEURS ET DES VOISINS PLUS DISCRETS	15
LA DIFFICILE VIE EN MONTAGNE	16
LE FROID	16
LA FORTE EXPOSITION AUX RADIATIONS SOLAIRES DONT LES UV	16
LE MANQUE D'ELEMENTS NUTRITIFS ET D'EAU	16
LE SOL	16
LE VENT	16
S'ADAPTER ET SURVIVRE	17
COMMENT RESISTER AUX BASSES TEMPERATURES ?	17
<i>EN RÉDUISANT L'EXPOSITION AU FROID</i>	17
<i>EN ÉVITANT LE GEL DES TISSUS EXPOSÉS</i>	17
<i>EN TOLÉRANT LE GEL</i>	18
COMMENT SE FIXER ET SE NOURRIR DANS DES SOLS PAUVRES ET INSTABLES ?	18
COMMENT LUTTER CONTRE L'EXCES DE LUMIERE ET D'UV ?.....	18
<i>En déviant la lumière</i>	18
<i>En dissipant l'énergie solaire</i>	18
<i>En piégeant les molécules produites</i>	18
<i>En absorbant les UV</i>	18
ET LA REPRODUCTION ?	19
DAVANTAGE DE PLANTES PERENNES QUE DE PLANTES ANNUELLES.....	19
DAVANTAGE DE REPRODUCTION CLONALE.....	19

UNE REPRODUCTION SEXUEE RENDUE MOINS DIFFICILE :	19
- par un allongement de la période de floraison et de la durée d'épanouissement des fleurs	19
- par la préformation des bourgeons floraux un ou deux ans en avance	19
- par des fleurs aux couleurs vives qui attirent les insectes pollinisateurs	19
MIEUX VAUT COOPERER QUE SE CONCURRENCER	21
À LA DECOUVERTE DES PLANTES DES MONTAGNES DU MONDE LE JARDIN ALPIN DU LAUTARET	22
LE JARDIN ALPIN ET SES COLLECTIONS	22
UN LIEU DE FORMATION ET D'EDUCATION	22
LA RECHERCHE A LA STATION ALPINE JOSEPH FOURIER	23
SERGE AUBERT, UNE PASSION POUR LES PLANTES ALPINES ET LE SITE DU LAUTARET	24
MAIS COMMENT APPARAISSENT LES NOUVELLES ESPECES ?	25
SAXIFRAGE A	25
SAXIFRAGE B	25
SAXIFRAGE C	26
POURQUOI TANT DE PLANTES DIFFERENTES DANS LES MONTAGNES ?	27
LA HAUTE MONTAGNE, UN LIEU DE VIE !	27
LA FORME EN COUSSIN, UNE INNOVATION-CLE	27
INFLUENCE DE LA NAISSANCE DES ALPES ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA DIVERSIFICATION DE CERTAINES PLANTES ALPINES	27
UN EXEMPLE D'EVOLUTION DE PLANTES ALPINES : LES ANDROSACES	27
DES RECORDS CHEZ LES PLANTES EN COUSSINS !	28
« SUR LES ILES DU CIEL » UN TOURNAGE DE FILM EN ALTITUDE	29
PRESENTATION DU FILM	29
POURQUOI CE FILM ?	29
LE REALISATEUR	30
LE PRODUCTEUR DELEGUE	30
QU'EST-CE-QU'UNE GLACIATION ?	31
ET LES GLACIERS ?	31
HISTOIRE D'UNE THEORIE SUR LES GLACIATIONS.	31
<i>Les glaciers, objets d'appréhension</i>	31
<i>La catastrophe du Val de Bagnes</i>	31
<i>Début d'une étude des glaciers</i>	32
<i>La théorie d'Ignace Venetz</i>	32
D'UNE GLACIATION A DES PERIODES GLACIAIRES ET INTERGLACIAIRES	32
QUELS REFUGES POUR LES PLANTES PENDANT LES GLACIATIONS ?	33
LES PLANTES ONT PU CONNAITRE DEUX DESTINS :	33
<i>La « fuite » vers le sud et vers les basses altitudes !</i>	33
<i>Des refuges de vie au milieu des glaces !</i>	33
MAIS CETTE HYPOTHESE DE REFUGE, DITE DES NUNATAKS, EST LIEE AUX DEUX QUESTIONS SUIVANTES :	33
<i>Des nunataks étaient-ils émergés pendant les dernières grandes glaciations dans les Alpes ?</i>	33
<i>Les plantes alpines y ont-elles vraiment trouvé refuge ?</i>	33
DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES, DANS QUELS BUTS?	35
ACQUERIR DES CONNAISSANCES FONDAMENTALES	35

TENDRE VERS UNE APPLICATION PRATIQUE.....	35
UNE DEMARCHE SCIENTIFIQUE EN 5 ETAPES : LE PROGRAMME« ÉCOLOGIE VERTICALE »	36
ETAPE 1	36
ETAPE 2	36
ETAPE 3	36
ETAPE 4	37
ETAPE 5	37
PHYLOALPS, UNE BANQUE GENETIQUE A L'ECHELLE DE L'ARC ALPIN.....	37
QUE NOUS REVELENT LES PLANTES DE HAUTE MONTAGNE ?	39
<i>La flore présente dans ces milieux.....</i>	39
<i>Les mécanismes d'adaptation des plantes aux climats extrêmes</i>	39
<i>Les zones favorables à l'apparition de nouvelles espèces, et donc à l'apparition</i>	39
<i>Les interactions entre espèces.....</i>	39
<i>Les fluctuations et les migrations des espèces pendant les périodes de changement climatiques passés (glaciations).....</i>	39
<i>L'état des lieux actuel de la flore en haute montagne</i>	39
<i>La mise en évidence de hauts lieux de diversité génétique intra-spécifique</i>	39
D'AUTRES « ILES » ET DES ESPECES A PRESERVER.....	40
QUELS SONT CES MILIEUX ISOLES ?	40
<i>Les îles continentales.....</i>	40
ENDEMISME ET DIVERSITE DES ESPECES	40
DES LIEUX ESSENTIELS POUR LA BIODIVERSITE A L'ECHELLE DE LA PLANETE	41
L' ARCHIPEL JUAN FERNANDEZ AU LARGE DU CHILI	41
CONTRIBUTIONS ET REMERCIEMENTS	43
PARCOURS PARALLELE	45
UNE ILE SUR UNE MONTAGNE ?	45
VOUS HABITEZ A QUEL ETAGE ?	45
MAIS QU'EST-CE QUE C'EST ?.....	45
OUI C'EST SOUVENT VERT, MAIS ENCORE ?	45
C'EST QUOI UN HABITAT NATUREL ?	45
TROUVE-T-ON LES MEMES PLANTES PARTOUT ?	45
ESSAYEZ UN PEU, POUR VOIR.....	45
LA DURE VIE EN MONTAGNE.....	46
QUAND ON A FROID, ON SE MET EN BOULE.....	46
LES REFUGES EN MONTAGNES.....	46
RANGE TA CHAMBRE !	46
ESPRIT DE FAMILLE.....	46
LE NOM DES PLANTES.....	46
POURQUOI UN NOM SCIENTIFIQUE ?.....	47
POURQUOI S'INTERESSER A LA BOTANIQUE ?	47
UN HERBIER A QUOI ÇA SERT ?.....	47
C'EST QUOI L'EVOLUTION DES ESPECES?	47
ET LA SELECTION NATURELLE ?.....	47
GLA-GLACIATION.....	47
ET LES PLANTES, ELLES ONT GELE ?	47

MAIS POURQUOI ETUDIE-T-ON CES PLANTES ?	48
ENDEMIQUE.	48
POURQUOI PROTEGER NOTRE ENVIRONNEMENT ?	48
DITES « OUISTITI » !.....	48
LA PHYLO-QUOI ?	48
LISTE DE PUBLICATIONS CONSULTEES	49

Préambule :

Ce document regroupe l'ensemble des textes (hors légendes des illustrations et textes des dispositifs) de l'exposition temporaire « Sur les îles du ciel », présentée au Muséum de Grenoble du 7 octobre 2017 au 26 août 2018.

Ces textes sont utilisables dans le respect de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND, en citant les références associées.

Les différentes personnes et organismes ayant contribué à la réalisation et au bon déroulement de cette exposition sont citées à la fin de ce document, sous l'intitulé « Remerciements ».

Un ensemble de publications a été consulté lors de la préparation de cette exposition, notamment grâce à l'appui du Laboratoire d'Ecologie Alpine de Grenoble et du Parc National des Ecrins et du fonds documentaire du Muséum de Grenoble. Une liste non exhaustive est fournie en fin de document, pour permettre d'aller plus loin dans la découverte des plantes alpines, de leur vie et de leur histoire.

Bienvenue sur les îles du ciel

L'exploration des hauts sommets des montagnes est une aventure qui confronte l'Homme à ses propres certitudes : là où il imaginait la vie impossible, sur les falaises battues par les vents glacials et le soleil brûlant, elle s'impose aujourd'hui à lui dans une beauté captivante car inattendue. Un programme international de recherche s'intéresse désormais à ces « plantes de l'extrême », si bien adaptées à ces conditions de vie inhospitalières qu'elles pourraient être, comme le soupçonnent les scientifiques du Parc national des Écrins et du Laboratoire d'Écologie Alpine de l'UGA-CNRS, à l'origine de certaines plantes de montagne d'aujourd'hui. Survivantes des glaciations alpines, elles sont descendues des « îles du ciel » pour recoloniser les versants des massifs aux premiers réchauffements.

Non, la montagne n'est pas un désert...Et nous vous invitons à rencontrer ses extraordinaires habitantes.

Les partenaires :

La Ville de Grenoble

La Ville de Grenoble préserve et valorise le patrimoine naturel dont la diversité biologique au travers notamment de son Muséum. Quatrième muséum de France, il accompagne des communautés naturalistes et tous ceux qui s'attachent à la conservation du monde naturel notamment en assurant son inventaire. Ses collections botaniques et entomologiques comportent des dizaines de milliers de spécimens isérois de référence dont les publications sont indispensables à l'étude des milieux. Équipement incontournable en matière de sensibilisation naturaliste, le Muséum de Grenoble accueille plus de 100 000 visiteurs par an sur des actions de service public culturel et éducatif.

www.museum-grenoble.fr

Le Département de l'Isère

Le Département de l'Isère développe une politique ambitieuse et exemplaire de conservation de son patrimoine naturel à travers son réseau d'espaces naturels sensibles.

À ce titre, un des objectifs majeurs de sa politique est de diffuser une connaissance consolidée et actualisée des espèces et habitats du département.

www.isere.fr

Parc national des Écrins

Entre Alpes du Nord et Alpes du Sud, le Parc national des Écrins a été créé en 1973 sous l'impulsion d'alpinistes, d'associations naturalistes et du Club Alpin Français. Il est l'un des dix parcs nationaux de France, conjuguant des missions de préservation, de connaissance et d'accueil des visiteurs en lien avec l'activité des communes de son territoire. Plus de 150 sommets dépassent 3 000 m d'altitude entre Isère et Hautes-Alpes. C'est dans ce vaste ensemble de haute montagne, culminant à 4102 mètres (Barre

des Écrins), qu'un programme de recherche scientifique tout à fait original conduit des botanistes dans l'ascension des grandes parois du massif, pour donner des réponses aux questions de l'évolution et de l'écologie verticale à l'échelle des Alpes.

www.ecrins-parcnational.fr

Laboratoire d'Écologie Alpine (UGA_CNRS)

Le Laboratoire d'Écologie Alpine (LECA) est une unité mixte de recherche du CNRS, de l'Université Grenoble Alpes et de l'Université Savoie Mont Blanc rattachée à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble. Le but des recherches de l'unité est de comprendre le fonctionnement des écosystèmes et le maintien de la biodiversité et de prédire leur réponse aux changements en utilisant des concepts et des méthodes issues de disciplines telles que l'écologie et la biologie évolutive.

www.leca.ujf-grenoble.fr

Nomade Productions

Née de l'envie de faire exister des films documentaires pour la télévision, Nomade Productions, pilotée par Marc Toper, s'efforce depuis 1998 de lier qualité des projets et pertinence des sujets abordés. L'expérience de l'équipe permet aujourd'hui de proposer un catalogue de documentaires et de reportages riches et exigeants sur le monde de la montagne (culture - patrimoine - recherche - sport), l'aventure humaine et la captation de concerts en live avec pour partenaires diffuseurs Arte, Canal +, France Télévisions, France 3 Région Rhône-Alpes Auvergne, France 3 Corse, France 5 entre autres.

www.nomadeprodfilm.com

Retrouvez toutes les activités autour de l'exposition sur :

www.surlesilesduciel.fr

Des îles dans les montagnes ?

Les hauts sommets des montagnes sont isolés des terres en contrebas comme des îles au milieu de l'océan. L'étude des végétaux qui y vivent permet notamment de mieux comprendre l'apparition et l'évolution de certaines plantes à fleurs.

Après un effort majeur pour classer les espèces et les nommer au XVIIIe siècle, la question de l'évolution des espèces, y compris celle des plantes à fleurs, devient une interrogation récurrente au XIXe siècle.

Des scientifiques, tels Jean-Baptiste Lamarck, Alfred Russel Wallace et surtout Charles Darwin, établissent des théories sur l'origine et l'évolution des espèces. Charles Darwin s'appuie entre autres sur ses observations dans les îles Galapagos et sur les résultats de ses expériences botaniques.

Pourquoi s'intéresser aux îles ?

Les îles constituent souvent des réservoirs de biodiversité où les espèces ont évolué de manière indépendante, et peuvent être uniques au monde.

L'étude de ces milieux isolés permet d'observer le résultat de l'évolution des êtres vivants dans un environnement peu soumis aux facteurs extérieurs tels que l'arrivée de nouvelles espèces. Les îles sont ainsi comme des laboratoires à ciel ouvert.

Les îles océaniques plutôt étudiées en premier

Les hauts sommets alpins sont des milieux isolés auxquels des espèces végétales sont adaptées spécifiquement. Mais l'accès et le séjour dans ces milieux extrêmes sont restés longtemps trop difficiles pour y permettre des études poussées.

C'est pourquoi les recherches sur l'évolution se sont préférentiellement appuyées sur l'étude des îles océaniques plutôt que sur l'étude d'autres milieux isolés, comme le sont les hauts sommets alpins ou himalayens.

Mais les alpinistes, les géographes, les naturalistes, poussés par la curiosité d'explorer les montagnes, ont fait progresser l'équipement et les savoir-faire : les moyens techniques et scientifiques permettent à présent l'étude, toujours assez sportive et audacieuse, des plantes perchées sur les hauts sommets.

Ces hauts sommets isolés les uns des autres, parfois au milieu d'une mer de nuages, sont comme des îles dans le ciel.

Charles Darwin (1809- 1882), la botanique et un abominable mystère

Darwin a élaboré une théorie de l'évolution qui aboutit à la publication de son ouvrage majeur en 1859 : « L'Origine des espèces par le moyen de la sélection naturelle, ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie ». Ses observations célèbres des pinsons des Galapagos ont joué un rôle majeur dans ses réflexions. Pourtant, la plus grande partie de son oeuvre est consacrée aux plantes, avec la publication de six ouvrages et plus de soixante-dix articles.

Un voyage à l'origine de sa réflexion

Passionné par les sciences naturelles, Darwin acquiert de grandes connaissances, notamment en botanique. De 1831 à 1836, il participe à l'expédition dirigée par le Capitaine FitzRoy, grand explorateur, à bord du navire « HMS Beagle ». Il observe, décrit et récolte alors nombre de plantes, dont 200 spécimens dans l'archipel des Galapagos. Il constate que les îles possèdent souvent des espèces différentes d'un même genre, observations qui seront essentielles à l'élaboration de sa théorie de la sélection naturelle.

Des expériences botaniques à l'appui de sa théorie de la sélection naturelle

Darwin va développer ses observations et expériences botaniques à Down house, propriété située au sud de Londres pourvue d'un jardin et de cinq serres, où il s'installe en 1842 avec sa famille. Il étudie en particulier les variations chez les plantes domestiquées, les différentes formes de fleurs au sein d'une même espèce, les plantes carnivores, les mouvements des plantes et la fécondation croisée chez les orchidées. Cette fécondation, réalisée entre individus d'une même espèce par l'intermédiaire d'insectes adaptés à ces plantes, permet à la sélection naturelle d'opérer. Les fleurs présentent aussi des caractéristiques particulières (formes, couleurs...) attirant spécifiquement ces insectes. Ces adaptations réciproques, mises en évidence par Darwin, sont le fruit d'une évolution conjointe (coévolution) des insectes et des plantes. **Darwin trouve ainsi chez les plantes des faits qui illustrent sa théorie de l'évolution. Nombre de ses écrits botaniques suivront d'ailleurs la publication de la première édition de « L'origine des espèces ».**

Un abominable mystère !

Et pourtant, c'est aussi dans le règne végétal qu'il va se heurter à ce qu'il nommera lui-même un « abominable mystère ». Les fossiles découverts dans les années 1860 - 1870 laissent en effet supposer une apparition et une diversification des plantes à fleurs brutales au Crétacé supérieur, entre - 100 et - 66 millions d'années. Or, ceci semble incompatible avec sa théorie de l'évolution qui suppose un processus évolutif lent et graduel.

C'est juste après avoir lu l'essai de John Ball que Darwin a confié cet « abominable mystère » à son ami botaniste Joseph Dalton Hooker, dans une lettre datée du 22 juillet 1879. Dans cet essai, J. Ball, botaniste et alpiniste irlandais ayant parcouru les Alpes, fondateur du club alpin de Londres, précurseur dans l'étude des plantes alpines, émet l'hypothèse d'une origine alpine des plantes à fleurs. Ceci expliquerait selon lui l'absence de fossiles, même avec une évolution sur une période plus longue.

Cette origine alpine s'est avérée inexacte comme le pensait d'ailleurs Darwin, même si cela correspondait à son idée d'une évolution à vitesse lente et constante. Les plantes à fleurs sont en fait plutôt d'origine tropicale.

Un abominable mystère résolu !

Grâce aux apports de la génétique moderne, on sait maintenant que le taux d'apparition de nouvelles espèces peut varier considérablement dans le temps, sans que cela remette en cause la théorie de sélection naturelle de Darwin.

Au XIXe siècle, Oswald Heer et Gaston Saporta, paléobotanistes, avaient déjà souligné auprès de Darwin le fait qu'une accélération de l'évolution était compatible avec sa théorie.

En outre, des fossiles plus anciens, datant du Crétacé inférieur (-145 à -100 millions d'années), découverts plus tard, ont montré une apparition et une diversification des plantes à fleurs beaucoup moins récentes, mais toujours aussi rapides.

À la découverte des hauts sommets

Jusqu'à une période assez récente, les montagnes étaient sujettes à de nombreux mythes et croyances, parfois considérées comme demeures de divinités ou d'esprits malfaisants.

Leur ascension était empreinte de superstition, voire interdite.

Les précurseurs de la botanique dans les Alpes

Avec la Renaissance, au XVI^e siècle, l'intérêt pour la botanique et la description des espèces végétales dans la nature se développe, avec un besoin d'exploration. Dans les Alpes, le médecin zurichois **Conrad Gessner** peut faire figure de pionnier de la botanique alpine avec l'Italien **Pierandrea Matthioli**. Dans l'ouvrage *Theatrum botanicum* le Grenoblois **Pierre Bérard** décrit de nombreuses plantes alpines.

Au XVIII^e siècle, avec l'effort de description et de classification, l'étude des plantes alpines prend un nouvel essor, une grande partie des espèces est alors décrite.

Quelques botanistes illustres peuvent être cités : le Suisse **Albrecht von Haller**, l'Italien **Carlo Allioni**, le Dauphinois **Dominique Villars**. Néanmoins, peu d'informations sont disponibles sur la répartition des plantes en haute montagne, qui sont encore d'accès difficile.

La naissance de l'alpinisme : des ascensions et déjà quelques avancées scientifiques...

Les premières explorations en haute montagne permettent aussi des observations et expériences scientifiques.

Horace-Bénédict de Saussure, Genevois formé à la physique, la chimie et l'histoire naturelle (surtout la botanique), est un précurseur en ce domaine. Il entreprend des expéditions dans les Alpes pour réaliser des expériences scientifiques, en particulier des mesures physiques.

Vers 1750 puis vers 1850, des ingénieurs et cartographes militaires français gravissent de nombreux sommets alpins afin d'établir des cartes d'état-major. Les ascensions de ces officiers sont longtemps restées méconnues.

D'autres expéditions comportant aussi des motivations scientifiques suivront dans les autres montagnes françaises.

Des explorateurs biogéographes et naturalistes se lancent dans l'ascension de montagnes plus lointaines. Ainsi, **Alexander von Humboldt** accompagné d'**Aimé Bonpland** explore les montagnes d'Amérique latine et d'Asie. Ils réalisent de multiples mesures et consignent une multitude d'observations, dont des inventaires et cartographies floristiques. **Francisco Jose de Caldas** et **Hugh Algernon Weddell** ont également étudié la flore andine.

À partir de la deuxième moitié du XIX^e siècle, l'exploration des plus hauts sommets se fait plus sportive et répond à un désir d'aventure de la classe aisée. L'alpinisme devient un loisir sportif à la mode. En 1857, est créé le premier club alpin en Angleterre, en 1874 le Club Alpin Français. À Grenoble, l'historique Société des Touristes du Dauphiné, toujours bien active, est créée en 1875.

Les scientifiques ne sont pas oubliés pour autant lors des grandes expéditions, notamment du XX siècle. Ils accompagnent de grandes ascensions himalayennes, tels les naturalistes suisses **Augustin Lombard**, géologue, **Albert Zimmermann**, botaniste, le naturaliste californien **Lawrence Swan**.

De nos jours encore, des questionnements scientifiques poussent des naturalistes à parcourir les hauts sommets.

Alpin ? Alpestre ? Alpien?

Soyons précis. Avant de présenter quelques plantes vivant à haute altitude, il convient de clarifier certains termes.

Les plantes qui ne poussent que dans les zones de montagnes sont dites *orophytes* (*oros* : montagne, *phytos* : plante)

Les plantes dites **alpines** désignent les plantes de montagnes qui poussent dans l'étage alpin.

Cet étage commence à l'altitude à partir de laquelle les arbres ne peuvent plus pousser. En France, il débute vers 2 300 m. Cette altitude varie localement, par exemple en fonction de l'exposition des versants. Dans des latitudes plus basses, où les températures sont plus chaudes, comme au Népal ou au Venezuela, l'étage alpin de végétation se situe plutôt vers 4 000 m. Dans des latitudes plus hautes, où les températures sont plus froides, l'altitude de cet étage s'abaisse, jusqu'au niveau de la mer dans les zones polaires.

Les plantes dites alpines peuvent donc se trouver ailleurs que dans les Alpes.

Pour désigner les plantes poussant dans les Alpes, il faudrait parler de la flore **alpienne**. Quant au terme peu précis d'« **alpestre** », lorsqu'on parle de flore, il évoque la végétation que l'on trouve en moyenne montagne entre 1 000 m et 2 000 m.

De nombreuses espèces alpines

La flore que l'on rencontre au-dessus de 2 300 m dans les Alpes françaises est très diversifiée. L'arc alpin fait partie des grands lieux de la diversité biologique de notre planète, surtout en se rapprochant de la mer méditerranée.

Nul besoin d'être alpiniste ou botaniste pour admirer la diversité de cette flore. Les ouvrages ne manquent pas pour faire découvrir ces plantes aux fleurs souvent très colorées, qui attirent le regard dans un paysage de plus en plus minéral lorsque l'on monte en altitude.

Une végétation étagée

En montagne, la végétation change avec l'altitude. Ceci est principalement dû au fait que plus on monte en altitude, plus il fait froid en moyenne. La température influençant fortement la vie des végétaux, ceci engendre ce que l'on appelle des étages de végétation.

Le plus visible est l'étage à partir duquel l'existence des forêts n'est plus possible (sans tenir compte des activités humaines). C'est l'étage alpin.

L'étage alpin commence aux alentours de 2 300 m dans les Alpes françaises. Dans des montagnes de régions plus chaudes, cet étage pourra débuter bien plus haut, par exemple à 4 000 m environ au Népal.

Des plantes à fleurs et des voisins plus discrets

Il est bien difficile de présenter complètement la diversité de la flore de haute montagne.

On évoque souvent les plantes à fleurs, telles les androsaces, les saxifrages, et à plus basse altitude, les gentianes, les soldanelles qui attirent le regard par leurs fleurs colorées, ou leur forme en coussin.

On trouve majoritairement au-dessus de l'étage alpin 6 familles parmi les plantes à fleurs ou Angiospermes :

- Les **ASTERACÉES**, famille de la pâquerette, comme *Leucanthemopsis alpina*
- Les **BRASSICACÉES**, famille du chou, comme *Cardamine alpina*
- Les **CARYOPHYLLACÉES**, famille de l'oeillet, comme *Minuartia sedoides*.
- Les **POACÉES**, famille du blé, plus discrètes et moins admirées, comme *Poa laxa* ou *Agrostis rupestris*
- Les **PRIMULACÉES**, comme *Androsace alpina*
- Les **SAXIFRAGACÉES**, comme *Saxifraga oppositifolia*

Mais à côté de ces « stars » des guides illustrés de la flore alpine, des espèces plus discrètes et souvent plus difficiles à déterminer représentent une partie importante de la biodiversité végétale et fongique à haute altitude. Ce sont :

- **LES MOUSSES** (ou bryophytes), dont peu d'espèces semblent vraiment liées aux hautes altitudes. Leur répartition en montagne est encore méconnue. On peut citer pour le massif des Écrins *Grimmia alpestris* et *Schistidium flaccidum* (3 800 m, La Meije), et pour celui du Mont-Blanc *Grimmia relexidens* et *G. elongata* (4 000 m, Dent du Géant);
- **LES LICHENS**, symbioses entre un champignon et une algue. De nombreuses espèces de lichens sont particulièrement bien adaptées aux conditions extrêmes de froid. Elles peuvent résister en laboratoire à de fortes expositions aux rayons U.V. et à des températures très basses (vers -100 °C). Les lichens peuvent constituer un apport de nourriture pour les animaux, tels les bouquetins.

Nous allons nous intéresser à quelques plantes qui se sont particulièrement bien adaptées aux conditions extrêmes de la haute montagne, et qui peuvent survivre entre 2 500 m et plus de 4 000 m pour certaines.

La difficile vie en montagne

La haute montagne est un des environnements les plus extrêmes de notre planète. Des contraintes multiples freinent le développement de la flore alpine :

Le froid

Le climat hivernal y est un des plus froids sur Terre. La température moyenne diminue en effet au fur et à mesure que l'altitude augmente, de 0,5 à 0,6 °C tous les 100 m.

Le froid ralentit fortement la croissance des plantes : le temps de doublement cellulaire est de 24 heures à 20°C et 300 heures à 0°C. De plus, le gel de l'eau à l'intérieur des cellules d'une plante entraîne la mort de celle-ci.

La photosynthèse est également ralentie lorsque les températures baissent, ce qui réduit la période de végétation.

La durée d'enneigement importante associée à ce froid raccourcit la période de végétation.

La forte exposition aux radiations solaires dont les UV

L'excès de lumière entraîne un stress oxydatif lié à la formation de formes réactives de l'oxygène (radicaux libres). Ces substances toxiques provoquent en particulier la destruction de molécules impliquées dans la photosynthèse. Les U.V. agissent directement sur les tissus et l'ADN.

Le manque d'éléments nutritifs et d'eau

Les sols sont peu épais et ne peuvent donc retenir que peu l'eau. Les sécheresses estivales contribuent également à la rudesse des conditions de vie.

Les sols sont pauvres en azote. En effet, non seulement peu de matière organique y est déposée, mais, de plus, l'activité microbienne du sol responsable de la minéralisation de la matière organique est ralentie par le froid.

Tout ceci limite la croissance des plantes.

Le sol

En plus d'être peu épais, les sols sont souvent instables, du fait des pentes importantes, d'un couvert végétal peu dense et des alternances entre gels et dégels.

Le vent

À cela s'ajoutent les vents violents souvent présents. En plus de risquer de casser les plantes ou de les arracher, le vent accentue la déshydratation et les effets du gel.

S'adapter et survivre

Fuir n'est pas une solution possible pour ces plantes fixées sur des sols difficiles, exposées aux intempéries.

Elles ne peuvent éviter les obstacles à leur survie.

Des adaptations particulièrement élaborées leur permettent de se maintenir malgré les conditions rudes de leur environnement.

Dans les milieux tropicaux alpins, dans les Andes par exemple, on trouve des formes de plantes pouvant atteindre 5 m de haut avec des tiges épaisses : elles sont dites pachycaules. Un manchon de feuilles mortes entourant la tige joue le rôle de tampon thermique. La rosette de feuilles au sommet protège le bourgeon unique des températures négatives. Ce sont par exemple des plantes du genre *Espeletia*.

Comment résister aux basses températures ?

EN RÉDUISANT L'EXPOSITION AU FROID

- par une taille réduite ou un enfouissement des parties vitales nécessaires à la croissance

Les températures sont en effet moins froides près du sol ou sous la neige (0°C sous 40 cm de neige, voire moins, même si la température extérieure est négative).

- par la forme

Des formes compactes (grandes touffes ou formes en coussins) limitent à la fois la perte de chaleur par grands froids et la déshydratation en période de sécheresse. La forme en coussin est particulièrement efficace de ce point de vue car la sphère est la forme présentant la surface la plus réduite pour un volume donné (les animaux se mettent aussi « en boule » lorsqu'ils ont froid). La densité du coussin engendre un caractère isolant. Ainsi, à l'intérieur de ces formes les températures sont moins extrêmes, lors de froids intenses ou de fortes chaleurs.

- par une pilosité plus développée, un revêtement protecteur plus épais

Les poils sur les tiges et les feuilles, quand ils sont en grande densité, jouent un rôle isolant. La couche cireuse protectrice présente sur la face supérieure des feuilles des plantes, ou cuticule, est plus épaisse.

EN ÉVITANT LE GEL DES TISSUS EXPOSÉS

- grâce à des molécules faisant office d'antigels en abaissant le point de gelée

L'eau de mer, riche en sels minéraux, gèle à température plus basse que l'eau douce d'un lac. De même, l'accumulation dans les cellules de certains composés, tels des sucres, permet aux fleurs et aux feuilles de certaines espèces de rester actives jusqu'à -8°C à -10°C.

- en empêchant la formation de glace dans les cellules

L'eau douce peut rester liquide bien en dessous de 0°C si on évite la formation des premiers petits noyaux de glace. Ce mécanisme dit de surfusion, très efficace, permet à

certaines plantes de supporter des températures encore plus basses (jusqu'à -17°C pendant plusieurs heures).

EN TOLÉRANT LE GEL

Le gel intervient en premier à l'extérieur des cellules. Une déshydratation des cellules s'ensuit, ce qui empêche la glace de s'y former. La présence de molécules, là encore des sucres, protège différents éléments de la cellule de cette perte d'eau.

Comment se fixer et se nourrir dans des sols pauvres et instables ?

L'enracinement peut se faire efficacement grâce à des racines en « pivot » fortes et longues qui favorisent la stabilisation du sol et l'installation d'autres espèces. La nutrition peut être favorisée par l'absorption des éléments minéraux provenant des feuilles mortes au printemps après avoir été maintenues en vie sous la neige hivernale.

Comment lutter contre l'excès de lumière et d'UV ?

En déviant la lumière

La pilosité abondante et la cuticule épaisse des feuilles permettent de diminuer la quantité de radiations atteignant les organes de la plante.

En dissipant l'énergie solaire

Des pigments caroténoïdes restituent cette énergie sous forme de chaleur, ce qui peut être utile par temps froids et pour le métabolisme de la plante.

En piégeant les molécules produites

Des molécules anti-oxydantes, telles que la vitamine C, permettent d'inactiver les substances toxiques produites sous l'effet des rayonnements.

En absorbant les UV

Ceci est réalisé grâce à des pigments (composés phénoliques tels que des flavonoïdes et des anthocyanes) qui donnent ainsi aux plantes des couleurs violettes, bleues ou rouges.

Et la reproduction ?

Survivre est la première des nécessités, mais les plantes doivent pouvoir se reproduire, échanger des gènes, se disséminer vers d'autres endroits pour se maintenir à plus long terme.

Or, en altitude, la reproduction n'est guère facilitée : la période de végétation est courte, les insectes pollinisateurs sont assez rares et il y a peu de sites propices à la germination de graines.

Face à ces obstacles, ces plantes présentent des stratégies particulières de reproduction...

Davantage de plantes pérennes que de plantes annuelles

À l'étage alpin et au-dessus, on trouve moins de 2% de plantes annuelles (plantes développant feuilles et fleurs dans l'année). Leur survie dépend en effet uniquement du succès de la reproduction sexuée, moins assurée dans ces milieux alpins. Des plantes pérennes peuvent au contraire s'installer plus durablement dans ces milieux et ne fleurir et produire des graines que lorsque les conditions sont favorables. Ainsi, les plantes en coussins peuvent vivre jusqu'à plusieurs centaines d'années.

Davantage de reproduction clonale

Certaines de ces plantes pérennes ont aussi plus recours à la reproduction clonale (ou végétative), c'est-à-dire la production d'individus identiques à l'individu initial (clones), comme lors d'opération de bouturage par exemple.

Ces nouveaux plants sont souvent issus de tiges horizontales (aériennes ou souterraines) venant de la plante-mère, ou parfois de bulbilles.

Chez certaines espèces, des graines peuvent être produites sans fécondation, uniquement à partir de l'ovule (apomixie). Elles sont génétiquement identiques à la plante-mère.

Une reproduction sexuée rendue moins difficile :

- par un allongement de la période de floraison et de la durée d'épanouissement des fleurs

Cela augmente les chances de visite par les insectes pollinisateurs, pourtant moins nombreux qu'en plaine. C'est ainsi que le taux de pollinisation des espèces alpines est équivalent à celui des espèces de plaine.

- par la préformation des bourgeons floraux un ou deux ans en avance

Les fleurs sortent ainsi beaucoup plus rapidement, dès que les conditions sont favorables.

- par des fleurs aux couleurs vives qui attirent les insectes pollinisateurs

La plupart des insectes possèdent une vision dans le spectre U.V : ils voient donc des motifs invisibles pour nous les guidant vers les parties stratégiques des fleurs.

Les pollinisateurs et les plantes alpines : des interactions positives

*Des études sur la pollinisation de plusieurs plantes alpines dans les Alpes centrales ont mis en évidence le rôle de certains insectes pollinisateurs en haute montagne, qui diffèrent significativement selon les plantes. Certains Diptères (les « mouches »), comme par exemple les Muscidae ou Anthomyiidae, Calliphoridae et Sarcophagidae, jouent un rôle prépondérant dans la pollinisation de la Renoncule des glaciers (*Ranunculus glacialis*) ou la Saxifrage d'Auvergne (*Saxifraga bryoides*). L'éventuelle intervention d'acariens, suite à des observations sur le terrain sur l'*Androsace pubescens*, serait aussi envisagée pour certaines espèces.*

Mieux vaut coopérer que se concurrencer

Dans les milieux naturels (forêts, prairies) favorables au développement des végétaux grâce à des ressources abondantes, les végétaux sont en concurrence pour l'accès à la nourriture, la lumière, l'eau...

En haute montagne, où les conditions de vie sont difficiles, c'est plutôt la coopération entre plantes qui prédomine.

Les plantes en coussins constituent des mini-écosystèmes favorables à l'installation d'autres organismes : plantes, mais aussi insectes, champignons, bactéries. En effet, leur forme compacte engendre un microclimat protecteur, assure une protection contre les vents violents et permet aux matières organiques (feuilles mortes...) de s'accumuler et de former, après décomposition, un humus humide plus riche en nutriments. C'est le phénomène de facilitation.

La biodiversité est ainsi favorisée dans des environnements pourtant extrêmes, ces plantes s'étant adaptées aux conditions difficiles.

À la découverte des plantes des montagnes du monde

Le jardin alpin du Lautaret

Entre Bourg d'Oisans et Briançon, le site du col du Lautaret abrite une remarquable diversité biologique, notamment botanique, en raison de sa position au croisement de diverses influences climatiques et géologiques.

Déjà au XVIII^e siècle, Dominique Villars et son ami l'abbé Dominique Chaix avaient identifié ce lieu remarquable. Depuis, de nombreux botanistes s'y sont succédés.

Ce haut lieu de la botanique abrite en effet depuis 1899 un jardin alpin créé par le professeur Jean-Paul Lachmann de l'Université de Grenoble. La construction d'une route implique le déplacement du jardin, en 1919, vers son emplacement actuel. Un chalet, dénommé aujourd'hui le chalet Mirande est alors construit pour abriter les jardiniers, un petit laboratoire et un musée.

En 1989, l'implantation d'un chalet-laboratoire permet de conduire des recherches sur les plantes alpines.

Grâce à ces équipements, la station alpine Joseph Fourier du Lautaret, unité mixte des services de l'Université Grenoble Alpes et du CNRS, assure aujourd'hui des missions allant du développement de plateformes de recherche à l'entretien de collections botaniques. Elle mène également des actions de formation des étudiants et de vulgarisation scientifique auprès du grand public.

*En 2016 est inaugurée la **Galerie de l'Alpe** réalisée grâce au soutien de fonds publics. D'un montant total de 2,7 millions d'euros, la construction de la Galerie de l'Alpe a été financée par l'État dans le cadre du Pôle d'excellence rurale « Nature, sciences et tourisme » (230 000 €), l'Union européenne à travers le Fonds européen de développement régional (400 000 €), la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (900 000 €), le Département des Hautes-Alpes (350 000 €), la Communauté de communes du Briançonnais (100 000 €) et l'Université Grenoble Alpes (720 000 €). La réalisation de cet espace d'exposition, d'accueil et de recherche a été portée par Serge Aubert et l'équipe de la station alpine.*

Le jardin alpin et ses collections

Le Jardin botanique alpin du Lautaret rassemble près de 2 000 espèces originaires de la plupart des montagnes du monde et de la région du Lautaret. Ces collections ont un rôle esthétique, pédagogique et scientifique.

Lieu touristique important entouré par des prairies naturelles, le jardin alpin accueille près de 20 000 visiteurs durant l'été. Ils y découvrent des plantes alpines du monde entier, grâce aux massifs et rocailles aménagés pour satisfaire aux exigences particulières de chaque plante.

Les collections du jardin permettent aussi l'étude facilitée de nombreuses espèces, y compris celles originaires de régions éloignées du globe.

Un lieu de formation et d'éducation

Chaque année la station alpine propose des stages aux étudiants des filières horticoles et aménagement paysager comme aux étudiants des universités (du BTS au doctorat). Elle dispense des cours de botanique et accueille des élèves du primaire aux classes

préparatoires. Le grand public bénéficie quant à lui des visites guidées quotidiennement proposées et du développement d'offres de tourisme scientifique.

La recherche à la station alpine Joseph Fourier

La recherche, présente depuis les origines, s'articule essentiellement autour de trois grandes thématiques :

- La dynamique des territoires de montagne face aux changements globaux ;
- Le climat et ses variations et le fonctionnement des écosystèmes d'altitude ;
- La biologie des adaptations et l'écologie évolutive des plantes de montagne.

La station alpine édite également des ouvrages destinés à des publics variés.

Les éditions du Lautaret éditent une revue à vocation scientifique et naturaliste (*Les cahiers du Lautaret*) et un catalogue triennal des illustrations botaniques réalisées chaque année par des artistes en résidence (Collection Dominique Villars).

Elle met aussi à disposition en ligne une base de plus de 20 000 images qui illustrent les plantes du jardin, la flore indigène du Lautaret, la flore des Alpes observée en excursion, mais aussi la flore des montagnes du monde, particulièrement les Andes et la Patagonie.

Serge Aubert, une passion pour les plantes alpines et le site du Lautaret

Pour qui s'intéresse à la station alpine du Lautaret, son jardin, et au monde fascinant des plantes alpines, le nom de Serge Aubert (1966-2015) devient bien vite un compagnon souvent rencontré.

Professeur à l'Université Grenoble Alpes, membre du Laboratoire d'écologie alpine (LECA) de Grenoble, il fut directeur de la station alpine J. Fourier, site auquel il consacra toute son énergie et ses compétences. Il en fut un des plus fervents défenseurs, et a largement contribué à redonner à la station, fragilisée à la fin des années 90, sa vocation de lieu d'exception mêlant intelligemment activités de recherche, de formation et de diffusion des savoirs sur la biologie et l'écologie alpine.

Serge Aubert était un passionné qui s'est donné sans compter. Érudit, brillant pédagogue, il a porté très haut les valeurs universitaires, à l'égal de ces savants humanistes qui avaient fondé l'école de botanique de Grenoble et ses jardins alpins il y a plus d'un siècle, ces grands professeurs dont il connaissait si bien la biographie et dont il s'est montré le digne successeur.

Impliqué dans de vastes projets portant sur la biogéographie des plantes d'altitude, en particulier sur les plantes dites en coussin dont il était devenu le spécialiste incontesté, mais également sur la végétation des paramos andins, il était l'un des rares chercheurs à pouvoir embrasser d'un même regard éclairé les multiples facettes de la biologie et de l'évolution des plantes d'altitude.

(D'après le texte rédigé par Philippe Choler au nom de la SAJF, du LECA et de l'OSUG - février 2015)

Nous avons fait connaissance avec certaines plantes d'altitude. Intéressons-nous à présent à leur histoire et à leur étude par les scientifiques.

Mais comment apparaissent les nouvelles espèces ?

Voici une illustration schématique de quelques mécanismes qui peuvent aboutir à la formation de nouvelles espèces (phénomène de spéciation) et qui ont pu intervenir dans l'histoire de l'évolution des plantes alpines.

Saxifrage A

Un événement se produit : le climat se refroidit

Les plantes les mieux adaptées à ces nouvelles conditions survivent et ont plus de descendants (**plantes de petites tailles** pour résister au froid et **fleurs colorées** pour attirer les rares pollinisateurs) .

Au fil des générations, les plantes de petite taille avec des fleurs colorées sont de plus en plus nombreuses, jusqu'au moment où ces caractères deviennent majoritaires et constants dans la population.

Au bout de nombreuses générations, **une nouvelle espèce B** a fini par apparaître, bien différente de l'espèce initiale.

Saxifrage B

Un événement se produit : **des montagnes se créent**. La population de départ appartenant à l'espèce B est séparée en deux populations totalement isolées l'une de l'autre. Ces populations 1 et 2 sont maintenant deux **échantillons isolés de la population initiale** : elles vont évoluer de manière indépendante car elles n'échangent plus de graines ni de pollen. L'absence d'événements de migration entre ces deux populations va les rendre peu à peu incompatibles génétiquement, et produire deux nouvelles espèces. C'est ce que l'on appelle la spéciation allopatrique. Si la taille des populations change de façon importante, les caractères qui vont devenir majoritaires ne seront pas forcément les mêmes dans les deux populations : le hasard décidera ! **Ce mécanisme est appelé la dérive génétique.**

Si les conditions de vie sont différentes entre les montagnes (par exemple, sols différents, pentes plus ou moins fortes...), il peut aussi y avoir, en plus, un **mécanisme de sélection naturelle.**

Au bout de nombreuses générations, ces mécanismes aboutiront à la création de **deux espèces C et D différentes entre elles et différentes de l'espèce B de départ.**

Ce mécanisme de spéciation lié à l'isolement de populations est appelé la spéciation allopatrique.

Saxifrage C

Un événement se produit : **quelques graines venant de plantes de l'espèce C situées au sommet d'une montagne parviennent à une altitude beaucoup plus basse et germent**, formant ainsi la petite population 1 de l'espèce C.

Ce phénomène de migration conduit à la fondation d'une population réduite, échantillon non représentatif de la population initiale : c'est l'effet fondateur.

S'ensuivent des mécanismes similaires aux cas précédents :

- **Un mécanisme de dérive génétique** : au bout de nombreuses générations, les caractères fixés dans la nouvelle population seront différents de ceux de la population initiale.
- **Un possible mécanisme de sélection** naturelle car les conditions de vie sont ici différentes des conditions sur les hauts sommets
- **Une spéciation de type allopatrique** si cette nouvelle population se trouve isolée de la population initiale.

Cette spéciation (migration+ changement) est aussi souvent définie comme **spéciation péripatrique**.

Une nouvelle espèce E sera alors apparue.

Dans cet exemple,

on voit qu'à partir de l'espèce Saxifrage A se sont donc développées, au fil du temps et des modifications de l'environnement, 4 autres espèces de saxifrages (B,C,D, E).

Pourquoi tant de plantes différentes dans les montagnes ?

La haute montagne, un lieu de vie !

Le nombre d'espèces est plus élevé sous les tropiques qu'en zone tempérée ou arctique. Aussi, les régions chaudes et humides sont considérées comme des centres de biodiversité, contrairement aux régions froides et sèches.

Les conditions extrêmes rencontrées en haute montagne apparaissent a priori défavorables au maintien de la vie, à l'émergence de nouvelles espèces et donc à la biodiversité.

Pourtant, bien que ne couvrant que 3% de la surface terrestre du globe et ne contenant que 4% de toutes les plantes vasculaires connues, les régions alpines se sont révélées favorables à l'apparition de nouvelles espèces.

La forme en coussin, une innovation-clé

Des plantes de familles différentes, pouvant vivre dans des lieux éloignés, ont néanmoins adopté au fil de l'évolution une solution similaire au problème du froid et de la sécheresse : la forme en coussin. On parle de convergence évolutive.

Des centaines d'espèces de plantes à fleurs sur tous les continents présentent cette forme, parmi lesquelles des espèces occupant les milieux les plus froids sur la Terre.

Influence de la naissance des Alpes et des changements climatiques sur la diversification de certaines plantes alpines

L'élévation, ou surrection, des chaînes alpines à partir de 28 millions d'années, associée à un refroidissement global du climat, aurait entraîné une diversification rapide de certaines lignées végétales. Celles-ci, isolées géographiquement et soumises à de nouvelles pressions de sélection, auraient en effet évolué en donnant des espèces différentes (*spéciation dite allopatrique, voir « Mais comment apparaissent les nouvelles espèces ? »*).

De plus, les radiations évolutives (diversification rapide des espèces à partir d'un seul ancêtre commun) ont été favorisées par les variations climatiques qui ont suivi, le taux d'apparition de nouvelles espèces s'étant accéléré durant ces périodes.

Dans les Andes, on observe ces mêmes mécanismes chez certaines espèces alpines tropicales de Lupins et d'Espeletias.

Un exemple d'évolution de plantes alpines : les androsaces

Le genre Androsace (Primulacées) comprend actuellement près de 110 espèces, présentes dans les régions tempérées et froides de l'hémisphère Nord. Mais il n'en a pas toujours été ainsi.

L'ancêtre des Androsace vivait probablement dans les steppes asiatiques froides, il y a de cela entre 30 et 40 millions d'années. Les espèces himalayennes, européennes et nord-américaines en seraient issues par des migrations successives suivies d'une diversification

des espèces. Comment cela se serait-il passé ? Les premières espèces asiatiques étaient des plantes annuelles, à courte durée de vie, se reproduisant donc rapidement, et pouvant coloniser de nouveaux milieux grâce à leurs graines légères. C'est ainsi que les Androsace se seraient répandues dans l'Himalaya et l'Europe. C'est alors que des formes à longue durée de vie, des formes en coussins, seraient apparues chez les Androsace, au moins deux fois : une fois en Europe, et une fois en Asie. Elles auraient permis la colonisation de milieux froids alpins, de nouvelles espèces apparaissant par spéciation allopatrique, ces milieux étant isolés les uns des autres. C'est une forme en coussin qui aurait ensuite colonisé les montagnes rocheuses nord-américaines après migration.

Des records chez les plantes en coussins !

*l à plus de 6 000 m d'altitude dans l'Himalaya : des espèces des genres Arenaria et Stellaria
l jusqu'à 5 200 m dans les Andes : des espèces comme Azorella compacta
l jusqu'à 4 507 m en Europe : Saxifraga oppositifolia sur le Dom des Mischabel (Suisse)
l au-dessus de 4 200 m dans les Alpes européennes : Androsace helvetica
l Ces plantes ont des durées de vie pouvant atteindre plusieurs centaines d'années voire peut-être même jusqu'à 3 000 ans pour certaines espèces andines.*

« Sur les îles du ciel » un tournage de film en altitude

Conjointement à cette exposition, le film *Sur les îles du ciel* entreprend de montrer sur le terrain le quotidien des travaux de recherche sur les plantes sur les sommets isolés des Alpes qui ont pour but d'éclairer les mécanismes de la biodiversité.

Il vise à préciser les enjeux des découvertes faites à ces altitudes, tout en proposant un voyage en haute montagne et des explications vivantes par les scientifiques concernés.

Avec ce film, vous pourrez aller plus loin dans la découverte des milieux et des plantes de haute altitude et des recherches associées, tout en étant exaltés par le souffle de liberté émanant de ces images de grands espaces et de courses en haute montagne.

Présentation du film

Le documentaire *Sur les îles du ciel* illustre le rôle fondateur de l'exploration dans la construction de la connaissance en rappelant aussi que la science est en perpétuel mouvement. Que deviennent les êtres vivants lorsque leur environnement se transforme? Ces plantes dotées d'une telle capacité d'adaptation seront-elles réellement menacées par les crises écologiques à venir ?

Immergé sur les plus hauts sommets des Alpes françaises dans les massifs des Écrins et du Mont Blanc, le spectateur suit une équipe de botanistes sur des versants sauvages méconnus de la communauté scientifique et du grand public dans l'étude de trois fleurs d'altitude. Le relevé des plantes est l'occasion de découvrir des sites exceptionnels et d'aller à la rencontre d'autres scientifiques qui tentent de mieux comprendre les évolutions du milieu alpin depuis 20 000 ans. Le spectateur entre dans les laboratoires de recherche, explore la génétique de ces plantes afin de mieux cerner les stratégies adoptées par les espèces pour se développer dans des milieux contrastés et changeants.

Pourquoi ce film ?

Pour le réalisateur Olivier Alexandre, le souhait d'apporter des connaissances, dans le cadre extraordinaire d'un voyage en haute montagne, est le résultat d'un parcours personnel.

En effet, ses différents travaux et collaborations lui ont montré que malgré les nombreux débats politiques et citoyens sur les enjeux environnementaux, les éléments scientifiques sont imparfaitement partagés vers un large public. Ceci en raison de la complexité des phénomènes observés et de l'évolution constante de la connaissance, mais aussi à cause de la difficulté à faire entendre et comprendre ces éléments indispensables au débat sur la protection de notre environnement.

Ainsi, mettre à disposition du grand public des éléments de connaissance simplifiés – mais pas simplistes –, à partir des connaissances académiques, représente pour le réalisateur du film un véritable enjeu.

Le réalisateur

Docteur en géographie de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, Olivier Alexandre est un Isérois, auteur-réalisateur de films documentaires autoproduits liés à sa passion de la montagne.

Le producteur délégué

Producteur, auteur-réalisateur, Claude Andrieux réalise depuis 1984 des documentaires pour la télévision avec des tournages en Europe, Afrique et Asie. Depuis 1998, il travaille au sein de la société Nomade Productions comme producteur et réalisateur de documentaires (plus de 30 films documentaires depuis 1987).

Qu'est-ce-qu'une glaciation ?

Les glaciations ont joué un rôle important dans la diversification des plantes alpines. Mais que sont au juste les glaciations ?

Glaciation :

Période durant laquelle la quantité de glace stockée à la surface du globe est supérieure à la moyenne. Définition extraite du *Dictionnaire de géologie*, Alain Foucault ; Jean-François Raoult. Edition Dunod 7ème édition, 2010.

Les grandes périodes glaciaires ont modelé le paysage depuis 2,5 millions d'années. Pendant les glaciations, les températures moyennes ont été plus froides d'au moins 12 à 15°C par rapport à la température moyenne annuelle dans les Alpes aujourd'hui. En alternance avec ces périodes froides, il existe des périodes chaudes interglaciaires dont les températures sont équivalentes à ce que nous connaissons voire plus chaudes en moyenne de deux degrés.

L'une des conséquences directes de ces périodes froides est l'augmentation très importante du volume des glaciers. Ils occupent alors les vallées ne laissant libre de glace que les zones supérieures à 2 000 voire 2 800 m d'altitude. Au plus fort de la dernière glaciation, il y a 20 000 ans, les glaciers atteignent Lyon. L'immobilisation de l'eau sous forme de glace entraîne une baisse des niveaux marins : la Grande Bretagne n'est alors plus une île.

Et les glaciers ?

Un glacier est une masse de glace mobile due à l'accumulation de neige. Les glaciers, s'ils sont très développés pendant les glaciations, existent aussi pendant les périodes interglaciaires plus chaudes.

Les glaciers évoluent lentement mais de façon visible sur une durée relativement courte. De ces mouvements naîtra une théorie plus globale permettant de faire le lien entre glacier et glaciation. Il faudra plus d'un siècle pour que l'ensemble soit corrélé à des variations climatiques (pour plus d'information, voir l'encadré historique).

Histoire d'une théorie sur les glaciations.

Les glaciers, objets d'appréhension

Les mouvements des glaciers furent des sujets d'appréhension avant d'être des sujets d'études. Entre 1420 et 1830, une période plus froide est relevée. Les glaciers avancent sur les alpages détruisant fermes et cultures. À Chamonix, en juin 1644, les glaciers progressent jusqu'au fond de la vallée. La glace n'avance pas seule, l'eau parfois accumulée dans des poches et brutalement libérée occasionne des débâcles détruisant tout sur leur passage.

La catastrophe du Val de Bagnes

En 1818, une catastrophe imminente menace les habitants du Val de Bagnes dans le Valais (Suisse). Le glacier du Giétro dans son inexorable descente bloque le passage d'une importante rivière. Un énorme lac se forme en amont du barrage naturel. Ignace

Venetz, l'ingénieur du canton du Valais est appelé sur les lieux. En urgence, il fait creuser un tunnel pour tenter de vidanger l'eau accumulée. Alors que l'opération semble réussir, le niveau d'eau commençant même sensiblement à descendre, le verrou lâche. Le 16 juin 1818, le lac se déversa en une demi-heure dans le Val de Bagnes, en détruisant des centaines de maisons et faisant 44 morts.

Début d'une étude des glaciers

Ignace Venetz, fortement marqué par ces événements, poursuit ses observations sur les glaciers. Il rencontre Jean-Pierre Perraudin, un paysan qui est l'un des premiers à émettre l'hypothèse de gros blocs transportés par les glaciers et déposés très loin dans les vallées. Cette notion de bloc erratique était commune chez les montagnards mais considérée comme très saugrenue par le milieu savant. Jean de Charpentier, alors directeur des salines de Bex dans le canton de Vaud en Suisse ne fera pas exception. C'est avec un grand scepticisme qu'il écoute Perraudin.

La théorie d'Ignace Venetz

Ignace Venetz progresse dans son étude des glaciers. Il parcourt en tous sens le plateau suisse jusqu'au Jura. Il découvre alors des traces d'anciennes moraines et des blocs de roche qui ne ressemblent pas à celle en place. Comment expliquer ces ensembles de pierres disparates poussés par les glaciers loin des montagnes ? En 1829, il expose lors d'une réunion de la Société helvétique des Sciences Naturelles, une théorie selon laquelle les glaciers alpins sont descendus jusqu'au Jura. Il sera écouté avec beaucoup de réserve. Mais il parviendra à convaincre Jean de Charpentier qui lui-même trouvera en Louis Agassiz un défenseur de poids. La théorie glaciaire s'affirmera finalement entre 1840 et 1841.

D'une glaciation à des périodes glaciaires et interglaciaires.

Après des années de controverses, les géographes du début du XXème siècle, en particulier Albrecht Penck et Eduard Brückner décrivent des périodes glaciaires découpées en quatre phases importantes : Günz, Mindel, Riss et Würm d'après des affluents du Danube. Aujourd'hui, les analyses des carottes prélevées dans les sédiments des océans ou dans les glaces polaires permettent de mettre en évidence des cycles beaucoup plus nombreux soit environ 25 épisodes glaciaires et interglaciaires. Entre - 2 et - 1 millions d'années, la périodicité d'un cycle à l'autre est de 40 000 ans. Il y a 800 000 ans, la période s'allonge de 40 000 à 100 000 ans.

Quels refuges pour les plantes pendant les glaciations ?

Les glaciations ont favorisé l'apparition de nouvelles espèces de plantes, en isolant des groupes et en modifiant les conditions climatiques. Les plantes alpines des montagnes ont-elles alors disparu, recouvertes de glace ? La réponse n'est pas aussi simple.

Les plantes ont pu connaître deux destins :

La « fuite » vers le sud et vers les basses altitudes !

Avec l'arrivée des glaciations, les plantes alpines ont majoritairement migré vers des régions plus clémentes : des altitudes plus basses et des montagnes plus méridionales. Cela a été montré chez des espèces communes pouvant migrer facilement, grâce à l'étude des populations actuelles et de leur lien génétique.

Ceci explique que l'on trouve parfois aujourd'hui des espèces de zones froides dans des zones tempérées (comme la Cardinale de Dortmann, *Lobelia dortmanna*, présente ponctuellement en Aquitaine et en Bretagne alors qu'elle est beaucoup plus présente dans les pays scandinaves). On les dit « reliques de l'âge glaciaire ».

Des refuges de vie au milieu des glaces !

Les espèces ayant des cycles de vie très longs, tel les plantes en coussins, n'ont pas cette même capacité à migrer. Un autre scénario possible a émergé : ces espèces seraient restées sur place, sur des parois rocheuses situées sur les faces sud, au sein ou au-dessus de glaciers. Ce sont en effet ces faces qui reçoivent le plus de rayonnement solaire (autant qu'en zone intertropicale !) ce qui les rend propices à la vie. Cette hypothèse avait semble-t-il été envisagée par une botaniste suisse, Marie Brockmann-Jerosch (1877-1952).

Le paysage devait être similaire à celui des zones arctiques d'aujourd'hui, où des pitons rocheux appelés *nunataks* (montagne en langue inuit) émergent des glaces.

Mais cette hypothèse de refuge, dite des nunataks, est liée aux deux questions suivantes :

Des nunataks étaient-ils émergés pendant les dernières grandes glaciations dans les Alpes ?

Des géologues du laboratoire ISTERRE de Grenoble ont pu apporter la preuve que des sommets étaient restés émergés au-dessus de cette « mer de glace » durant ces grandes glaciations. Les rayonnements cosmiques produisent des éléments appelés nucléides cosmogéniques au niveau des roches exposées au soleil. Ceci ne se produit donc pas quand la glace recouvre les roches. En analysant des échantillons, on peut donc déterminer si les roches ont été ou non recouvertes par les glaces, et durant combien de temps. Ceci s'ajoute à l'observation des massifs portant les marques d'érosion et les dépôts de moraines laissés par les glaciers lors de leurs niveaux glaciaires.

Les plantes alpines y ont-elles vraiment trouvé refuge ?

Des études génétiques pour aider à répondre à cette question

Les fossiles de plantes étant rares dans les Alpes, les chercheurs tentent de retracer l'histoire de ces plantes en étudiant comment les populations actuelles sont structurées sur le plan génétique.

Après le retrait des glaciers, des milieux ont pu être à nouveau colonisés par des plantes provenant :

- soit des espèces réfugiées plus au sud ou dans les vallées (colonisation vers les altitudes élevées) ;
- soit des espèces réfugiées sur les nunataks (colonisation depuis les hauts sommets).

Lorsque quelques individus d'une population initiale colonisent un milieu, via l'arrivée de graines en particulier, cela aboutit à un effet fondateur. Ceci tend à réduire la diversité génétique de cette population colonisatrice par rapport à la population initiale.

Des premiers résultats à l'appui de l'hypothèse des nunataks

En 2002, des chercheurs ont montré que les populations d'Eritriche nain (*Eritrichium nanum*) étaient génétiquement plus riches au centre des Alpes qu'en périphérie, ce qui suggère une recolonisation des Alpes depuis les hauts sommets des Alpes internes. Des résultats similaires ont été obtenus pour *Senecio halleri*. Dans ces exemples, la colonisation viendrait donc des sommets, ce qui va dans le sens de l'hypothèse des nunataks.

De même, l'importante diversification des *Androsace* sur les sommets montagneux suggère que ces espèces seraient restées sur des zones émergées pendant les glaciations.

Des recherches se poursuivent à Grenoble

Afin de pouvoir valider de manière plus directe et plus localisée cette hypothèse des nunataks, les chercheurs du laboratoire d'écologie alpine de Grenoble (LECA) ont entrepris d'étudier plus localement la structure génétique de dix espèces, en explorant les plus hauts sommets. L'objectif est de mettre en évidence une diversité génétique décroissante des hauts sommets vers les altitudes plus basses.

Des recherches scientifiques, dans quels buts?

La recherche scientifique en général peut avoir schématiquement deux types d'objectifs :

Acquérir des connaissances fondamentales

Cette recherche dite « fondamentale » a pour but d'améliorer la compréhension du monde qui nous entoure et des mécanismes qui le régissent, sans chercher a priori des applications concrètes à ces recherches. Ce peut être aussi le moment où l'on décrit les choses de la nature, où on les nomme et les classe, par exemple la flore alpine.

C'est le cas des projets de recherche « PhyloAlps » et « Écologie verticale » qui visent à étudier les plantes alpines.

Tendre vers une application pratique

Cette recherche dite « appliquée » est mise en oeuvre afin d'atteindre un objectif précis à court ou moyen terme. Par exemple, suite à l'étude des plantes alpines, on pourrait chercher à isoler un composé anti-UV très puissant utile pour les personnes allergiques au soleil.

Les recherches fondamentales sont le socle de connaissances sur lesquelles s'appuient les recherches appliquées. En retour, les recherches appliquées peuvent conduire à des découvertes ou des questionnements qui auront pour effet d'augmenter notre connaissance globale du monde.

Ces deux types de recherches sont donc complémentaires et peuvent d'ailleurs être totalement imbriquées l'une dans l'autre.

Elles constituent au fil du temps un héritage que nous transmettons de génération en génération depuis le début de notre Histoire. C'est un patrimoine en permanente construction, qui s'édifie sur les connaissances déjà acquises.

À défaut d'être indispensables, toutes les recherches, comme celles menées sur les plantes alpines, ont leur utilité.

La curiosité « a sa propre raison d'exister » pour citer Albert Einstein, notamment vis-à-vis de notre environnement, des espèces végétales qui nous entourent.

Nos interrogations nous élèvent et nous conduisent à partager.

Et parfois, les réponses à nos interrogations et notre envie de comprendre nous conduisent à des avancées « concrètes » dans notre monde moderne.

Une démarche scientifique en 5 étapes : le programme « Écologie verticale »

Le massif des Écrins est un des lieux riches en plantes d'altitude que des scientifiques du Laboratoire d'Écologie Alpine et du Parc national des Écrins étudient dans le cadre du programme « écologie verticale ».

Examinons les différentes étapes de cette étude pour illustrer ce que peut être une démarche scientifique.

étape 1

État initial des connaissances

Il est admis que certaines espèces sont restées sur des parois rocheuses lors des glaciations, alors que d'autres espèces ont trouvé refuge dans des zones de plus basse altitude ou plus tempérées. Des articles scientifiques apportent des éléments sur l'existence possible des « *nunataks* » et sur la survie de plantes sur ces sites pendant les glaciations. Une démarche visant à prouver cela formellement reste à mener.

étape 2

Hypothèse et méthode

On considère huit espèces de plantes de haute montagne et on cherche à déterminer si certaines de ces espèces ont passé la dernière période glaciaire dans des zones émergées des glaces (*nunataks*). L'hypothèse est que les populations du bas des massifs seraient issues des populations restées en haut des sommets pendant les glaciations.

Or le mécanisme de la dérive génétique conduit à un appauvrissement génétique au sein des populations isolées au fil des générations.

Il s'agit donc de mettre en évidence un éventuel gradient de diversité génétique décroissant du sommet vers la base pour chaque espèce. La génétique sera utilisée pour reconstruire l'histoire généalogique de ces différentes populations, et ainsi déterminer les chemins de recolonisation les plus vraisemblables.

étape 3

Collecte de terrain

L'étude s'est concentrée sur les sites *a priori* les plus favorables : sommets proéminents et parois orientées au sud. Les prospections ont été réalisées à partir de 2 650 m jusqu'à 4 102 m (étages alpin et nival).

Des relevés botaniques ont été effectués sur l'ensemble des embryophytes (plantes terrestres), pour mieux connaître les types de végétaux présents.

Pour les espèces concernées, des échantillons de plantes ont été récoltés.

étape 4

Analyses génétiques

Des analyses ont porté sur une partie de l'ADN des spécimens échantillonnés qui donne une « empreinte génétique » de chaque individu. La comparaison des « empreintes » des individus à différentes altitudes permet de comparer la diversité génétique des populations aux différentes altitudes

étape 5

Interprétation et discussion des résultats, conclusion, publication et perspectives

Les premiers résultats de l'étude ont été publiés dans le bulletin de la société linnéenne de Provence sous le titre « *Plantes de haute montagne : état des lieux, évolution et analyse diachronique dans le massif des Écrins (France)* » et plus récemment dans le journal international Journal of Biogeography sous le titre : « *Riders in the sky (islands): using a mega-phylogenetic approach to understand plant species distribution and coexistence at the altitudinal limits of angiosperm plant life* ».

74 trachéophytes ont été notées sur les différents lieux prospectés. Les plantes en coussin apparaissent plus fréquentes que les autres. Les deux tiers de ces plantes sont des saxifrages et des androsaces.

D'autres végétaux sont particulièrement présents comme *Leucanthemopsis alpina* et *Poa laxa*. Des mousses ont été inventoriées de manière non exhaustive.

Cette étude dresse donc déjà un état des lieux pour mesurer à long terme les impacts des changements climatiques et pour prendre en compte la conservation des milieux naturels à forte diversité génétique. En revanche, l'hypothèse des *nunataks* ne peut être actuellement démontrée, les analyses génétiques étant toujours en cours.

PhyloAlps, une banque génétique à l'échelle de l'arc alpin

L'objectif de ce programme, de 2008 à 2016, a été d'échantillonner systématiquement toutes les espèces de végétaux vasculaires des Alpes européennes. L'ADN contenu dans ces échantillons peut alors être séquencé au sein du prestigieux Centre National de Séquençage, ou Génoscope à Évry.

Ces données génétiques serviront ensuite à :

- déduire les relations phylogénétiques, c'est-à-dire les liens de parenté, entre toutes les espèces de la flore alpine et ainsi comprendre comment elles ont évolué et se sont diversifiées ;
- développer une banque de séquences d'ADN des espèces végétales de la zone d'étude, utile pour l'évaluation standardisée et le suivi de la biodiversité végétale.

Ce projet du Laboratoire d'Écologie Alpine (LECA) de l'Université Grenoble Alpes implique non seulement des partenaires français (Parcs nationaux alpins,

Conservatoires botaniques nationaux alpin et méditerranéen) mais aussi des partenaires étrangers pour étendre l'échantillonnage à l'ensemble de l'arc alpin. Grâce aux prélèvements effectués, un herbier de référence est en cours de réalisation par le Laboratoire d'Écologie Alpine et la Station Alpine Joseph Fourier.

Que nous révèlent les plantes de haute montagne ?

La flore si particulière des montagnes fascine depuis longtemps les botanistes, les curieux de la nature comme les simples promeneurs.

L'étude des plantes alpines, y compris celles vivant aux plus hautes altitudes, met en relief les subtils mécanismes développés par les êtres vivants existant sur notre planète.

Plus précisément, nous avons vu que l'étude des plantes de haute montagne permet d'améliorer les connaissances concernant :

La flore présente dans ces milieux

Les inventaires botaniques détaillés dans les zones de haute montagne permettent de mieux connaître les espèces présentes, leur répartition et leurs exigences.

Les mécanismes d'adaptation des plantes aux climats extrêmes

La morphologie en coussin,

Les pigments et poils protecteurs face aux rayons ultra-violets,

Des substances antigels.

Les zones favorables à l'apparition de nouvelles espèces, et donc à l'apparition d'une forte biodiversité

L'apparition de nouvelles espèces a eu lieu aussi dans les reliefs comme le massif alpin, stimulée par les glaciations successives et la surrection de montagnes.

Les interactions entre espèces

En haute montagne, les plantes, notamment celles en coussins, semblent jouer un rôle positif pour la vie d'autres espèces végétales, mais aussi animales.

Les fluctuations et les migrations des espèces pendant les périodes de changement climatiques passés (glaciations)

Les caractéristiques génétiques des plantes actuelles nous permettent de mieux comprendre la réponse des populations végétales aux variations anciennes du climat.

L'état des lieux actuel de la flore en haute montagne

Il constitue un témoin de départ pour mesurer les impacts à long terme des changements climatiques actuels sur les milieux de haute montagne et les espèces qui les occupent.

La mise en évidence de hauts lieux de diversité génétique intra-spécifique

Les adaptations génétiques locales et la recolonisation après la dernière glaciation par des espèces restées sur les « nunataks » ont engendré des populations particulièrement diversifiées. Ces lieux représentent donc des réservoirs de diversité génétique, à fort potentiel pour les mécanismes évolutifs futurs.

Des recherches phytopharmaceutiques

Une équipe de recherche de chimie médicinale de l'Université de Grenoble Alpes Métropole développe une nouvelle thématique de recherche axée autour de l'étude phytochimique (chimie mise en oeuvre par les végétaux) des plantes alpines potentiellement sources de nouvelles molécules pouvant trouver des applications diverses, notamment en cosmétique. Dans ce cadre, des collaborations ont été établies avec des laboratoires régionaux forts d'une expertise dans le domaine de la botanique (LECA – Laboratoire d'Écologie Alpine et Station Alpine Joseph Fourier).

D'autres « îles » et des espèces à préserver

Les îles océaniques et les hauts sommets ne sont pas les seuls milieux isolés. Il en existe en fait plusieurs sortes. Ces différents isolats abritent des espèces adaptées aux conditions spécifiques de leur lieu de vie. Ces espèces n'existent qu'à cet endroit : elles sont dites endémiques d'un lieu géographique ou d'un milieu naturel. La conservation de ces espèces est particulièrement importante pour la préservation de la diversité biologique de notre planète.

Quels sont ces milieux isolés ?

Différents types de milieux naturels isolés, menacés ou non, ont permis à des espèces d'évoluer de manière indépendante par exemple :

Les îles continentales, comme Madagascar, la Corse et la Sardaigne séparées de leur continent d'origine, avec leurs populations devenues isolées ;

Les îles océaniques, comme Hawaï et La Réunion, généralement créées par des volcans en plein océan, colonisées par des espèces arrivées par hasard ;

Les îles d'habitats terrestres tels que :

- les « sky islands » désignant souvent des hauts sommets isolés,
- les *tepuis* en Guyane, des montagnes dont le plateau au sommet est isolé de la forêt en contrebas par des hautes parois abruptes,
- les *inselberg* (île rocheuse en allemand, terme créé en 1898), formant des collines sèches au milieu de forêts tropicales par exemple ;

Les grottes souterraines et la faune troglobie associée, ne pouvant survivre ailleurs que dans des grottes. Ces animaux sont issus d'ancêtres vivant en surface que les phénomènes d'adaptation ont conduits à pouvoir survivre dans les milieux cavernicoles ;

Les monts hydrothermaux océaniques ou fumeurs noirs. Découverts dans les années 1970, ces milieux, dont le fonctionnement est encore mal connu, abritent des espèces hautement spécialisées, comme des vers géants ;

Des lacs, comme le Lac Titicaca entre le Pérou et la Bolivie ou le Lac Baïkal, au sud de la Sibérie.

La préservation de la biodiversité globale de notre planète, garant des futures possibilités d'évolution et d'adaptation des êtres vivants, passe aussi par la préservation de ces espèces endémiques et de leurs milieux.

Endémisme et diversité des espèces

Les endémiques peuvent être des paléo-endémiques, reliques de lignées anciennes ayant disparu partout ailleurs. Par exemple, en Nouvelle-Calédonie, *Amborella trichopoda* est la seule survivante d'une lignée ancienne qui était la première à s'être différenciée au cours de l'évolution des plantes à fleurs.

Les endémiques peuvent aussi être issues d'événements de spéciation récents, liés à l'isolat et ses conditions de vie. Elles sont dites néo-endémiques. Les îles présentent ainsi souvent un fort taux d'endémisme. Par exemple, les $\frac{3}{4}$ des plantes vasculaires de Nouvelle-Calédonie sont endémiques.

À l'échelle de l'arc alpin, on trouve aussi ce type de plantes endémiques, comme *Androsace alpina* (L.) Lam., ou *Berardia lanuginosa* (Lam) Fiori, endémique du sud-ouest des Alpes.

Dans ces milieux isolés, les espèces non endémiques peuvent posséder néanmoins des caractéristiques génétiques bien particulières.

Des lieux essentiels pour la biodiversité à l'échelle de la planète

Les grandes zones d'endémisme font partie des hauts-lieux de biodiversité. Mais les espèces concernées sont fragiles.

Leur haute spécialisation, leur diversité génétique restreinte du fait de la dérive génétique, les rendent moins aptes à évoluer face à des changements brusques de leur environnement. Lorsque ces milieux naturels sont dégradés, ce sont de nombreuses espèces, souvent liées les unes aux autres, qui risquent de disparaître définitivement.

Certains de ces isolats, en raison de leur nombre réduit d'espèces et de leur fonctionnement simplifié, sont de formidables modèles pour étudier non seulement l'évolution passée des espèces, mais aussi leur évolution potentielle face aux modifications de leur milieu (espèces invasives, réchauffement climatique...).

L'archipel Juan Fernandez au large du Chili

Étudié depuis 1997 par Philippe Danton et Christophe Perrier, l'archipel chilien de Juan Fernandez, dont fait partie l'île Robinson Crusoe, dans le pacifique Sud, abrite de nombreuses espèces endémiques illustrant les phénomènes liés aux milieux isolés. La forêt indigène de cet archipel, la *myrtisylve fernandézienne*, est composée à 100 % d'arbres qui n'existent qu'à cet endroit de la planète. Le genre endémique *Robinsonia*, de la famille des Astéracées, y est composé de huit espèces qui seraient issues d'une espèce du genre *Senecio* arrivée depuis le continent.

2

Pour ces îles de 100 km au total, on dénombre actuellement pour les plantes vasculaires :

- 743 taxons dont 198 indigènes (et parmi eux 132 endémiques),
- 545 espèces introduites,
- 2 familles endémiques (Lactoridacées et Thyrsopteridacées) sur 132 présentes,
- 10 genres endémiques sur 447.

Tout cela fait de l'archipel Juan Fernandez un des tout premiers points chauds de biodiversité de la planète.

Mais de nos jours, l'isolement des îles de l'archipel est rompu.

Des espèces et milieux naturels uniques au monde sont menacés par l'arrivée d'espèces colonisatrices très performantes, importées volontairement ou non par l'Homme, qui vont fortement concurrencer les espèces indigènes.

Contributions et remerciements

L'exposition **Sur les îles du ciel. Et si Darwin avait été alpiniste ?**, initiée par Catherine Gauthier, (Directrice du Muséum) a été réalisée sous la direction de Joëlle Chiche (Responsable de l'Unité Scientifique au Muséum de Grenoble) et Matthieu Lefebvre (Chargé des collections botaniques au Muséum de Grenoble), en partenariat avec l'Université Grenoble Alpes et le Centre National de la recherche Scientifique par l'intermédiaire du Laboratoire d'Écologie Alpine (LECA / UGA /CNRS / USMB), le Parc national des Écrins ainsi qu'avec la Station alpine Joseph Fourier (SAJF-CNRS / UGA).

Nous remercions...

Commissariat général et appuis scientifiques

Sébastien Lavergne, chargé de recherche au Laboratoire d'Écologie Alpine, CNRS - Université Grenoble Alpes

Cédric Dentant, botaniste au Parc national des Écrins

Joëlle Chiche, responsable de l'unité scientifique du Muséum de Grenoble

Matthieu Lefebvre, chargé des collections botaniques du Muséum de Grenoble

Scénographie

Magali Seux, Héloïse Thizy-Fayolle et Julia Marcoux - Inclusit Design

Graphisme

Costanza Matteucci

Réalisation des Décors

Alex Cobas ; Mathieu Gonzalez et Jean-Luc Guillot - Muséum de Grenoble

Maquette « période glaciaire »

Sylvain Coutterand, docteur en géographie alpine, glaciologie et géologie,

Membre associé du Laboratoire Edytem, CNRS – Université de Savoie

Collections

Jean-Marc Barféty ; Musée Chasal Lento de Mont-de-Lans ; Musée Dauphinois ; Musée Mémoires d'Alpinismes de Saint-Christophe-en-Oisans ; Musée d'histoire des sciences de la Ville de Genève ; Muséum de Grenoble ; Station alpine Joseph Fourier ; Transports Ziegler France

Iconographie

Fabien Anthelme - IRD ; Conservatoire Botanique National Alpin ;

Sylvain Coutterand ; Philippe Danton ; Romain Delunel ; Cédric Dentant ; eFlore Telabotanica ; Fonds Guillemain des Archives départementales des Hautes-Alpes ;

Gentiana - Société botanique dauphinoise Dominique Villars ; Laboratoire d'Écologie Alpine de l'Université Grenoble Alpes ; Jean-Louis Latil ; Sébastien Lavergne ;

Abdou Martin ; photographe professionnel; Photothèque du Parc national des Écrins ; Station alpine Joseph Fourier ; Travaux de Serge Aubert ; Thibaud Syre ; OSUG ; Les Amis du Muséum de Grenoble

Administration-juridique

Catherine Gauthier, Christine Peuple, Juliette Nahum, Sylvie Drost, Pascal Huissoud - Muséum de Grenoble ; Pascale Natalini - CNRS

Séquences vidéo

Pascal Decorps - Muséum de Grenoble ; Extraits du documentaire « Sur les îles

du ciel » réalisé par Olivier Alexandre et produit par Nomade Productions ; Intracom ; Costanza Matteucci avec Sylvain Reymondon ; Xylen production

Communication – web

Sandrine de Chastellier - Parc national des Écrins ; Pascale Natalini – CNRS Délégation Alpes ; Marion Papanian – OSUG, Université Grenoble Alpes ;
Elodie Weber et Marion Sabourdy - La Casemate ; Floriane Chappaz ; Alexandre Foray ;
Charline Collet-Beillon ; Pascal Servet ; Carole Gaillard - Ville de Grenoble ; Aurélie Benhamou, Annabelle Valet, Ophélie Valour, Anaïs Chion, Benjamin Crettenand et Laurence Tortosa - Muséum de Grenoble

Remerciements

Le Muséum remercie tout particulièrement pour leur participation à ce projet :
Les Amis du Muséum ; Olivier Alexandre, Claude Andrieux ; Fabien Anthelme - IRD ;
Jean-Marc Barféty ; Pierre Bagnaud, Aurélie Benhamou, Rebecca Bilon, Marion Bourdat,
Sylvie Caltagirone, Philippe Candegabe, Martine Chabert, Floriane Chappaz, Anaïs Chion,
Graziella Cicerello, Charline Collet-Beillon, Jean-Marc Coquelet, Benjamin Crettenand,
Pascal Decorps, Claudie Durand, Odile Favier, Mathieu Gonzalez, Caroline Goolaerts,
Jean-Luc Guillot, Foued Hassine , Ghislaine Jacquinet, Matthieu Lefebvre, Tarek Mandhouj,
Olivier Marreau, Mohamed Moktar, Marc Mounier, Juliette Nahum, Mickaël Papagno,
Andrea Parez, Jérôme Petitprêtre, Annabelle Valet et Ophélie Valour, Christine Peuple,
Fabrice Rezelman, Alain Roca et Laurence Tortosa - Muséum de Grenoble ; Claire Calvet ;
Julien Carcaillet - Institut des Sciences de la Terre ; Sandrine de Chastellier,
Pascal Saulay, Hélène Belmonte et tous les photographes et personnels cités au sein de
l'exposition - Parc national des Écrins ; Alex Cobas ; Olivier Cogne, Marie-Andrée
Chambon et Antoine Musy - Musée dauphinois ; Stéphanie Combet ; Simone Corneloup,
Ziegler France ; Sylvain Coutterand ; Philippe Danton ; Romain Delunel, Institut de
Géologie de l'Université de Berne ; Cédric Dentant ; Pascale Natalini - CNRS ; Rolland
Douzet et Maxime Rome - Station alpine Joseph Fourier ; Stéphane Fischer - Musée
d'histoire des sciences de la Ville de Genève ; Alexandre Foray ; Sylvie Drost, Carole
Gaillard, Pascal Huissoud et Isabelle Fralonardo - Ville de Grenoble ; Jean-Michel Genis -
Conservatoire Botanique National Alpin ; Patrick Holleville et Véronique Turc -
Commune de Saint-Christophe-en-Oisans ; Clara Morel ; Pascale Natalini - CNRS
Délégation Alpes ; Sébastien Ibanez - Laboratoire d'Écologie Alpine ; Jean-Louis Latil ;
Sébastien Lavergne ; Danièle et Dominique Lefebvre ; Abdou Martin ; Costanza Matteucci
; Marion Papanian – OSUG, Université Grenoble Alpes ; Stéphane Sauvebois et Sonia
Rouard - Commune de Mont-de-Lans ; le service reprographie - Service commun Ville de
Grenoble et Métro ; Pascal Servet ; Christel Romera - Archives départementales des
Hautes-Alpes ; Magali Seux, Héloïse Thizy-Fayolle et Julia Marcoux - Inclusit Design ;
Thibaud Syre.

Avec une pensée pour Serge Aubert, ses travaux et sa passion des plantes alpines.

Parcours parallèle

Ces petits panneaux ronds et jaunes dans l'exposition permettent de donner à chacun une explication succincte de certaines notions abordées.

Une île sur une montagne ?

Une île est une étendue de terre entourée d'eau. Ce mot peut aussi servir à décrire un milieu naturel où les êtres vivants se trouvent isolés, comme le sommet d'une haute montagne, seul dans le ciel.

Vous habitez à quel étage ?

Les plantes alpines sont des plantes qui vivent en haute montagne, là où la forêt ne pousse plus : l'étage alpin. On peut les trouver dans d'autres montagnes que les Alpes.

Les plantes ne poussant que dans les montagnes sont appelées orophytes.

Mais qu'est-ce que c'est ?

La botanique est la science qui étudie les plantes, pour les décrire et leur donner un nom, connaître leur fonctionnement, leurs lieux de vie, leurs maladies...

Oui c'est souvent vert, mais encore ?

Une plante est un être vivant se développant à partir de sels minéraux, de molécules simples et de gaz carbonique, grâce à l'action des rayons du soleil. Elle est faite de petites cellules rendues rigides par la cellulose. Ses mouvements sont limités.

C'est quoi un habitat naturel ?

C'est un espace dans la nature, avec des conditions de climat, de sol, de relief bien précises, dans lequel vivent des êtres vivants caractéristiques. Les différentes sortes d'habitats sont souvent définies par la végétation. Ex : forêts de mélèzes, tourbières à sphaignes, prairies sèches à orchidées...

Trouve-t-on les mêmes plantes partout ?

Comme les animaux, certaines plantes peuvent vivre dans des endroits très différents. D'autres ne peuvent vivre qu'en prairie de montagne, ou en bord de rivière. Et on ne trouve pas les mêmes espèces sur des dunes de bord de mer que dans les éboulis en haut d'une montagne.

Essayez un peu, pour voir....

Le défi des plantes est extraordinaire : pouvoir grandir, se nourrir, se protéger, se reproduire et envoyer ses « enfants » vers d'autres endroits.... tout en restant fixées au sol.

La dure vie en montagne.

En montagne, il fait plus froid et les rayons du soleil sont plus agressifs car la couche d'air qui nous protège est moins épaisse. Il y a de la neige longtemps, souvent du vent et peu d'eau en été dans le sol. Pas facile pour les plantes....

Quand on a froid, on se met en boule....

Même si elles ne sont pas de la même famille, de nombreuses espèces de plantes, poussant dans des montagnes tout autour du monde, ont adopté la même forme pour se protéger du froid : le coussin.

Les refuges en montagnes.

Les plantes en coussins sont aussi de vrais refuges pour d'autres espèces, comme certains insectes. Ils y trouvent de la nourriture et des températures un peu moins difficiles pour survivre.

Range ta chambre !

L'étude des végétaux, c'est comme le rangement d'une chambre : pour s'y retrouver, il faut mettre les choses qui se ressemblent ensemble, et faire des groupes de plus en plus petits. Les grands groupes de plantes terrestres (ou embryophytes) sont : les mousses (ou bryophytes), les fougères (ou filicophytes), les conifères (ou pinophytes), les plantes à fleurs (ou angiospermes).

Esprit de famille.

Les familles de plantes regroupent des espèces de plantes ayant un ancêtre commun et qui présentent certains caractères similaires. Les noms de famille des plantes se terminent par -acées, comme les Brassicacées (famille du Choux, *Brassica* en latin).

Le nom des plantes.

Le nom scientifique est en latin et en italique. C'est un binôme composé de :

- un nom de genre
- un adjectif qui précise l'espèce
- l'abrégié du nom de l'auteur du binôme.

Nom scientifique : *Bellis perennis* L.

Nom français : Pâquerette

Pourquoi un nom scientifique ?

Des noms communs (vernaculaires) qui se ressemblent peuvent désigner des plantes très différentes (comme le Laurier) et existent dans beaucoup de langues. Le nom scientifique est unique pour chaque espèce ce qui permet de ne pas se tromper.

Pourquoi s'intéresser à la botanique ?

La botanique permet à chacun de connaître son environnement, participer à sa protection, cuisiner des plantes sans s'empoisonner, s'émerveiller en observant les « inventions » de l'évolution des plantes, devenir plus observateur. Et alors, pas moyen de s'ennuyer : il y a toujours une plante quelque part !

Un herbier à quoi ça sert ?

Un herbier est une collection de plantes séchées, qui a de multiples intérêts. Pour les débutants par exemple, un herbier d'espèces non rares et non protégées permet de « réviser » les plantes et les comparer lorsqu'elles se ressemblent.

C'est quoi l'évolution des espèces?

Pour une espèce donnée, les populations peuvent changer au fil des générations (des caractères deviennent majoritaires, d'autres disparaissent). Ainsi, l'espèce se modifie jusqu'à éventuellement donner une nouvelle espèce. Cette évolution peut être due à un changement de l'environnement.

Et la sélection naturelle ?

Comme dans une famille, une espèce est constituée de membres à la fois tous semblables et tous un peu différents. Ceux ayant les caractéristiques les plus adaptées au milieu environnant auront plus de chance de survivre et de se reproduire. Au fil des générations, il y aura donc de plus en plus d'individus avec ces caractères. C'est ce qu'on appelle la sélection naturelle.

Gla-Glaciation.

Une glaciation est une période froide de l'histoire de la Terre pendant laquelle une part importante des continents est occupée par la glace, avec des glaciers de très grande étendue (*inlandsis* dépassant les 50 000 km²).

Et les plantes, elles ont gelé ?

Pendant les glaciations, certaines plantes ont trouvé refuge sur de hauts sommets sans glaciers. D'autres sont « descendues » plus au sud. Quand le climat s'est

réchauffé, ces plantes sont petit à petit revenues dans les montagnes, chacune à l'étage lui convenant.

Mais pourquoi étudie-t-on ces plantes ?

Des scientifiques étudient ces plantes de haute montagne pour comprendre comment elles sont apparues, comment elles peuvent survivre malgré le froid et pour savoir si elles sont rares. Des nouveaux produits ou médicaments pourraient aussi être découverts dans ces plantes.

Endémique.

Les espèces endémiques sont des êtres vivants, comme des animaux, des plantes, des champignons, des bactéries, qu'on ne trouve que dans un lieu plus ou moins grand de la planète ou uniquement dans un type de milieu naturel.

Pourquoi protéger notre environnement ?

Les activités humaines menacent nombre de milieux naturels et d'espèces. Or, cette diversité d'habitats et d'espèces permet aux êtres vivants d'évoluer, de s'adapter aux changements... et fournit à l'Homme les ressources dont il a besoin. Il est donc important de protéger les espèces et leurs milieux à côté de chez soi comme sur toute la planète.

Dites «ouistiti » !

Pour prendre en photo une plante afin d'essayer de la reconnaître ensuite, il vaut mieux la prendre d'abord en entier puis prendre différentes parties de la plante en détail ou varier les angles (du dessus, du dessous).

La phylo-quoi ?

La phylogénie est l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, en particulier grâce à la génétique, ce qui permet de retracer l'évolution des espèces. Deux espèces de plantes ayant un ancêtre proche en commun auront plus de ressemblances génétiques que deux espèces très éloignées du point de vue de l'évolution.

Liste de publications consultées

lors de la préparation des textes de l'exposition temporaire

« Sur les îles du ciel... et si Darwin avait été alpiniste ».

- Aeschimann D., Burdet H. (1989) Flore de Suisse et des territoires limitrophes : lenouveau Binz. Editions du Griffon.
- Alatalo and Little (2014) Simulated global change: contrasting short and medium term growth and reproductive responses of a common alpine/Arctic cushion plant to experimental warming and nutrient enhancement. SpringerPlus 2014, 3:157
- Aubert & Al. (2006) Conquérir l'espace Les stratégies de reproduction des plantes alpines en haute altitude. Hommes et Plantes, n°57, Printemps 2006.
- Aubert & Al. (2014) 1914–2014: A revised worldwide catalogue of cushion plants 100 years after Hauri and Schröter. Alp Botany (2014) 124:59–70
- Aubert S. (2012). Les adaptations des plantes alpines à la vie en milieu extrême. Conférence à Montréal (Quebec).
- Aubert S. & Al. (2007) Les plantes alpines : une vie en milieu extrême. Plaquette synthétique de présentation. Station Alpine du Lautaret, Université Joseph Fourier Grenoble.
- S. Aubert, R. Bligny, Ph. Choler, R. Douzet (2003) « Les plantes alpines, une vie en milieu extrême » *In* La Montagne & Alpinisme, la revue de la fédération des clubs alpins français et du groupe de haute montagne N° 2/2003
- Ball, J. (1879) On the Origin of the Flora of the European Alps. Proceedings of the Royal Geographical Society and Monthly Record of Geography, New Monthly Series, Vol. 1, No. 9 (Sep., 1879), pp. 564-589
- Bergstrom & Al. (2015) : Rapid collapse of a sub-Antarctic alpine ecosystem : the role of climate and pathogens. Journal of Applied Ecology 2015, 52, 774–783.
- Bettin, O. & Al. (2007) Phylogeography of the high alpine plant *Senecio halleri* (Asteraceae) in the European Alps: in situ glacial survival with postglacial stepwise dispersal into peripheral areas. Molecular Ecology (2007) 16, 2517–2524.
- Bonet, R. & Al. (2016) Indicators of climate: Ecrins National Park participates in long-term monitoring to help determine the effects of climate change. eco.mont - Volume 8, Number 1, January 2016.
- Boucher, F. & Al. (2011) reconstructing the origins of high alpine niches and cushion lifeform in the genus *Androsace* s.l. (Primulaceae). Evolution 66-4: 1255–1268
- Boucher, F. & Al. (2015) Allopatric speciation with little Niche Divergence is common among Alpine Primulaceae. Journal of Biogeography (J. Biogeogr.) (2015)
- Boucher, F. & Al. (2016) Evolution and biogeography of the cushion life form in angiosperms. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 20 (2016) 22–31.
- Butterfield, B.J. & Al. (2013) Alpine cushion plants inhibit the loss of phylogenetic diversity in severe environments. Ecology Letters, (2013) 16: 478–486
- Cadel G., Gilot J.Cl. (1964) *Eléments de Biologie Végétale Alpine à l'usage des stagiaires de la Station Alpine du Lautaret.* Université de Grenoble - Faculté des Sciences.
- Callaway, R.G. & Al. (2002) Positive interactions among alpine plants increase with stress. Nature, vol.47, june2002.

- Casanova-Katny & Al. (2011) The best for the guest: high Andean nurse cushions of *Azorella madreporica* enhance arbuscular mycorrhizal status in associated plant species. *Mycorrhiza* (2011) 21:613–622
- Cavieres, L.A. & Al. (2016) Facilitation among plants as an insurance policy for diversity in Alpine communities. *Functional Ecology* 2016, 30, 52–59
- Coutterand S., Jouty S. (2012) *Glaciers mémoire de la planète*. Ed. Hoëbeke.
- Coutterand S. (2010) Etude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation. *Géographie*. Université de Savoie, 2010.
- De Anchisi E. (2001) 200 randonnées botaniques dans les Alpes. Ed. Delachaux et Niestlé
- Debelmas J. & Al. (1999). *Les Alpes ; la géologie, les milieux, la faune et la flore, les hommes*. Ed Delachaux et Niestlé
- Delunel R. 1 Al. (2010) Evolution géomorphologique du massif des Ecrins-Pelvoux depuis le Dernier Maximum Glaciaire – Apports des nucléides cosmogéniques produits in-situ. Document de présentation de soutenance de thèse. LGCA, Grenoble Universités, CEREGE.
- Delunel R. 1 Al. (2010) Quantification de l'érosion dans le massif des Ecrins à travers la mesure des nucléides cosmogéniques (présentation synthétique). LGCA, OSUG, CEREGE.
- Dentant C. (2017) *Flora Verticalis Guide botanique à l'usage des amateurs de verticalité*. Edition le Naturographe, 2017.
- Dentant C., Lavergne S. (2013) Plantes de haute montagne : état des lieux, évolution et analyse diachronique dans le massif des Écrins (France). *Bull. Soc. linn. Provence*, t. 64, 2013
- Douzet R., Choler P., Aubert S. (2007) *Eléments de botanique et d'écologie alpine de la région du Lautaret – Briançonnais (Document pédagogique du stage de botanique et d'écologie alpine)*. *Station Alpine Joseph Fourier – Université de Grenoble*
- Dullinger S. & Al. (2012) Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first-century climate change. *Nature Climate Change*, Vol. 2, August 2012.
- Favre A. & Al. (2016) : Out-of-Tibet: the spatio-temporal evolution of *Gentiana* (*Gentianaceae*). *Journal of Biogeography* (*J. Biogeogr.*) (2016).
- Fernandez P. et coll. (2002) *Livret-guide du Jardin Botanique Alpin du Lautaret* (56 p.)
- Friedman. W.E. (2009) Rhe menaninf of Darwin's "abominable mystery". *American Journal of Botany* 96(1): 5–21. 2009.
- Gensac P. (1999) *Guide écologique de la Vanoise; itinéraires de randonnée et initiation à l'écologie de montagne*. Ed Gap, Collection Nature 2000
- Guillemin P., Salvador A. (1878) *Bivouacs dans les Alpes françaises*. *Annuaire du Club alpin français*, cinquième année, 1878.
- Hacker J. & Al. (2011) Inflorescences of alpine cushion plants freeze autonomously and may survive subzero temperatures by supercoiling. *Plant Science* 180 (2011) 149–156
- Halloy S. (2002) Variations in Community Structure and Growth Rates of High-Andean Plants with Climatic Fluctuations. *Mountain biodiversity : a global assessment*. Körner Ch., Spehn E.M. (2002)
- Holderegger R. & Al. (2011) Marie Brockmann-Jerosch and her influence on Alpine phylogeography. *Alp Botany* (2011) 121:5–10

- Hoorn C. & Al. (2013) Biodiversity from mountain building Nature Geoscience, vol. 6, March 2013.
- Hughes C. & Al. (2006) Island radiation on a continental scale: Exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. PNAS N°27, vol. 103, July 2006.
- Joseph O., Billon-Grand P. (2015) Une autre histoire des Alpes : les ascensions oubliées des officiers géographes dans les Alpes du Sud.
- Körner Ch. (1999, 2003) Alpine Plant Life, 2nd edition. Springer editions, 2003.
- Körner Ch. (2011) Coldest places on earth with angiosperm plant life. Alp Botany (2011) 121:11–22
- Ladinig U. & Al. (2015) Is sexual reproduction of high–mountain plants endangered by heat? Oecologia, 20 February 2015.
- Lauber K., Wagner G. (2000) Flora Helvetica : flore illustrée de Suisse
- Lavergne S. (2016) Que nous apprennent les plantes de haute montagne en biologie ? Conférence donnée en 2016 au Jardin du Lautaret.
- Lavergne S. Understanding the evolution of species niches : problems and applications. Mémoire pour l'obtention de l'Habilitation à diriger ses recherches.
- Lohse K. & Al. (2010) Inferring the colonization of a mountain range—refugia vs. nunatak survival in high alpine ground beetles. Molecular Ecology (2010)
- Lortie C.J., Reid A.M. (2012) Reciprocal gender effects of a keystone alpine plant species on other plants, pollinators, and arthropods. Botany 90: 273–282 (2012)
- Mittelbach G. & Al. (2007) Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. Ecology Letters (2007) 10: 1–17
- Monasterio M., Sarmiento L. (1991) Adaptive Radiation of Espeletia in the Cold Andean Tropics. Trends in Ecology and Evolution, vol. 6, n° 12 – December 1991.
- Montesinos–Navarro A. & Al. (2016) Fungal phylogenetic diversity drives plant facilitation. Oecologia, 25 February 2016.
- Montesinos–Navarro A. & Al. (2016) Soil fungi promote nitrogen transfer among plants involved in long-lasting facilitative interactions. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 18 (2016) 45–51
- Morris W.F., Doak D.F. (1998) Life history of the long-lived gynodioecious cushion plant *Silene acaulis* (Caryophyllaceae), inferred from size-based population projection matrices. American Journal of Botany 85(6): 784–793. 1998.
- Oehl F., Körner Ch. (2014) Multiple mycorrhization at the coldest place known for Angiosperm plant life. Alp Botany (2014) 124:193–198.
- Ozenda P. (1985) La végétation de la chaîne alpine, dans l'espace montagnard européen. Ed. Masson
- Ozenda P. (1995) L'endémisme au niveau de l'ensemble du Système alpin. Acta Botanica Gallica: Botany Letters, 142:7, 753-762
- Parc National des Ecrins (2015) A la découverte des fleurs des Alpes. Editions Glénat.
- Reid, A. M., Lamarque, L. J. and Lortie, C. J. 2010. A systematic review of the recent ecological literature on cushion plants: champions of plant facilitation. – Web Ecol. 10: 44–49.
- Roquet C., Boucher F. & Al. (2013) Replicated radiations of the alpine genus *Androsace* (Primulaceae) driven by range expansion and convergent key innovations. Journal of Biogeography (J. Biogeogr.) (2013) 40, 1874–1886
- Roy J. & Al. (2013) Microbes on the cliff: alpine cushion plants structure bacterial and fungal communities. Frontiers in microbiology, art. 64, vol.4, March 2013.

- Ruffier-Lanche R. (1964) Les plantes en coussinets. Bulletin de la Société des Amateurs de Jardins Alpains; 49: 3-13
- Schiffers, K. & Al. (2013) Limited evolutionary rescue of locally adapted populations facing climate change. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2013 368
- Schönswetter P. & Al. (2003) Phylogeography of the High Alpine Cushion Plant *Androsace alpina* (Primulaceae) in the European Alps. *Plant Biology* 5 (2003): 623-630.
- Stehlik I. & Al. (2002) Immigration and in situ glacial survival of the low-alpine *Erinus alpinus* (Scrophulariaceae). *Biological Journal of the Linnean Society* , 2002, 77, 87–103.
- Stehlik I. & Al. (2002) Nunatak survival of the high Alpine plant *Eritrichium nanum* (L.) Gaudin in the central Alps during the ice ages. *Molecular Ecology* (2002) 11 , 2027–2036
- Tanentzap A.J. & Al. (2015) When do plant radiations influence community assembly? The importance of historical contingency in the race for niche space. *New Phytologist* (2015) 207: 468–479
- Thuiller, W. & Al. (2014) Are different facets of plant diversity well protected against climate and land cover changes? A test study in the French Alps. *Ecography* 37: 1254–1266, 2014
- Tison, J –M. - Foucault, B. de (2014) *Flora Gallica*. Société Botanique de France. Biotope éditions
- Volkov I.V., Volkova I.I. (2015) More than just a plant: cushion plants as biodiversity protectors in high mountains of Siberia. *International Journal of Environmental Studies*, 2015
- Wachter G. & Al. (2016) Glacial refugia, recolonization patterns and diversification forces in Alpine-endemic *Megabunus* harvestmen. *Molecular Ecology* (2016) 25, 2904–2919
- Wagner J. & Al. (2010) *Ranunculus glacialis* L.: successful reproduction at the altitudinal limits of higher plant life. *Protoplasma* (2010) 243:117–128
- Wagner J. & Al. (2011) From the Flower Bud to the Mature Seed : Timing and Dynamics of Flower and Seed Development in High-Mountain Plants. C. Lütz (ed.), *Plants in Alpine Regions* Springer-Verlag/Wien 2012.
- Wagner J. & Al. (2016) Pollen limitation is not the rule in nival plants: A study from the European Central Alps *AMERICAN JOURNAL OF BOTANY* 103 (3): 375 – 387, 2016
- Zoller H. & Al. (2002) Pollination and breeding system of *Eritrichium nanum* (Boraginaceae). *Plant Syst. Evol.* 233: 1–14 (2002)
- Zoller H. & Al. (2006) Composed cushions and coexistence with neighbouring species promoting the persistence of *Eritrichium nanum* in high alpine vegetation. *Bot. Helv.* 116 (2006): 31–40