



HAL
open science

Haute montagne et plantes à fleurs : géographie d'une science du vivant sur une marge de l'habitabilité terrestre

Cédric Dentant

► **To cite this version:**

Cédric Dentant. Haute montagne et plantes à fleurs : géographie d'une science du vivant sur une marge de l'habitabilité terrestre. Géographie. Université Grenoble Alpes, 2024. Français. NNT : . tel-04660505

HAL Id: tel-04660505

<https://hal.science/tel-04660505>

Submitted on 23 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

École doctorale : SHPT - Sciences de l'homme, du Politique et du Territoire

Spécialité : Géographie (CEGEOG - ED SHPT)

Unité de recherche : Laboratoire Pacte – UMR 5194

Haute montagne et plantes à fleurs : géographie d'une science du vivant sur une marge de l'habitabilité terrestre

High mountains and flowering plants: geography of a science of life on the edge of terrestrial habitability

Présentée par :

Cédric DENTANT

Direction de thèse :

Philippe BOURDEAU

Professeur émérite, Université Grenoble Alpes

Directeur de thèse

Pascal MAO

Maître de conférence, Université Grenoble Alpes

Co-directeur de thèse

Thèse soutenue publiquement le **31 mai 2024**, devant le jury composé de :

Pierre MORET,

Directeur de recherche, CNRS

Rapporteur

Fabien ANTHELME,

Directeur de recherche, IRD

Rapporteur

Isabelle ARPIN,

Directrice de recherche, INRAE

Examinatrice

Sarah BORTOLAMIOL,

Chargée de recherche, CNRS

Examinatrice

Bernard DEBARBIEUX,

Professeur, Université de Genève

Président du jury

Laura PÉAUD,

Maîtresse de conférence, Université Grenoble Alpes

Examinatrice

Jérôme POULENARD,

Professeur, Université Savoie Mont Blanc

Examinateur



Haute montagne et plantes à fleurs : géographie d'une science du vivant sur une marge de l'habitabilité terrestre

Résumé

Ce projet vise à étudier le vivant sous le prisme de deux marges : une marge géographique - la haute montagne - et une marge scientifique - la construction d'une connaissance hybride entre sphères non académiques et recherche académique. Les trois parties de la thèse se structurent ainsi : (i) l'analyse de la construction d'un savoir biologique à limite même de la vie ; (ii) les recherches contemporaines menées sur les plantes de hautes altitudes (évolution et écologie historique) ; (iii) une analyse de différentes mises en récit de cette science en haute montagne (scientifique, artistique, littéraire, populaire) et leur implication possible sur la relation humains/non humains. Nous nous appuyons sur les plantes vasculaires comme modèle biologique dans trois cadres d'analyse : la géohistoire avec un focus particulier sur la géographie des sciences ; l'écologie scientifique, impliquant la botanique, la taxinomie, la biogéographie et l'écologie historique ; et l'ethnobotanique, comme outil d'analyse d'un exemple contemporain et situé de la relation humains/plantes. Cette démarche hybride vise à comprendre en quoi la haute montagne est un espace singulier de science et un espace révélateur de la transformation du vivant, en s'appuyant sur les plantes vasculaires comme groupe biologique à même de témoigner de l'évolution de la biodiversité, de l'habitabilité terrestre et de notre relation au vivant.

Mots clés : haute montagne, géographie, botanique, alpinisme, écologie historique, récit

High mountains and flowering plants: geography of a science of life on the edge of terrestrial habitability

Abstract

This project aims to study life through the prism of two margins: a geographical margin - the high mountains - and a scientific margin - the construction of a hybrid knowledge between non-academic spheres and academic research. The three parts of the thesis are structured as follows: (i) an analysis of the construction of biological knowledge at the very edge of life; (ii) current research on high alpine plants (evolution and historical ecology); (iii) an analysis of the different ways in which this science is narrated in the high mountains (scientific, artistic, literary, popular) and their possible implication on the human/non-human relationship. We will use vascular plants as a biological model in three analytical frameworks: geohistory - with a particular focus on the geography of science; scientific ecology, involving botany, taxonomy, biogeography and historical ecology; and ethnobotany, as a tool to analyze a contemporary and situated example of the humans/plants relationship. This hybrid approach aims to understand how the high mountains are a singular space for science and a revealing space for the transformation of living things, using vascular plants as a biological group capable of bearing witness to the evolution of biodiversity, terrestrial habitability and our relationship with living things.

Key words : high mountain, geography, botany, alpinism, historical ecology, narrative

Remerciements

Soutenir une thèse de doctorat à 48 ans est un peu singulier. Plus encore en pensant au gamin né à Saint Martin d'Hères, à quelques centaines de mètres de ce campus, et qui a appris à faire du *roller* sur le parvis de la bibliothèque des sciences. Ma première rencontre avec la science a ainsi été éminemment géographique : jouer dans un lieu où elle s'exerce, où se meuvent beaucoup de « grands » qui sont là pour apprendre et comprendre. Malgré mes genoux et paumes écorchés, j'avais adoré ce lieu énigmatique.

Il y a de fait quelque chose d'émouvant d'être à nouveau ici, les genoux indemnes et la barbe grisonnante, au moment où la vie a fait une part de son œuvre, à la fois belle et écrasante.

Il y a 40 ans, le gamin que j'étais était fasciné par tous ces « grands » œuvrant dans ce lieu de science. Aujourd'hui, j'ai la chance immense de les avoir rencontrés. A vous toutes et tous, je voudrais par ces mots exprimer plus que des remerciements : vous témoigner ma plus sincère et profonde gratitude. Celle de qui je suis aujourd'hui et celle de l'enfant qui n'a pas oublié.

- A mes deux directeurs de thèse, Philippe Bourdeau et Pascal Mao, assez insouciants pour avoir accepté cet improbable projet.

- A Sébastien Lavergne, pour ce long et palpitant compagnonnage sur les marges de la science académique.

- Aux membres du jury, qui ont nourri et encouragé mes recherches, et qui ont accepté l'aventure incertaine d'évaluer cette thèse : Fabien Anthelme, Isabelle Arpin, Sarah Bortolamiol, Bernard Debarbieux, Pierre Moret, Laura Péaud et Jérôme Poulenard.

- A Pierre Commenville, ancien directeur du Parc national des Écrins, et à Richard Bonet, responsable de son service scientifique, pour avoir facilité et appuyé ce projet. A Ludovic

Schultz et Samuel Sempé, directeur et directeur adjoint actuels, qui permettent à ce qui n'est plus un projet de se terminer dans les meilleures conditions possibles.

- A ce magnifique Parc national des Écrins, sans lequel cette thèse n'aurait jamais vu le jour, et à toutes celles et ceux qui s'évertuent à lui donner une âme (et des passerelles, réelles ou symboliques) : Anne-Lise Macle, Christine Nobre, Clotilde Sagot, Samy Jendouby, Mireille Coulon, Damien Combrisson, Yoann Bunz, Julien Guilloux, Justine Carpentier, Muriel Della-Vedova, Théo Lechémi, Pierrick Navizet, Pierre-Henri Peyret, Eric Ollieu, Chloé Baraban, Thierry Chevallier, Gilles Martinez, Tommy Bulle, Marion Digier, Frédéric Sabatier, Gabrielle Alfonsi, Cécile Fierdepied, Stéphane Bossay, Lisa Ferrero, Christel Brochier, Marylène Touche, Xavier Kieser, Laurie Comba, Baki Benyoub, Christian Bertini, Frédérique Goulet, Olivier Bergeretti, Eric Vannard, Rodolphe Papet, Marc Corail, Étienne Dupuis, Régis Jordana, Cécile Dubois, Jean-François Lombard, Marine Metzinger, Vincent Pietri, Camille Monchicourt, Juliette Frigot, Jérémie Pin, Julien Charron, Dominique Vincent, Vincent Nobili, Claire Broquet, Olivier Lefrançois, Olivier Warluzelle, Isabelle Miard, Elsa Raymond, Isabelle Vidal, Sylvie Motte, Florence Huchon, Christophe Girardon, Hélène Quellier, Stéphane D'houwt, Aurore Seignemartin, Nicolas Bertrand, Manon Garnier, Séverine Magnolon, François Couilloud, Sylvie Guion, Alexandre Terreau, Emmanuel Evin, Léo Baratier, Daniel Briotet, Cyril Coursier, Jean-Pierre Bergeron, Emmanuel Icardo, Hélène Belmonte, Annick Martinet, Jacques Fiz, Pierre Narcisi, Nans Denis, Pierre Bouvet, Rodolphe Derivaz, Mathias Magen, Baptiste Bignet, Tatia Tabainet, Céline Panossian, Catherine Garin, Claire Calvet, Michèle Courtens, Léa Margaillan, Emmanuelle Boithiot, Anne Friederich, Narcisse Certain, Jérôme Armand, Anne Bello, Marion Janel, Caroline Eymard-Serrano et Guihlem Barneix.

- A ses valeureux anciens, hérauts de la botanique : Bernard 'Barbu' Nicollet , Christophe 'Morice' Albert, Pierre Salomez, Marie-Geneviève Nicolas, Pierre Dumas, Pierre Bernard, Michel Bouche et Bernard Thomas.

- A Florian Boucher, enseignant-chercheur à l'Université Grenoble Alpes, pour son partage sans retenue de la science.

- A ces nombreux-ses scientifiques, jeunes ou « expérimenté-es » (!), qui ont parsemé de leurs connaissances et bienveillance ce parcours singulier : Myriam Houssay-Holzschuch, Anne-Laure Amilhat-Szary, Felix de Montety, Arnaud Pêcher, Jean-Pierre Raffin, Gilles Yoccoz, Florence Mocci, Fabien Arnaud, Sandra Lavorel, Camille Voisin, Wilfried Thuiller, Philippe Choler, Arthur Bayle, Jérôme Rose, Blanche Collin, Aurélien Besnard, Virginie Maris, Clara Poirier, Till Felhauer, Gregory Loucougaray, Brigitte Talon, Renaud Jaunâtre, Chris Thorogood, Arne Saatkamp, Claire Marynowier, Daniel Pavon, Julien Renaud, Maya Guéguen, Rémy Moine, Till Fehlaue, François Dusoulier, Amélie Saillard, Anne Delestrade, Hubert Cochet, Coralie Mounet, Sébastien Ibanez, Emmanuel Thibert, Florent Arthaud, Marc Langenbach, Mylène Bonnefoy Demongeot, Nicolas Robinet, Jean-Baptiste Bosson, Rozenn Martinoia, Christophe Randin, Maxime Rome, Jean-Gabriel Valay, Gwendolyn Peyre, Thomas Marcussen, Maria-Jose Sanin, Christian Vincent Philippe Schoeneich, Stephen Halloy, Laurent Gautier, Nicolas Wyler, Victor Andrad, Pascal Martin, Irène Till-Bottraud, Jean-Gabriel Valay, Théo Maurette, Noa Schumacher, Yannick Vialette, Sophie de Rosemont, Noémie Fort, Léa Bizard, Rolland Douzet, Jérôme Foret, Bertrand Lienard, Mathieu Letouze et Daniel Zambano.

- Aux agents administratifs, qui ne seront jamais assez remercié-es pour m'avoir sauvé à maintes reprises de l'ogre bureaucratique : Christine Nobre, pour le Parc national des Écrins ; Stéphanie Caron, Thierry Bontems, Lourdemarie Luete, Hélène Burgy et Catalina Esparza pour l'Université Grenoble Alpes.

- A Cécile Guillard, pour cette belle aventure en cases et phylactères.

- A Marion Wintrebert, Jacqueline Farmer, Cyril Barbançon et Sylvain Prudhomme, pour ces œuvres si vivifiantes.

- A ces gens de la haute montagne, qui montrent infatigablement qu'il y a chemin : Nicolas Bartalucci, Brad Carlson, Marie Gardent, Benjamin Ribeyre, Mathilde Dahuron, Abdou Martin, Aurélien Meignan, Georges Unia, Sophie Loos, Fabien Berrot, Noémie Dagan, Dorian Labaeye, Antoine Boyrie, Sébastien Louvet, Paulo Grobel, Damien Haxaire, Anouchka Hrdy et Alain Tallaron.

- A tous les autres ami·es si précieux·ses, qui suivent avec bienveillance mes errances dans l'existence.

- A ma grande famille, les Dentant, les Declerck.

- A Pablo, pour les belles choses à venir. A Mathilde, pour que le bonheur prenne le dessus.

- A Héloïse, ma divine épouse, pour son soutien indéfectible, son inépuisable endurance à me supporter et son courage.

- A nos petits gars, Augustin et Timothée, pour leur énergie surnaturelle. Peut-être ce manuscrit donnera-t-il un peu de sens à « *Papa, tu travailles tout le temps !* » (même pas vrai !). Peut-être qu'un jour, vous aussi, vos genoux écorchés auront une autre saveur que celle de la douleur.

- A toutes celles et ceux qui ne sont plus là, qui me manquent terriblement, mais dont l'amour et l'amitié m'habitent encore.

Sommaire

Résumé.....	3
Abstract.....	5
Remerciements.....	7
Sommaire.....	12
Avant-propos.....	14
Introduction générale.....	15
Partie I. Perception du vivant dans la marge terrestre de la haute montagne.....	25
Introduction.....	26
Chapitre.1 Les dragons et la haute montagne habitée : la première biodiversité d'altitude. 27	
1.1 Introduction : d'un imaginaire à l'autre.....	27
1.2 Les hautes montagnes de Scheuchzer : dragons, Déluge et rationalité.....	29
1.3 Conclusion du chapitre 1.....	41
Chapitre.2 Les alpinistes et les limites terrestres du vivant : une contribution atypique à la connaissance scientifique (article n°1).....	43
2.1 Introduction et contexte.....	43
2.2 Article.....	45
2.3 Extensions.....	68
2.4 Conclusion du chapitre 2.....	78
Chapitre.3 Concepts, questions critiques de recherche et méthodologie.....	79
3.1 Habitabilité de la haute montagne : une géographie de l'invisible.....	79
3.2 Le vivant : tentative d'élargissement des concepts de « nature » et de « biodiversité »	88
3.3 Géographie des sciences en haute montagne et sociologie de l'acteur réseau.....	102
3.4 Questions (axes) et hypothèses de recherches.....	109
3.5 Méthodologie.....	111
3.6 Conclusion du chapitre 3.....	122
Conclusion de la partie I.....	124
Partie II. Recherche sur les plantes à fleurs en haute altitude, entre temps de l'évolution et temps de l'Anthropocène.....	125
Introduction.....	126
Chapitre.4 Découverte d'une diversité cryptique de plantes dans un des milieux terrestres les plus extrêmes : le toit des Alpes (article n°2).....	127
4.1 Introduction.....	127
4.2 Article.....	130
4.3 Conclusion du chapitre 4.....	153
Chapitre.5 Les trajectoires des communautés de plantes des nunataks du Mont-Blanc dans l'Anthropocène (article n°3).....	155

5.1 Introduction et implications dans le travail de thèse : botanique historique des marges.....	155
5.2 Article.....	159
5.3 Extension.....	191
5.4 Conclusion du chapitre 5.....	197
Conclusion de la partie II.....	198
Partie III. Médiation scientifique et concernement : le difficile dialogue des humains et des plantes.....	199
Introduction.....	200
Chapitre.6 Ethnobotanique de l'invisible : médiation(s) pour un nouveau régime de perception des plantes de haute altitude.....	201
6.1 Introduction.....	201
6.2 Expérience de médiation scientifique avec les guides de haute montagne portant sur la botanique.....	211
6.3 Expérience de zone frontière et de décloisonnement de la science.....	224
6.4 Conclusion du chapitre 6.....	241
Chapitre.7 Faire de la science du vivant un art ? Recherche-crédation d'une bande dessinée scientifique.....	243
7.1 Introduction.....	243
7.2 Les dessous d'un hybride « art et science ».....	248
7.3 Hybride du 9e art : une bande dessinée scientifique « en train de se faire ».....	262
7.4 Conclusion chapitre 7.....	281
Conclusion de la partie III.....	282
Conclusion générale.....	285
Références.....	293
Table des figures.....	306
Annexes.....	311

Avant-propos

Cette thèse n'est pas véritablement l'aboutissement de quatre années de labeur en école doctorale. La soutenir à un âge où des amis de ma génération sont devenus directeur·trices de recherche ou professeur·es des universités la ferait plutôt apparaître comme une forme extrême de procrastination, cocktail de mes incertitudes et passions vis-à-vis de la science. J'espère que cette patine rencontrera l'indulgence des lectrices et lecteurs.

Jouant peut-être parfois avec les marges des attentes académiques, ce manuscrit suit néanmoins scrupuleusement les recommandations de l'école doctorale *Sciences de l'Homme, du Politique et du Territoire*¹ relatives aux thèses sur travaux. Sa structure mixe ainsi articles publiés (3), soumis (1) et textes inédits, dans une polyphonie de français, d'anglais et de latin (pour la nomenclature taxinomique). Pour chacun de ces articles, la mise en forme des références bibliographiques, requise par la revue de publication, a été conservée. Ce choix concerne autant l'appel des références au sein du manuscrit que la bibliographie finale. L'article garde également la structure retenue pour la publication, mais la police, la numérotation des pages et celle des figures ont été mises en cohérence avec le reste du manuscrit.

Autant que faire se peut, les parties rédigées en français l'ont été en écriture inclusive². Le débat sociétal sur ce mode d'écriture est vif, à l'instar des aspirations de réformes orthographiques. Beaucoup ont déjà légitimé ce choix d'écriture, et je me restreindrai donc à cet argument très subjectif : ces propos liminaires sont écrits dans une vénérable bibliothèque britannique, âgée de quatre siècles, où pullulent ouvrages et revues de langue française. Au dire de plusieurs témoins autochtones, elle y est particulièrement appréciée parce que vivante et source de débats dont l'intensité est médusant pour de nombreux anglophones. C'est donc par attachement à cette langue (très) vivante que les lecteur·trices de ce travail seront confronté·es au point médian. Et comme en science, de l'inattendu peut naître la jouissance de la découverte.

1 cf. document non daté intitulé « Bref vademecum de la thèse sur travaux / sur articles à l'ED SHPT », téléchargeable à l'URL de l'ED SHPT : <https://edshpt.univ-grenoble-alpes.fr/candidater/conditions-prerequis/> [visité le 02/10/2023 ; mis à jour le 28/09/2023]

2 En suivant les propositions de la revue *Journal of alpine research*/Revue de géographie alpine : <https://journals.openedition.org/rga/10501#toctoin5> [visité le 02/10/2023]

Introduction générale

« *I want to tell tales* »³. C'est ainsi que John Law, sociologue des sciences, introduit son travail de recherche sur le fonctionnement du *Daresbury Laboratory* (spécialisé en physique des particules) au début des années 1990 (Law 1994). Bien sûr son but n'était pas de raconter de la fiction, mais plutôt de faire le récit des processus scientifiques comme autant de relations mobilisant objets et personnes. Les récits, dit-il en substance, « *nous les créons pour donner un sens à nos circonstances, pour réassembler le tissu humain* »⁴ (Law 1994, p.52). Ce qui suit relève de la même aspiration, mais en élargissant la maille tissée aux plantes à fleurs. Il s'agira d'écrire le *récit* d'une science en action (Latour 1987), pour laquelle la géographie n'est pas neutre, et de rendre compte des processus qui lient hautes montagnes, plantes, humains et science.

L'Anthropocène, la haute montagne et le botaniste

Ce récit s'inscrit dans les multiples tentatives contemporaines de questionner la sixième extinction en cours du vivant, conséquence directe de cette période polémique récemment baptisée *Anthropocène*. Si son nom, sa délimitation temporelle et sa pertinence conceptuelle ne font pas parfaitement consensus (Ruddiman 2013 ; Maris 2018), le fait qu'il ait été posé dans le débat scientifique et public par un prix Nobel (celui de chimie, en 1995, pour Paul J. Crutzen) lui confère, à tort ou à raison, une audience particulière. Toutefois, plus qu'un principe d'autorité, l'Anthropocène est un repère réflexif efficace pour caractériser la dynamique perturbatrice et prédatrice de l'espèce humaine sur l'ensemble de la biosphère (Corlett 2015 ; Latour 2015). Initialement défini par Crutzen et Stoermer en 2000, ce concept propose d'enterrer dans la charte stratigraphique internationale de géologie (IUGS) l'empreinte terrestre des multiples impacts humains sur la planète, prenant pour point de départ la révolution industrielle en Europe (année 1850). Ces impacts sont de multiples natures : émission massive de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et méthane) et de gaz déstructurant la couche d'ozone (chlorofluorocarbures ou CFC) ; déforestation à l'échelle planétaire, avec 32 millions d'hectares de forêt primaire détruits en seulement quelques années (IPBES 2019) ; 85 % des zones humides de la planète asséchées (IPBES 2019) ; transformation des sols par travail mécanique répété (agriculture) et par déversement massif de matière azotée (synthétique ou na-

3 « Je veux raconter des histoires »

4 « [...] we create them to make sense of our circumstances, to re-weave the human fabric ».

turelle). À cette liste non exhaustive se combine l'accroissement exponentiel de la population mondiale, avec un quadruplement pendant le seul dernier siècle écoulé (Crutzen 2006), et ce malgré deux guerres mondiales sanguinaires. Cette augmentation du nombre d'humains a entraîné l'explosion du nombre de têtes de bétail, mettant sous pression un nombre croissant d'écosystèmes (100 millions d'hectares de forêt tropicale ont ainsi été détruits entre 1980 et 2000 pour créer des espaces dédiés à la nourriture du bétail (IPBES 2019)). *Last but not least*, par la combinaison de tous les phénomènes évoqués précédemment, l'Anthropocène est le siège d'une crise de la biodiversité comparable, par le taux et la vitesse de disparition des espèces, aux cinq grandes extinctions du passé (réparties sur environ 540 millions d'années et ayant exclusivement impliqué des changements climatiques et géologiques non induits par des organismes vivants). Ainsi, pour Crutzen et Stoermer (2000), les modifications majeures à l'œuvre depuis la moitié du 18^e siècle de l'atmosphère, de la cryosphère et de la biosphère fondent la pertinence et la légitimité d'une période géologique nouvelle. L'extinction en cours des espèces est de plus pour la première fois de l'histoire du vivant la résultante du comportement de l'une d'entre elles, la nôtre. Elle pose ainsi deux questions inédites : celle de notre relation au reste des êtres vivants⁵ et celle, tragique, de l'habitabilité⁶ de notre planète.

La haute montagne est pour l'Europe occidentale un lieu emblématique des conséquences visibles du plus célèbre des avatars de l'Anthropocène : le changement climatique. Ce dernier est à l'origine de la fonte massive des glaciers, de la réduction de la couverture neigeuse – en surface et en durée – et de la dégradation du permafrost, laquelle entraîne l'effondrement de pans entiers de montagnes (Mourey 2016). Si dans cette espace d'altitude l'atmosphère et la cryosphère sont des acteurs majeurs des interrogations tant scientifiques que politiques, qu'en est-il de la biodiversité ? La perception des modernes de la haute montagne se résume très synthétiquement par cette affirmation de Maurice Herzog, alors en chemin vers l'Annapurna (1951, p.119) : « *Aucun animal, aucune plante n'a droit de cité dans ces lieux. Dans la pureté du matin, cette absence de toute vie, cette misère de la nature ne font qu'ajouter à notre force intérieure* ». La biodiversité est la grande absente de la haute altitude, non sans raison considérée comme une limite terrestre du vivant. Pourtant, et de manière contre-intuitive, cette marge géographique est aussi un berceau de biodiversité (Marx et al. 2017). Ce qui est en

5 Environ 1 millions d'espèces à travers le monde sont proches de l'extinction (IPBES 2019)

6 Définie comme « l'ensemble des paramètres environnementaux physiques et chimiques qui permettent la persistance de la vie » (Preston & Darnell 2014)

cause est moins l'absence de vie que notre « régime de perception » (Arpin et al. 2015) assignant la haute montagne à un désert flattant historiquement une approche victorienne de l'aventure (Macfarlane 2003 ; Mao 2021), masculiniste et socialement élitiste (Martinoia 2015 ; Martinoia 2019 ; Sallenave 2020). Les paysages minéraux, les parois vertigineuses et crevasses béantes n'offrent, il est vrai, que peu de perspectives de *rencontre* avec d'autres espèces (Zhong Mengual 2021).

Le travail qui suit se base pourtant sur différentes modalités de rencontre d'une altérité radicale : les plantes vasculaires. Il se veut une tentative d'écriture d'un nouveau récit du vivant en haute montagne. Mais avant d'aller plus avant, il est nécessaire de cerner ce qu'on entend par ce terme de « haute montagne ». Établir une définition de la montagne est en soi une épreuve particulièrement peu consensuelle (Debarbieux & Rudaz 2010). Les directeurs de l'ouvrage *Mountains of the World*, publié en 1997, relèvent que « *l'incapacité des scientifiques à proposer une définition rigoureuse, d'application universelle et acceptée de tous, a donné lieu à d'interminables débats sans résultats heureux* » (Debarbieux & Rudaz 2010, p.10). Quel cauchemar sémiologique promet alors l'ajout du qualificatif « haute » ? Peut-être moins encore que la montagne, la « haute montagne » n'a cherché à être définie. Au 19^e siècle, lors des premiers usages du terme, il s'agissait simplement de qualifier l'élévation relative des montagnes. On parle alors, dès 1883, de « voyage à pied dans la haute montagne » (Tetet 1985). Le côté presque débonnaire de la progression ainsi rapportée rejoint la définition de Chardon (1989), lequel considère non sans efficacité que la haute montagne est l'espace d'altitude au-delà de la limite supérieure de la forêt : « *la limite supérieure de la forêt marque une rupture dans les paysages et un changement dans les processus morphogénétiques. Plutôt que l'absence ou la présence d'un couvert végétal, elle est un critère clair et discernable pour la limite inférieure de la haute montagne* ». Définition qui peut combler le botaniste, car cette haute montagne est définie en miroir d'une communauté végétale structurante (la forêt) et semble assez simple à appliquer. Mais dans le même article (Chardon 1989), l'auteur conclut, pour ce même espace : « *Vers 2800 m, le passage au supra-périglacière coïncide avec la disparition de tout couvert végétal* ». Retour à l'affirmation de l'absence du végétal, bien que plus nuancée que chez Herzog puisqu'il n'est question que de « couvert » et non d'espèces. D'après cette approche, il existerait ainsi plusieurs « hautes montagnes » : celle d'un espace débonnaire, au-delà de la forêt,

correspondant peu ou prou aux pâturages d'altitude, et une autre, plus minérale, incluant glaciers, parois et sommets, où la végétation n'est plus structurante dans le paysage. C'est cette dernière acceptation qui semble sous-entendue lorsque le terme « haute montagne » est utilisé comme une épithète. En 1949, il apparaît pour la première fois sous cette forme lexicale dans la revue *La Montagne* : « Terrain très haute montagne [...] encombré d'énorme quantité de neige molle » (Tetet 1985). Cet usage n'implique plus la perception comparative de l'élévation de montagnes (les unes plus hautes que les autres), mais la présence corporelle de l'observateur dans un espace sous contraintes, situé hors des sentiers de la montagne pastorale et nécessitant un mode singulier d'accès et de parcours. La « haute montagne » que nous considérerons dans le présent manuscrit ne se résume donc pas à la définition physique que Charodon (1984) désigne sous les termes de zones « périglaciaires » (marges glaciaires) et « glacionivales »⁷ (glaciers, arêtes, parois et sommets élevés), mais implique une dimension constructiviste par la mobilité atypique qu'elle mobilise. Cette activité a été baptisée « alpinisme » en 1875 (Tetet 1985). Vue de manière purement mécanique, cette pratique est un ensemble de moyens techniques et physiques d'accès et de progression sur des terrains (sub-)verticaux ou crevassés. Toutefois, en 2019, lors de la 14^e session du Comité intergouvernemental de sauvegarde du patrimoine culturel immatériel de l'UNESCO, l'alpinisme a été inscrit sur la *Liste représentative du patrimoine culturel et immatériel de l'humanité*⁸. Cet acte, porté par tout un collectif institutionnel et gouvernemental, a entériné la qualité de marqueur identitaire et social de cette activité. Cet attribut de l'alpinisme n'est pas un phénomène nouveau (il s'agissait bien d'« entériner » une situation) : Bourdeau & Corneloup (2015) évoquent déjà, au milieu des années 1990, le souhait de certains pratiquants et professionnels de procéder à un « recentrage identitaire sur la haute montagne et l'alpinisme ». Mais l'UNESCO lui a conféré un « velours » officiel. La « haute montagne » sera ainsi envisagée dans le présent travail comme l'hybride moderne (Latour 1991) d'un espace physique (périglaciaire et glacionival) et d'une identité « orocentrique » (Debarbieux & Rudaz 2010, p.326), à savoir une identité forgée par une pratique physique et sociale de cet espace montagnard.

Cette mise en récit n'est pas le seul fait du labeur effréné d'un doctorant en géographie, il est aussi celui de l'expérience professionnelle d'un botaniste en poste depuis vingt-deux ans.

7 Les géographes travaillant sur les composantes physiques de la haute montagne utilisent plutôt aujourd'hui le terme « nivo-glaciaire » pour définir les couvertures neigeuses et glaciaires de haute altitude (Mourey 2016).

8 Site de l'UNESCO visité le 26/10/2022 : <https://ich.unesco.org/fr/RL/l-alpinisme-01471>

Cette précision serait inutile et péremptoire si elle n'avait pas une influence structurante sur cette thèse. Le qualificatif de « botaniste » m'inscrit dans des relations sociales particulières avec nombre de mes contemporains, tel le dépositaire d'une connaissance plus ou moins sollicitée (allant de la demande d'assentiment d'expériences ésotériques à l'établissement de liste sèche d'espèces pour modèles mathématiques). Ces plantes, qui contribuent à construire ma présence aux yeux du monde social, ne prennent généralement place dans le concernement de l'autre que par l'espace qu'elles occupent singulièrement : la haute montagne. Et cette haute montagne, dans ma situation de botaniste, c'est aussi celle d'un établissement public qui me confère visibilité et audience : le Parc national des Écrins.

Un botaniste, aujourd'hui, est en effet et avant tout un « savant situé » : il est lié à un territoire (une dition) ou un groupe de plantes. Il n'existe hélas pas de botaniste universel. Ainsi, être botaniste dans ce qui est considéré en Europe comme le parc national de la haute montagne⁹ requiert avant tout d'être un spécialiste dans la flore de montagne. Et la géographie étant l'incubatrice de ma réflexion, elle obligera à la précision : les montagnes considérées sont principalement les Alpes occidentales. L'originalité du travail de cette thèse réside toutefois dans une seconde précision géographique : l'approche botanique ne se contentera pas de penser les plantes de montagne (thème historiquement bucolique de l'alpe¹⁰), mais d'aller observer, rencontrer, interférer avec les plantes de haute altitude. Et de chercher à comprendre ce qui apparaît être un « impensé » de la vie non-humaine dans cette marge terrestre.

Ce travail prend littéralement naissance le mardi 6 juillet 2010, à 2673 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans le vallon du Diable (commune de Saint-Christophe-en-Oisans). Recruté comme botaniste depuis un an par l'établissement public du Parc national des Écrins, j'arrive après quelques heures de marche au refuge de la Selle. Je rejoins Sébastien Lavergne, chercheur CNRS au Laboratoire d'écologie alpine (LECA), à l'université de Grenoble. L'année précédente, il a lancé avec des doctorants une expérimentation sur quelques espèces de plantes en coussin présentes dans les parois de haute altitude. L'objectif est de comprendre leur histoire évolutive et son implication dans leur répartition sur les principaux sommets des Écrins. Pour ce faire, il est nécessaire d'escalader les montagnes et de récolter *in situ* quelques

9 Site OFB, visité le 25/10/2022 : <https://www.ofb.gouv.fr/les-parcs-nationaux-de-france/le-parc-national-des-ecrins>

10 cf. A. von Haller et son poème *Die Alpen* publié en 1729.

morceaux de feuilles des espèces cibles. Ces feuilles fourniront l'ADN nécessaire, « agent » ultime sur lequel sera conduite toute une batterie d'analyses et de modélisations. Des échanges préalables entre nous deux et le responsable du service scientifique du Parc nous avaient décidés à poursuivre conjointement cet échantillonnage en 2010. Pour un début, l'idée est d'aller prospecter l'arête sud-est du Râteau (3809 m). Nous formons ainsi pour la première fois une cordée, autant pour poursuivre ce travail en zone cœur du massif que pour lier nos deux organismes de tutelle (parc national et laboratoire). Dès le mercredi matin, prêts pour l'ascension, nous sommes confrontés au brouillard, à la grêle et à un passage rocheux couvert de glace. L'incertitude des conditions oblige à d'efficaces choix et tractations. Mais la discussion est fluide et les accords rapides. Après la traversée du glacier de la Selle et la montée à la brèche du Râteau, nous rencontrons conjointement soleil et plantes recherchées. Notre cordée fonctionne bien, la confiance est née et l'échantillonnage est réussi. La scène primordiale est ainsi posée. Elle permet de poser la question épistémologique fondatrice de cette thèse :

**Comment l'espace géographique de la haute montagne
façonne-t-il le vivant (les plantes), la science du vivant et la perception du vivant ?**

Objectifs de la recherche doctorale

Cette question peut se lire et se décliner sous la forme de trois questions fondamentales (ou axes de recherche). La plus directe et la plus brutale d'un point de vue épistémologique est la suivante : **(i) quels résultats sont produits par cette science « en action » ?** Ce projet a initialement été pensé dans un cadre conceptuel de biologie de l'évolution, c'est-à-dire dans une discipline dont l'ambition est de reconstituer l'arbre phylogénétique des espèces étudiées dans un espace défini. Les analyses bio-informatiques et statistiques sont complexes, mais un nombre réduit de variables en structurent la base : les espèces (désignées par leurs noms), leurs localisations (latitude, longitude, altitude) et leur ADN (extrait d'un fragment foliaire pris sur chaque échantillon). Ce triptyque permet l'accès à tout un lot de variables complémentaires encapsulées dans des bases de données (géologie, traits biologiques, données spatiales). Cette matière implique ainsi tout autant la biologie de l'évolution que la biogéographie, la taxinomie et l'écologie scientifique. Répondre à la question de la *production* de cette

recherche nécessite donc de convoquer les sciences de la nature (ou sciences du vivant)¹¹.

La seconde question interroge non plus les résultats, mais les *processus* de la recherche menée : **(ii) en quoi la haute montagne influence-t-elle les sciences du vivant ?** Une première manière de répondre à cette question est de la soumettre au prisme de la géographie historique (Livingstone 2010 ; Bourdeau 2002) : il s'agira de mobiliser l'histoire des sciences ciblée sur le domaine de la botanique et sous la contrainte géographique de la haute altitude. Une seconde manière d'enrichir la réponse à cette question des processus repose sur la théorie de « l'acteur-réseau » (Callon 2006 ; Tollis et al. 2014) : il s'agira ici de mobiliser le réseau d'acteurs (humains et non-humains) de la recherche menée. La haute montagne y devient un acteur motivant la naissance d'un projet scientifique ; un parc national, historiquement considéré comme « le parc européen de la haute montagne », y lie son identité ; et des acteurs non-humains, les plantes à fleurs, y « permettent » la production de données scientifiques. Plus largement, cette analyse repose sur la sociologie des sciences et des techniques (Latour 1991 ; Law 1994) et l'anthropologie (Descola 2015). La question des processus de cette recherche convoque donc les sciences sociales¹.

Le troisième axe de recherche liera les deux premiers, en essayant de penser **quel(s) récit(s) sur les plantes et sur la science en action peu(ven)t nourrir une évolution de la relation de notre société au vivant ?** Cette question repose sur différentes expériences transdisciplinaires, c'est-à-dire sur des travaux réflexifs impliquant des groupes ou personnes n'appartenant pas à la sphère académique : guides de haute montagne et artistes. Cette entreprise de transdisciplinarité a pris la forme d'entretiens et d'ateliers conjoints de travail. Cette recherche sur la mise en récit du vivant en haute altitude passe par différents champs disciplinaires se faisant écho : le pragmatisme de James (1907), son « attachement aux faits »¹² de l'expérience et les principes inhérents d'une « théorie ancrée » (*grounded theory*) (Yeung 1997) ; et la phénoménologie relue par Abram (2021), voyant dans la sensibilité « la base organique de la pensée ».

La boîte « académique » de Pandore est donc ouverte : cette thèse impliquera et liera sciences de la nature et sciences sociales. Toutefois, comme tout mythe, cette référence à Pan-

11 Les termes « science de la nature » et « sciences sociales » ont été choisis afin d'éviter les termes « texturaux » de science « dure » ou « molle », chargés de jugements de valeur (Shapin 2022).

12 James (2022) p. 131

dore est fondatrice puisqu'en refermant sa boîte, l'héroïne réussit à garder en son sein le dernier « mal » de l'humanité : l'espérance. Attente sans certitude, cette dernière était considérée comme une calamité par les Anciens. Sa réhabilitation semble actée au vu des incertitudes contemporaines sur l'avenir du vivant et de l'habitabilité terrestre.

Organisation du mémoire de thèse

Ce mémoire de thèse se compose de sept chapitres, eux-mêmes organisés en trois parties. Son ossature s'équilibre à parts égales sur un ensemble d'articles scientifiques publiés (au nombre de 4) et d'écrits inédits. La langue de rédaction est le français, à l'exception des trois articles structurant la deuxième partie du manuscrit, intégralement rédigés en anglais pour les attendus des publications internationales. Chaque article est inséré dans le développement logique du manuscrit et s'accompagne d'une fiche synoptique synthétisant la problématique scientifique abordée, ses objectifs, la méthode, les principaux résultats obtenus, le rôle de chacun des auteurs et un résumé en français. La plupart des articles traitant des résultats produits par la recherche (1^{er} axe de recherche), une partie complémentaire a été ajoutée pour chacun d'eux, afin d'appréhender la problématique des pratiques scientifiques à l'œuvre (2^e axe de recherche).

La première partie relie, dans le chapitre 1, la construction historique des connaissances du vivant à la géographie singulière de la haute montagne, alors inaccessible et fantasmée, jusqu'à ce que Horace-Bénédict de Saussure assouvisse son ambition. Le chapitre revisite ensuite l'évolution de notre conception moderne de la nature et son appellation nouvelle de « biodiversité ». Synthèse et extension logique des deux chapitres précédents, le chapitre 2 correspond à un article paru en 2021 dans *Journal of alpine research/Revue de géographie alpine* sous le titre de « *Les alpinistes et les limites terrestres du vivant : une contribution atypique à la connaissance scientifique* » en collaboration avec Pascal Mao (Pacte, Université de Grenoble), Philippe Bourdeau (Pacte, Université de Grenoble) et Sébastien Lavergne (LECA, Université de Grenoble). Les processus et nouvelles formes de production de la science sont analysés en lien avec la contrainte géographique de la haute altitude. Enfin, le chapitre 3 explicite les questions et hypothèses de recherche abordées dans cette thèse, en explicitant les outils méthodologiques mobilisés.

La seconde partie illustre sous forme de deux articles scientifiques les différents résultats obtenus sur l'étude des espèces végétales de haute altitude dans les Alpes occidentales. Le chapitre 4 correspond à l'article « *Discovery of cryptic plant diversity in one of the harshest environments: the rooftops of the Alps* » publié en 2021 dans la revue *Scientific Reports*. Inclus dans le paradigme de la biologie de l'évolution et de son domaine d'extension – la taxinomie – cet article analyse l'ensemble des échantillons accumulés sur plus de dix années de prospection en haute altitude et montre son caractère insoupçonné et contre-intuitif : elle agit comme un « berceau » de biodiversité, se matérialisant par la découverte de plusieurs nouvelles espèces pour la science. Une partie complémentaire – l'histoire (*tale*) – rend compte de la science telle qu'exercée pour obtenir ces résultats. Le chapitre 5 invite à une autre temporalité que celle de l'évolution : il repose sur une analyse unique de communautés végétales du bassin de la Mer de Glace (Mont-Blanc, Chamonix) entre le début de l'Anthropocène (1868) et la période contemporaine (2020). Ce chapitre est également sous la forme d'un article scientifique publié en juillet 2023 dans la revue *Botany Letters* : « *Anthropocene trajectories of high alpine vegetation on Mont-Blanc nunataks* ».

La troisième partie élargit la question d'une science en action non plus à la seule visée de productions disciplinaires, destinées à des scientifiques partageant plus ou moins la même communauté, mais s'adressant, sous de nouvelles formes de récit, à d'autres humains, extérieurs au champ scientifique. Cette adresse est une *médiation*, une « intervention permettant de créer du lien » (Viallette et al. 2021). Le chapitre 6 analyse les ressorts ethnobotaniques de différents pratiquant·es de la haute montagne européenne. Dans un premier temps, il s'agira de comprendre le régime de perception de la biodiversité des membres d'un groupe professionnel particulièrement impliqué en haute montagne : les guides. Dans un second temps, le chapitre traite de l'expérimentation d'un atelier transdisciplinaire regroupant chercheur·es, artistes, documentaristes et guides, rassemblés en 2022 au refuge de Temple-Écrins et dans l'ascension du pic Coolidge. Enfin le chapitre 7 aborde la mise en récit de la science via le 9^e art : l'écriture d'une bande dessinée comme une mise en abîme finale des travaux de cette thèse.

Partie I. Perception du vivant dans la marge terrestre de la haute montagne

Introduction

Cette première partie pose les réflexions initiales et épistémiques qui ont conduit à la production de cette thèse. La haute montagne est un espace où la vie terrestre arrive à ses limites en matière de densité, de diversité et de fonctionnalité. Dans la perception humaine, elle est avant tout un espace de survie physiologique et, paradoxalement, de réalisation personnelle et sociale. Longtemps inaccessible mentalement et matériellement, la haute montagne était reléguée à l'habitat d'étranges créatures, interrogeant déjà sur les formes de vie terrestre (chapitre 1). La science va s'y exercer de manière singulière, impliquant à la fois un biais disciplinaire (absence de la science du vivant et domination écrasante des géosciences – géologie et glaciologie) et un biais sociologique dans la production même de science, les sommets restant longtemps dépourvus de la présence corporelle des scientifiques, malgré le « mythe » entourant Saussure (chapitre 2). De cette analyse géohistorique sont tirées les questions de recherche de cette thèse et la méthodologie générale mise en œuvre (chapitre 3).

Chapitre.1 Les dragons et la haute montagne habitée : la première biodiversité d'altitude

1.1 Introduction : d'un imaginaire à l'autre

La première diversité biologique insoupçonnée décrite des hautes montagnes fut celle des dragons. Singulières rencontres si l'on considère par le prisme de notre modernité que les dragons n'existent pas et que la haute montagne est assurément un désert – certes grandiose par ses protubérances rocheuses et glaciaires, mais inhabitée. Quelques humains en transition, épurés de l'existence profane, rejoignent dans les hauteurs la seule entité à leur image : Dieu. Revenons à l'Annapurna, le 3 juin 1950 : Herzog et Lachenal en atteignent le sommet à midi passé. Le premier y dépeint une géographie mystique : « *Une coupure immense me sépare du monde. J'évolue dans un domaine différent : désertique, sans vie, desséché. Un domaine fantastique où la présence de l'homme n'est pas prévue, ni peut-être souhaitée. Nous bravons un interdit, nous passons outre un refus, et pourtant c'est sans aucune crainte que nous nous élevons. La pensée de la fameuse échelle de Thérèse d'Ávila me saisit. Des doigts se cramponnent à mon cœur...* » (Herzog 1951, p.198). Annulant à nouveau d'un trait de plume toute idée de vie autre qu'humaine, Herzog invisibilise *de facto* ce qui pourrait entacher le dialogue exclusif de l'Homme avec le divin. De la créature avec son créateur. En y ajoutant un soupçon d'insolence adolescente – puisque s'élever physiquement serait braver un supposé interdit – Herzog ajoute de la familiarité avec l'être suprême, comme pour envisager une filiation directe. Dans la même veine, une des catégories d'expérience ascensionnelle décrites par Bozonnet (1992) est celle du « geste monarchique » : grimper une montagne élèverait tant le corps que le statut, et par extension, l'esprit. Le divin est à peine moins présent, mais la prétention à la supériorité, à l'unicité n'est en rien affaiblie : « *La montagne permet de juger qui est digne de figurer dans le lot restreint des "vrais" hommes et des héros, les élus, et qui est appelé à la médiocrité, à la déchéance, voire à la malédiction.* » (Bozonnet 1992, p.47).

Ne pas voir – fût-ce par l'acmé de la création divine que serait l'espèce humaine – confère-t-

il raison ? L'anthropologue Tim Ingold (2013) aime à rappeler que nos sociétés modernes s'acharnent à mettre en garde nos jeunes écoliers contre les leurres de leur imagination ; qu'ils doivent se méfier de leur sens. Aux yeux de cet auteur, la perception est au contraire un lien direct de l'humain avec l'environnement dans lequel il vit, agit, interagit. Historienne de l'art et philosophe, Estelle Zhong Mengual (2020) souligne un élément clé d'une réhabilitation des sens et donc du sensible en science : « un savoir transforme notre sensibilité et [une] sensibilité fine nous permet de mieux comprendre » (p.24). David Abram (2021), imprégné de la phénoménologie de Maurice Merleau-Ponty, insiste avec subtilité sur le fait que « le sensible est la base organique de la pensée ». À la suite de ces auteurs, nous pouvons facilement faire nôtre l'idée que voir, ou plutôt savoir voir, est déjà une phase de la connaissance. Ce que Arpin et al. (2015) désigne sous le terme évocateur de « régime de perception », à savoir un processus combinant l'éducation de l'*attention* (à des organismes vivants ciblés) tout autant que les mécanismes d'*inattention* induite (cf. §3.2.4.1). Ainsi ne pas voir n'implique pas la non-existence. Depuis Copernic et sa découverte de l'héliocentrisme, de Pasteur et celles des microbes, on sait que nombre de mouvements et d'organismes échappent à nos sens. On m'objectera que les dragons ne sont pas des microbes, et qu'ils sont supposés être des créatures terrestres de taille conséquente. Les descriptions faites de leurs morphologies, modes de chasse, de locomotion, auraient assurément permis à de nombreuses personnes de les détecter. Ces deux propositions (détection et description) ont été consignées avec minutie par un éminent savant de son temps : Johann Jakob Scheuchzer (1672-1733).

1.2 Les hautes montagnes de Scheuchzer : dragons, Déluge et rationalité

1.2.1 Les dragons et les fossiles : un vivant encombrant

Originaire de Zurich, Scheuchzer est formé à la médecine, et donc à la botanique – domaine dans lequel il excelle. Infatigable voyageur au sein même de l’Helvétie, il s’applique à recueillir avec méthode et précision les témoignages directs d’observateurs de dragons. Cette enquête est poussée au point d’aboutir à une taxinomie fine impliquant les différentes morphologies ; les modes de locomotion (volant, rampant ou encore marchant) ; des caractéristiques précises comme l’ordre inversé des dents ou la barbe sous le menton ; les sifflements de différentes natures ; et enfin la diversité de leurs *habitus* (lieux de vie). L’ensemble est consigné et illustré dans un de ses ouvrages majeurs, *Itinera per Helvetiae alpinas regiones* (1723), relatant ses neuf voyages scientifiques menés tout au début du 18^e siècle. Ce livre, en quatre volumes, est constellé de cartes, de gravures et bien sûr d’observations botaniques. Il a été publié avec l’appui financier et sous le patronage de la *Royal Society* de Londres, dont le président de l’époque n’était autre qu’Isaac Newton (1643-1727). S’ajoute à cela le fait que Scheuchzer est également un savant recommandé par le grand mathématicien et philosophe rationaliste Gottfried Wilhelm Leibniz. Il est remarquable que les deux grands mathématiciens, en conflit ouvert sur la paternité du calcul intégral – conflit allant jusqu’à créer des tensions diplomatiques entre les empires britannique et prussien – adoubent de manière commune le savant helvète. Fort de telles cautions scientifiques et morales, armé d’une méthode claire mise en œuvre dans le recueil des éléments d’observation, la réfutation de l’existence des dragons apparaît impossible. Scheuchzer précise qu’il « se limite à une description historique circonstanciée, répartie par cantons portant sur les dragons suisses, et sur la base de témoignages écrits, authentifiés ou encore de récits oraux transcrits par moi-même » (*in Gros 2000, p281*). Gros (2000) précise encore que « chaque trait spécifique est validé par des témoignages qui se recourent en des lieux et époques éloignés » (p.281). Un élément matériel, tangible, marque Scheuchzer dans sa recherche : la pierre du dragon de Lucerne (Suisse). Selon la lé-

gende, un dragon enflammé volant vers le sommet du Pilatus (2128 m) passa si près d'un fermier – nommé Stämpfli – que la puanteur et la chaleur lui firent perdre connaissance. À son réveil, il trouva dans un amas de sang coagulé une pierre ronde, qui devint vite célèbre tant par son aspect singulier, sa supposée origine (l'intérieur du crâne du dragon), que par ses propriétés miraculeuses, notamment sur le plan curatif. Scheuchzer la qualifia de « la plus étrange des curiosités de tous les musées »¹³.

Force est pourtant de constater que de nos jours, l'existence des dragons est de moins en moins admise. Pour reprendre Gros (2000), fustigeant les simplifications faites des travaux de Scheuchzer, « il faut admettre que l'effort d'entrer dans une époque et une mentalité en y reconstituant la vision d'alors – ou celle d'ailleurs – semble aussi difficile pour les érudits en chambre du 20^e siècle que de fréquenter une tribu lointaine ou encore les montagnards eux-mêmes. » (p.285). Renvoyés aux histoires pour enfants, les dragons y occupent depuis lors une place d'une grande importance : tous les enfants – et les adultes qui ont été des enfants – sont capables de décrire avec force détails ces fascinantes créatures. Car combien peuvent le faire de l'herbe sur laquelle ils marchent ? Comme le souligne J.C. Cavallin dans « Valet noir » (2021) : « Contrairement aux apparences, les dragons sont plus réels que les voleurs [...] », car ils agissent au plus profond des émotions, sont les « métaphores adéquates de la terreur que l'enfant éprouve au fond de son lit [...] ». » (p.54). L'imaginaire des dragons jette l'enfant « entre deux mondes : le monde étroit de sa chambre, familière et protectrice, et ce monde des origines, “démessurément puissant”, dont notre culture moderne a exorcisé la terreur, anthropisé les puissances et démantelé l'emprise. » (p.56). Pour Cavallin, il n'est pas question de pleurer un terrifiant monde perdu, mais de souligner que cette peur est « la condition d'un dialogue avec les lieux [fréquentés] et dont les nombreux habitants (bêtes, plantes, esprits, autres créatures) tissent son écologie ». Pour reprendre l'expression de Morizot (2016)¹⁴, les dragons offraient une *diplomatie* avec la haute montagne et sa *puissance d'agir* (Latour, 2015)¹⁵. Voir des dragons, c'était dialoguer avec les éléments des hauteurs. « Au lieu donc d'opposer magie et science, il vaudrait mieux les mettre en parallèle, comme deux modes de connaissance, inégaux quant aux résultats théoriques et pratiques... mais non par le genre d'opérations men-

13 naturmuseum.ch/home.php?sL=dau&sA=erdw&action=drac

14 « Les diplomates »

15 « face à Gaïa »

tales qu'elles supposent toutes deux, et qui diffèrent moins en nature qu'en fonction des types de phénomènes auxquels elles s'appliquent » (Levi-Strauss 1962, p.26).

1.2.1.1 *Stephen et le compromis épistémique de la haute montagne*

Leslie Stephen (1832-1902), philosophe, homme de lettres et journaliste, a été un alpiniste accompli, acteur marquant de l'âge d'or de la discipline (1854-1865) durant lequel de nombreux sommets alpins ont été gravés pour la première fois. Un temps président du célèbre *Alpine Club* de Londres, il est notamment connu – au moins dans le milieu de l'alpinisme – pour son ouvrage sur les Alpes *The Playground of Europe*¹⁶. Publié en 1871, le livre est rapidement devenu un *best-seller* (Stephen 1871). Et peut-être plus encore son titre, qui a littéralement gagné un statut iconique, en devenant l'étendard d'une vision passéiste de la haute montagne : parler des Alpes comme d'un « terrain de jeux » est assurément la marque d'un constructivisme d'une autre époque.

Mais *The Playground of Europe* est à l'image de son auteur : inattendu. Car le titre de l'ouvrage est une critique toute britannique de la perception et de l'usage (le sien inclus) qui étaient faits des montagnes : lieu d'un champ lexical guerrier déjà évoqué et d'une vision toute prométhéenne du monde (Bozonnet 1992), Stephen appelle à repenser la relation de ses contemporains avec la haute montagne, en faisant l'histoire de cette relation (du moins, l'histoire de celle « écrite », donc *de facto* sélective). Appelant avec modernité à l'écoute et l'acceptation de ses ressentis, qu'ils soient de l'ordre de l'épuisement ou de l'émerveillement, il fustige l'alibi scientifique : « *those fanatics who, by a reasoning process to me utterly inscrutable, have somehow irrevocably associated alpine travelling with science.* » (p.107). Seigneur (2007) y voit une critique de la démarche scientifique en haute montagne. Stephen est au contraire un fin connaisseur de la science « en train de se faire ». Alors étudiant en philosophie et théologie, il avoue avoir totalement perdu la foi après lecture de *L'origine des espèces* de Charles Darwin, publié en 1859. Il deviendra un fervent défenseur de l'agnosticisme, concrétisant ses pensées par la publication, en 1893, d'une « apologie d'un agnostique » (« *An Agnostic Apology* »). Ainsi Stephen, sans être scientifique, est un homme imprégné de science. Ce n'est donc pas l'essence ou l'exercice de celle-ci qu'il critique, mais la légitimation que des contemporains vont chercher auprès d'elle pour gravir les sommets (cf. §2.2). Il est

16 « le terrain de jeux de l'Europe »

ainsi en complète opposition avec John Ball, président fondateur de l'*Alpine Club*, qui encouragea ses membres, dès la première édition de la revue du club, à faire des relevés et mesures scientifiques : « *Persons not possessing a competent knowledge of any particular branch of natural science cannot expect to contribute much to the existing store of knowledge by such chance observations they may make. To this remark, however, some exceptions may be made, especially in regard to those who attain positions not previously reached by men of science*¹⁷ » (Ball, 1859).

Pour Stephen, faire œuvre de science consiste plutôt à s'interroger sur la qualité épistémologique de l'expérience physique de la haute montagne. Rappelant que celle-ci était autrefois perçue comme un immense désert (« *The mountains were simply species of the great genus desert* » (p.14) – perception encore largement d'actualité), il souligne que même dans les époques « d'obscurité » (« *dark ages* »), il s'est trouvé des hommes de science pour essayer de voir et comprendre : « *men of science had penetrated their recesses, had hunted for rare herbs upon their slopes, had attempted to account for glacier motion, and had given, as they imagined, a perfectly satisfactory account of the origin of the mountains themselves* »¹⁸ (p.15). C'est précisément à la suite d'un tel descriptif que Stephen en vient à évoquer le travail de Scheuchzer sur les dragons, considérant que le botaniste suisse représente « *the intellectual stage at which a growing scepticism has made a compromise with old-fashion credulity* »¹⁹ (p.16).

Scheuchzer n'apparaît pourtant pas dans ses propres écrits comme porteur d'un quelconque scepticisme – au sens d'une remise en cause de l'influence divine – mais il cherche clairement à trouver un compromis entre l'objectivation manifeste de ses observations et les écritures bibliques qui étaient alors les seules explications causales du monde jusqu'à la fin du 18^e siècle. C'est au sein d'une telle cosmologie qu'il va trouver – pour reprendre les mots de Stephen – une explication « parfaitement satisfaisante » de ses plus célèbres observations en

17 « Les personnes n'ayant aucune compétence dans une quelconque branche des sciences naturelles ne peuvent espérer voir leurs observations fortuites contribuer aux connaissances actuelles. Toutefois, il existe quelques exceptions à cette affirmation, concernant en particulier ceux qui accèdent à des lieux non préalablement atteints par des hommes de science » (traduit par nos soins, ainsi que toutes les autres citations en anglais).

18 « Les hommes de science avaient pénétré les recoins des montagnes, chassé des herbes rares sur leurs pentes, tenté de rendre compte du mouvement des glaciers et avaient donné, comme ils l'imaginaient, une explication parfaitement satisfaisante de l'origine des montagnes elles-mêmes. »

19 « le moment intellectuel où un scepticisme croissant a trouvé un compromis avec la crédulité d'antan. »

montagne : les fossiles.

1.2.1.2 *La haute montagne comme « herbier du Déluge »*

En effet, Scheuchzer a accédé à la célébrité bien plus pour ses travaux de *paléobotanique* (étude des plantes fossiles) que pour ses enquêtes sur les dragons. Il est d'ailleurs considéré comme le fondateur de cette branche de la paléontologie – qui constitue dans le cas présent un autre apport fondamental à la biodiversité des hauteurs. Ainsi, sa vie durant, Scheuchzer accumula des fossiles de plantes et d'animaux, et en fit des descriptions à la fois novatrices et théologiques : il fut un des premiers à considérer les fossiles comme d'origine organique (Gaudant 2008), c'est-à-dire résultant de la transformation d'organismes vivants en « pierre », à savoir le processus de *fossilisation*, encore parfaitement inconnu à l'époque. Durant de longs siècles, les fossiles – alors baptisés « pierres figurées » – étaient considérés comme des « jeux de la nature », résultant de l'action supposée de suc lapidifiant imprimant dans la roche des animaux ou des plantes vivant en souterrain. Une caractéristique fondamentale des pierres figurées était la *synchronie* : roches et organismes étaient considérés comme contemporains des observateurs et récolteurs de fossiles. Le temps n'était pas acteur du phénomène. À ce mystère de constitution s'ajoutait la surprenante géographie de certains fossiles : des coquillages et d'imposantes coquilles d'animaux marins se rencontraient au sommet de montagnes. Scheuchzer combina à l'origine organique des fossiles une explication à cette géographie singulière : les fossiles étaient des restes d'organismes vivants ayant succombé au déluge biblique. Sa pensée avait en cela été grandement influencée par John Woodward (1665-1728), médecin et géologue britannique, qui conféra une *histoire* à la Terre. Son ouvrage *Essay toward a Natural History of the Earth* (1695) cale l'origine de notre planète « contemporaine » comme résultant des conséquences cataclysmiques du « déluge universel ». En cela, il reste dans l'orthodoxie biblique, mais avec cette nuance près : comme Thomas Burnet (1635-1715) avant lui, il considère que la Terre n'est pas à l'identique depuis la création divine. La Terre, comme les organismes devenus fossiles, a donc une histoire et échappe – même à la marge – à la conception totalement fixiste véhiculée par les monothéismes. Suivant cette conception des fossiles, Scheuchzer publiera en 1705 *l'Herbarium diluvianum* – « l'herbier du déluge » – toujours avec l'imprimatur de la *Royal Society* et de son président, Isaac Newton. Illustré de nombreuses et magnifiques planches de fossiles, l'ouvrage ne met pas en souffrance l'hypothèse

diluvianiste malgré l'impossibilité d'attribuer la majorité des plantes « figurées » dans la roche à des plantes vivantes.

La montagne a ainsi eu un rôle capital dans la pensée de Scheuchzer – et particulièrement ce qu'il appela « la haute montagne ». En lui offrant des contrastes géographiques saisissants avec les bords de mer, elle lui servit d'allier à sa défense de la théorie diluvianiste. Mais Scheuchzer, aussi théiste soit-il, n'en demeure pas moins une personne en questionnement. À l'instar de son enquête sur les dragons, il existe entre lui et la haute altitude un dialogue qui se manifeste par l'évolution de la relation géographique et philosophique qu'il entretient avec elle. En 1702, de retour de sa première expédition dans les montagnes suisses, il publie *Specimen Lithographiae Helvetiae curiosae*, ouvrage dans lequel il exprime ses doutes sur la nature des fossiles : « Que ce soit un très important témoignage d'une inondation universelle ou une preuve décisive d'une nature façonnant des formes *sur les hautes crêtes des Alpes*, il est remarquable que l'on trouve des pierres figurées de différentes sortes *sur les hautes montagnes de la Suisse*. » (in Gaudant 2008, p.14). Quelques expéditions alpines plus tard, il récidive : dans son opuscule *Piscium Querelae et Vindiciae*²⁰ (1708), il prend avec humour la parole pour les poissons fossiles, mettant ces mots dans leurs bouches : « Animaux doués de raison, aurions-nous pu être ensevelis dans des mines de métaux, et dans les couches *des plus hautes montagnes*, par un autre débordement que celui, universel, qui fut fatal aux hommes et aux bêtes [...] » (p.39). Puisqu'à ses yeux les fossiles sont le résultat de l'enfouissement d'animaux et de plantes dans une boue qui s'est transformée en pierre, les montagnes sont un allié essentiel à sa théorie : les espaces *géographiquement* les plus incompatibles avec les lieux de vie des poissons sont les sommets alpins. Ce contraste est plus marqué encore si ces sommets sont élevés, car plus éloignés encore du niveau de la mer. Ainsi, le fait que des poissons, à présent fossiles, aient pu occuper de telles altitudes n'a pu être la conséquence que d'un seul phénomène titanesque : une montée des mers jusqu'au sommet des plus hautes montagnes. Bref, le fameux « Déluge universel ».

Poursuivant ses expéditions alpines jusqu'en 1711, Scheuchzer gagne assurément en expérience de la montagne : il fait l'ascension de nombreux sommets alors accessibles physiquement et « autorisés » au sens des croyances locales. En 1713, il édite la carte la plus précise ja-

²⁰ Traduit par « Doléances et revendications des poissons » (Gaudant 2008)

mais réalisée en Suisse : *Nova Helvetia tabula geographica*. La réalisation de cette carte permet d'affirmer que Scheuchzer disposait de la meilleure connaissance géographique possible des Alpes helvétiques. Cette connaissance acquise bouscule sa théorie naturelle du Déluge. Il écrit ainsi, en 1726²¹: « Sur les sommets les plus élevés des Alpes Rhétiques, Valaisannes, Lépondiennes, il a peu, ou point de vestiges du Déluge. Ils sont absents. » (p.119). Ne reniant pas sa position, il propose cette explication quelque peu laborieuse : « Des couches de terre nouvelle s'étant dressées, les eaux sont descendues, et avec elles les Coquillages, jusqu'à la profondeur des eaux convenant à la vie et à la nature. » (p.119). En somme, comme précisé en 1702 et 1708, les eaux du Déluge ont bien monté jusqu'au sommet des plus hautes montagnes terrestres, mais celles-ci auraient un peu « poussé » et les eaux se seraient un peu retirées... Scheuchzer a surtout grandement étendu son terrain et sa géographie des montagnes : son régime de perception a changé. Ce qui était lors de ses premiers voyages « les hautes crêtes des Alpes » ont été révisées en de plus modestes sommets au vu de sa découverte de l'Oberland bernois et des Alpes valaisannes. Ces expéditions en altitude se retrouvent dans ses observations botaniques : à Grindelwald, au pied des trois géants – l'Eiger, le Mönch et la Jungfrau – il note l'astragale des Alpes (*Astragalus alpinus*) « près des montagnes glacées » (« *In pratis Grindeliae Vallis prope montes glaciales* ») (p.509) ; pour la saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*) – plante la plus haute jamais notée dans les Alpes²² – il évoque sa présence aux limites des glaces sommitales : « [elle] s'élance vers les cimes des Alpes et sur ces roches neigeuses nouvellement exposées ». La botanique a ainsi été pour lui un puissant moteur d'exploration des plus hautes altitudes permises à l'époque. Cette expérience physique, corporelle, des sommets lui a clairement permis d'affiner ses observations de fossiles et de définir leurs distributions géographiques. Et *in fine*, d'appréhender l'espace où plus rien n'est à voir. Contrairement aux dragons, ne plus voir a permis à Scheuchzer de mieux voir (Dilley 2010) : il n'y a effectivement (presque²³) pas de fossiles en haute montagne, car dans l'écrasante majorité des cas, les plus hauts sommets des Alpes sont faits de roches issues d'un magma lentement refroidi dans les profondeurs terrestres (roches dites *plutoniques*, comme le granite ou le gneiss). La fossilisation n'est possible qu'à la surface terrestre et résulte de boues durcies. Scheuchzer n'avait pas ces éléments géologiques, mais il a vu, entériné les différences.

21 Dans *Homo Diluvii Testis*

22 à 4504 m d'altitude, sur la face sud du Dom des Mischabels, Alpes valaisannes (Körner 2011)

23 Exception notable du Pelvoux

Les dragons sont alors redevenus les seuls habitants des hautes altitudes.

1.2.2 L'homme du déluge

Scheuchzer distingue ainsi clairement ce qu'il voit de lui-même (les fossiles) et ce que d'autres ont vu (les dragons), dont il rapporte les témoignages. Il rend visibles les deux phénomènes, via ses écrits et de magnifiques gravures. Un aspect de son parcours est plus intrigant : ce qu'il a absolument *voulu* voir. Ce trait de caractère individuel n'est pas des plus originaux, mais pour une personne s'étant appliqué aux sérieux des observations, elle peut surprendre. Scheuchzer, pour entériner pleinement sa théologie naturelle ancrée sur l'occurrence du Déluge, voulait trouver un humain fossilisé : en effet, la vocation du Déluge ayant été d'éradiquer l'espèce humaine (à l'exception notable de Noé et de sa progéniture), des traces fossiles de leur corps devaient exister. Mais malgré sa collection colossale de fossiles d'animaux en tout genre et son *Herbarium diluvianum*, cette lacune manifeste n'avait pas été comblée. Il avait d'ailleurs élaboré une théorie assez peu charitable pour expliquer cette rareté manifeste : « les Hommes, qui tous, excepté la famille de Noé, et même pas en totalité, s'étaient détournés du droit chemin, méritaient la décomposition, non seulement physique, mais infernale, et un éternel oubli. Leurs cadavres nageaient à la surface des eaux, leur chair se putréfia et, en ce qui concerne leurs os, submergés par hasard, il n'est pas toujours si facilement possible de juger s'ils sont humains » (p.121). Mais heureusement – si l'on peut dire – est découvert en 1725 le fameux chaînon manquant de sa théorie : le fossile d'un homme « témoin du déluge », l'*Homo diluvii testis*. Une courte publication sera même faite dans les *Philosophical Transactions*, la revue de la *Royal Society*. L'effet de cette découverte est immense, tout comme la gloire, déjà bien établie, de Scheuchzer. Ce n'est qu'en 1809 que le père de l'anatomie comparée, Georges Cuvier (1769-1832), démontrera que l'*Homo diluvii* était en réalité une salamandre géante. La méprise, pour le médecin que fut Scheuchzer, laisse songeur sur ladite médecine de l'époque, et ce d'autant plus que sous l'impulsion de Leibnitz, Pierre-le-Grand lui-même avait fait à Scheuchzer la proposition de devenir son médecin personnel (de là à dire que Pierre-le-Grand aurait pu être une salamandre, ce serait le risque d'insulter la mémoire

d'un tsar !). Mais Cuvier ne se montra pas sévère sur l'erreur. Il était plutôt admiratif de l'énorme travail scientifique de Scheuchzer, à une époque où le savoir issu de l'observation pesait encore bien peu face au principe d'autorité (Hacking 2002, p.40). L'empirisme de Bacon n'avait pas encore chassé la scolastique. Cuvier ne s'intéressa pas à la fable du Déluge, mais il reprit à Scheuchzer l'idée que des cataclysmes peuvent façonner l'histoire des espèces – *histoire* entendue au sens d'une suite d'évènements dans le temps, sans aucune transformation intrinsèque ou évolutive des espèces²⁴. Contrairement à ce que pensait Scheuchzer, les espèces fossiles sont des espèces disparues. Si le savant suisse avait su s'aventurer sur une histoire de la Terre, il ne franchit pas le pas intellectuel de celle du vivant. Et si le paradigme de l'Évolution et de la sélection naturelle n'était pas encore d'actualité, Cuvier introduisit le temps dans l'histoire des organismes, en inventant le célèbre terme d'*extinction* : toutes les espèces fossiles sont à présent *éteintes*, c'est-à-dire qu'elles ont disparu de la surface terrestre. Ce terme et la pensée inhérente furent grandement popularisés en 1854, à Londres, lors de l'exposition de squelettes d'animaux titanesques reconstitués à partir de fossiles. Quelques années plus tôt, Richard Owen s'était rendu célèbre en baptisant ces impressionnants animaux éteints du nom de « dinosaures » (du grec *deinos* terrifiant et *sauros* lézard).

À la suite de l'expertise de Cuvier, l'*Homo diluvii*, transformé en « simple » salamandre, fut rebaptisé d'un nom scientifique rendant hommage à Scheuchzer : *Andrias scheuchzeri*. « Andrias », en grec, signifie *image de l'homme*, terme qui résume parfaitement la quête éperdue de Scheuchzer pour solidifier sa théorie diluvienne.

1.2.3 La rationalité de Scheuchzer

1.2.3.1 Un patronage iconique : Isaac Newton

Newton n'a pas uniquement contribué à la flore du Déluge ou à la taxinomie des dragons, il a aussi été l'inventeur d'un autre agent invisible : *l'attraction universelle des corps*. Cette force surprenante, Newton en a eu l'idée sans le seul usage rationnel de sa pensée, car il était autant porté sur les logiques mathématiques et physique que sur l'alchimie et la religion. À une

²⁴ Comme pour l'« histoire naturelle », il faut entendre ce terme comme celui appliqué à l'histoire de l'humanité

époque où la science n'avait absolument pas les cadres disciplinaires et méthodologiques actuels, la pratique de l'alchimie, dans le huis clos du laboratoire, consistait en des expérimentations tant sur la matière et sur les forces occultes. C'est donc autant par une capacité d'abstraction mathématique remarquable que par la puissance de l'imaginaire et d'une foi inflexible que Newton a littéralement *cru* à cette force d'attraction entre les corps. Descartes, en pur rationaliste, adhérant de la mécanique des corps telle qu'opérant à la surface terrestre, pensait qu'une matière (l'éther) liait les planètes entre elles, comme un océan reliant des îles – à ceci près que ces îles (les planètes) étaient mises en mouvement par d'imposants tourbillons (Munoz Santonja 2018). Dans cette ontologie du savoir, force est ainsi de constater que l'*attraction universelle* n'est devenue révolution scientifique que par la foi féroce de son découvreur (Schaffer 2011 ; Latour 2015).

Newton ne s'est pas intéressé au vivant tel que nous nous le représentons de nos jours. Contrairement à Scheuchzer, c'est bien à l'astronomie et aux mathématiques qu'il s'est voué. Mais vers 1669, il écrit un traité d'alchimie, sans titre, mais que l'usage a gardé sous le nom évocateur de *The Vegetation of Metals* (« la végétation des métaux ») (Westfall 1980). Newton serait-il devenu botaniste sur le tard ? En cette fin de 17^e siècle, l'alchimie avait considérablement évolué et s'était éloignée de ses origines médiévales. Boyles n'allait pas tarder à formaliser l'expérimentation alchimiste en une discipline structurée : la chimie. Mais certains principes fondateurs de l'alchimie restaient en vogue, comme celui de la *vie* des métaux. Pour les alchimistes, il n'y avait en effet qu'un seul métal véritablement abouti : l'or. Tous les autres n'étaient qu'une matière imparfaite qui n'avait pas atteint son stade ultime de transformation. Comme le souligne Richard Westfall (1980) dans sa biographie du mathématicien, les alchimistes tentaient littéralement de « faire pousser de l'or » (p.20).

Newton attribuait ainsi aux différentes formes que prenaient les métaux étudiés des caractéristiques végétales : une croissance indéfinie, un feuillage et des ramifications plus ou moins anarchiques. À cela se combine un point essentiel : comme tous ses condisciples, Newton considérait les métaux habités d'un « agent vital ». En somme, les métaux étaient vivants. En suivant Foucault (1969), nous éviterions un jugement anachronique en considérant qu'à l'époque de Newton, « la *vie* n'existait pas ». Affirmation provocatrice qui souligne le fait que la *vie* au sens où nous l'entendons actuellement, recevant un nombre incalculable de défini-

tions (chimique, mécanique, thermodynamique, etc.), n'était pas une notion en soi. La vie était un principe, ou un agent, diffusé et dicté par le divin. Les métaux croissaient donc au même titre que les plantes, le rapprochement n'étant que la résultante à leur opposition ontologique aux êtres animés (« animaux »).

Les chimistes ont depuis largement déconstruit cette vision. Mais Newton l'astronome aurait peut-être goûté l'intégration de tous les métaux dans les particules élémentaires de l'univers. Et si faire pousser de l'or reste une fièvre encore contagieuse de nos jours, ce maraîchage singulier ne se fait plus par l'expérimentation consubstantielle aux alchimistes.

1.2.3.2 *L'amalgame créationniste*

Scheuchzer a été très admiré pour ses travaux d'observation du monde naturel. Un genre botanique et plusieurs espèces de plantes lui ont été dédiés, et ce par plusieurs générations de botanistes : le genre botanique *Scheuchzeria*, en 1753, par Carl von Linné, l'inventeur de la nomenclature botanique encore en vigueur (cf. §3.2.4.2) ; une campanule (*Campanula scheuchzeri*) en 1779, par le botaniste français Dominique Villars, lequel fut le principal descripteur de la flore des Alpes occidentales ; une raiponce (*Phyteuma scheuchzeri*) par un autre grand botaniste alpin de la seconde moitié du 18^e, l'italien Carlo Allioni ; une linaigrette (*Eriophorum scheuchzeri*) en 1800, par le botaniste allemand David Heinrich Hoppe ; ou encore un séneçon (*Senecio scheuchzeri*) par son compatriote suisse Jean Gaudin, en 1829. Pas moins de 18 espèces ont ainsi été décrites et nommées en son hommage.

J'ai toutefois réalisé, en faisant des recherches sur cet éminent naturaliste, qu'il n'était pas sans danger de mettre en lumière la richesse de son travail et de ses observations, menés dans une cosmologie créationniste. Le créationnisme, la « théologie naturelle » de Scheuchzer, est en effet bien moins affaibli qu'il pourrait être supposé en première approche. Niant la théorie de l'Évolution et nombre de travaux scientifiques menés depuis des siècles, cette théorie religieuse reste très en vogue aux États-Unis, où elle est enseignée au même titre que la théorie darwinienne dans certains états fédéraux (Clément & Quessada 2008 ; Taquet 2009). Et bien qu'elle soit rejetée de toute forme d'enseignement en France, il est surprenant de constater qu'elle y trouve encore des porte-parole. Ainsi, la seule « évaluation » de l'ouvrage de Scheuchzer « *Doléances et revendications des poissons* », présenté par Gaudant (2008), est écrite

ainsi : « Meilleure évaluation de France²⁵ (commenté en France le 8 septembre 2016). *Un livre intéressant. Toutefois, Jean Gaudant aurait pu s'abstenir de faire ses petits commentaires évolutionnistes. Je sais bien que c'est la nouvelle religion dogmatique des scientifiques modernes, mais quand même... Johann Jakob Scheuchzer n'était pas de ceux-là* ». Voilà de quoi laisser interloqué. N'étais-je pas, par l'exposition de l'approche de Scheuchzer, en train de donner des arguments à des personnes tenantes d'une pensée religieuse doctrinaire ? En train d'encourager des logiques anti-science, voire conspirationniste ? Il y a un aspect tristement ironique à lire que l'internaute cité use d'une critique à l'encontre de la science moderne qui sied parfaitement au créationniste. Peut-on répondre à de telles positions qui refusent le débat ? Latour (2015), dans une conférence et une pièce de théâtre, répond catégoriquement « non », qu'il est nécessaire de choisir un camp – les négationnistes ou les scientifiques – et ne jamais initier de discussion sans avoir de la part des supposés débatteurs la réponse à cette question : « Qui représentez-vous et pour qui vous battez-vous ? » (p.37).

Répondre à un *post* de bientôt 7 ans dans une thèse ne met toutefois pas en situation d'être acculé. Il est possible de proposer une réponse sous le *modus operandi* de la science : poser les termes du débat. La science n'y gagne pas toujours, mais elle est toujours perdante si elle use du même procédé que ses détracteurs : le dogme. C'est dans la même conférence que Latour éclaire ce qu'il convient d'appeler la « rationalité » de Scheuchzer, même par le prisme des dragons : « pour compliquer encore davantage la situation, les disciplines scientifiques assemblées pour élaborer ces faits devenus indiscutables, ne viennent pas de sciences prestigieuses comme la physique des particules ou les mathématiques, mais d'une multitude de sciences de terrain dont les certitudes n'ont été obtenues par aucune démonstration fracassante, mais par l'entrecroisement de centaines de milliers de petits faits, retravaillés par des modèles, tissu de preuves qui tirent leur robustesse de la multiplicité de données dont chacune reste évidemment fragile. Entre un tissu de preuves et un tissu de mensonges, on comprend que ceux qui ne savent rien des sciences soient prompts à confondre les deux – surtout s'ils ont tellement intérêt à ce qu'elles soient fausses. » (p.36). Scheuchzer avait des données fragiles (les témoignages), mais il est indiscutable qu'il cherchait à tisser des preuves : « Allier les analyses critiques de l'homme de terrain et les constructions d'une pensée n'excluant aucune forme de ra-

25 Site amazon consulté le 8/11/2021

tionalités, savantes ou populaires, sauvages, paysannes ou citadines, de type mythique ou scientifique, est très exactement une attitude contemporaine d'anthropologue que Scheuchzer pratiquait déjà » (Gros 2000, p.279). Scheuchzer, imprégné de données de terrain, avait la rationalité d'un Newton. Comme lui, il était un scientifique de la fin du 17^e et du début du 18^e siècle qui ne colle plus au standard moderne. Nous verrons dans la partie 3.5.2.1 que l'objectivité même – totem de la science moderne – a une histoire. Bien d'illustres savants de ces siècles passés étaient théistes : Blaise Pascal, Francis Bacon, Galilée, René Descartes, Isaac Newton, Gottfried Leibniz, Carl Linné, Georges Buffon... Il faudra attendre le scepticisme d'un Thomas Hobbes puis de la Révolution française pour qu'un Laplace ose répliquer à Napoléon Ier, qui lui reprochait l'absence de Dieu dans son traité d'astronomie, qu'il n'avait « pas eu besoin de cette hypothèse ». Scheuchzer en avait besoin, elle fondait sa cosmologie unitaire du monde. Mais indéniablement, il était de « ceux-là », de celles et ceux qui, dans un contexte social et historique donné, travaillèrent à « élaborer ces faits *devenus* indiscutables » mais dont chacune des observations, chacun des éléments d'enquête, « reste évidemment fragile ».

1.3 Conclusion du chapitre 1

La haute montagne a été un terrain d'étude du vivant fertile pour un savant comme Scheuchzer. Elle lui a offert une géographie suffisamment complexe et marginale pour que des éléments des cataclysmes passés et êtres merveilleux contemporains s'y observent d'un seul tenant : pierres figurées et dragons. Scheuchzer meurt en 1733. La paléobotanique n'en est qu'à ses débuts, mais les dragons alpins ne lui survivront pas. La haute montagne, désertée de ses terrifiantes créatures, va devenir mentalement et physiquement envisageable. Et son étude profondément renouvelée.

Chapitre.2 Les alpinistes et les limites terrestres du vivant : une contribution atypique à la connaissance scientifique (article n°1)

2.1 Introduction et contexte

2.1.1 Contexte et éléments de géographie des sciences

Cet article, sous forme de chapitre, est une passerelle entre deux périodes géohistoriques : la haute montagne de Scheuchzer et la haute montagne de Saussure. Dit autrement, il s'agit du passage du siècle de la « Révolution scientifique » (correspondant aux périodes de vie cumulées de Galilée et Newton) à celui de la « Révolution française », aux implications scientifiques multiples. Mais plus encore, la haute montagne d'après Saussure va entrer dans le siècle de l'objectivité scientifique, laquelle reposait sur l'axiome de « laisser parler la nature » (Daston & Galison 2012, p.143) en effaçant sa « subjectivité ». Ce que Latour (1991) – nous y reviendrons – qualifiera de « purification » : la nature « parlera », créera des « faits » grâce à l'expérimentation scientifique. Le 19^e siècle sera ainsi celui des observations objectives, faites de mesures et relevés sans interprétation de l'observateur, lequel devait être « bien disposé à la retenue, et hostile à l'interprétation [...] » (Daston & Galison 2012, p.144).

Ce travail de synthèse a été publié dans le numéro spécial de la Revue de géographie alpine « la montagne et les nouvelles manières de faire connaissance », sous la direction d'Isabelle Arpin, Anne Sgard et Coralie Mounet. Proposé en début de thèse, cet article est *de facto* incomplet au vu du travail de recherche alors à venir, mais a permis de poser certaines bases : première mobilisation de la sociologie de la traduction et de la géohistoire ; prise de position épistémologique sur l'importance des corps dans la pratique même de la science en haute montagne et sur l'approche de la cordée comme zone frontière des institutions investies. Le

caractère atypique de l'exercice de la science du vivant en haute montagne est illustré par quelques figures remarquables, généralement peu connues – ou, comme pour Edward Whymper, peu connu dans la facette abordée : celle d'une coproduction scientifique, d'une autre manière de « faire connaissance » (Sgard & Arpin 2021).

2.1.2 Éléments synoptiques de l'article

*Titre (FR) : **Les alpinistes et les limites terrestres du vivant : une contribution atypique à la connaissance scientifique**

*Revue : *Journal of Alpine Research*/Revue de géographie alpine (2021)

*Référence de publication : [doi : 10.4000/rga.9093](https://doi.org/10.4000/rga.9093)

*Contributions des auteurs : Cédric Dentant a conçu et réalisé la recherche exposée; il est également le principal auteur de l'article. Pascal Mao a participé à la conception de l'étude et a contribué à la rédaction. Sébastien Lavergne et Philippe Bourdeau ont contribué à la réflexion et à la rédaction de l'article.

*Résumé (FR) : cf. *infra*

*Erratum : dans le paragraphe de l'article intitulé « Edward Whymper : la découverte de la biodiversité extrême », il a été écrit que Whymper est entré à 25 ans à la *Royal Society*. Il est en fait entré à la *Royal Geographical Society*. L'erreur a été corrigée dans le texte qui suit (§2.2) et ne corrompt pas le reste de l'article. Précisons que Whymper espérait que son expédition dans les Andes lui permette d'intégrer la *Royal Society* – sans pour autant aboutir.

2.2 Article

Les alpinistes et les limites terrestres du vivant : une contribution atypique à la connaissance scientifique

Cédric Dentant^{1,2}, Pascal Mao¹, Sébastien Lavergne³ & Philippe Bourdeau¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Sciences Po Grenoble, Pacte, 38000 Grenoble, France

² Parc national des Écrins, Domaine de Charance, 05000 Gap, France

³ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LECA, 38000 Grenoble, France

Résumé

La haute montagne a longtemps été considérée comme un espace dépourvu de vie. Si la science a dès les premières explorations des hautes altitudes été un puissant moteur de légitimation et de mise en récit, les sciences du vivant (biologie, écologie) n'y ont occupé qu'une place marginale. Même l'inventeur de la biogéographie, Alexander von Humboldt, ne voyait que peu d'intérêt à l'étude de ces marges de la biosphère. Toutefois, des pionniers de l'alpinisme ont abordé ces *terra incognita* au-delà du seul prisme de l'inconnu géographique. Des personnalités comme Edward Whymper ont perçu que l'engagement de leur corps dans ces milieux extrêmes pouvait être un puissant moyen de faire connaissance, grâce à la collecte d'organismes vivants insoupçonnés, et par extension devenir contributeurs de science. Il a fallu pour ce faire que des scientifiques professionnels s'emparent de ces objets intermédiaires, et se fassent eux-mêmes médiateurs entre le terrain et la théorie ; qu'ils deviennent des « êtres médiateurs ». Jusqu'à l'émergence d'un nouvel assemblage scientifique, impliquant de nouveaux acteurs issus de la biologie de la conservation. Les alpinistes se sont alors mués de corps collecteurs en co-producteurs de science.

Mots-clés : alpinisme, science du vivant, haute montagne, objets intermédiaires , êtres médiateurs

Abstract

High mountain environments have long been considered to be devoid of life. If science has been a relevant means of legitimization and narrative from the very first explorations of high altitudes, life sciences (biology, ecology) have occupied only a marginal place. Even the inventor of biogeography, Alexander von Humboldt, saw little interest in studying these margins of the biosphere. However, the pioneers of alpinism have approached these *terra incognita* beyond the sole prism of the geographical unknown. Personalities such as Edward Whymper perceived that the involvement of their bodies in these extreme environments could be a powerful means of producing knowledge, through the collection of unsuspected living organisms, and by extension to become contributors to science. Professional scientists had to take hold of these intermediate objects, and make themselves mediators between the field and theory; they had to become « mediating beings ». Until the emergence of a new scientific assemblage, involving new actors from conservation biology. Mountaineers have thus mutated from collector bodies to co-producers of science.

Keywords : alpinism, life science, high mountain, intermediate objects, mediating beings

Introduction

La montagne a historiquement exercé un puissant attrait pour la pratique de la science. Pourtant, la science du vivant est restée marginale en haute altitude, largement écrasée par l'investissement dans les sciences géophysiques, géographiques, médicales et sociologiques (Bigg *et al.*, 2009). Le récent regain d'intérêt pour Alexander von Humboldt²⁶, inventeur de la biogéographie, savant et naturaliste holistique, est la plus notable figure d'exception. Sa tentative d'ascension du Chimborazo (6263 m) en 1803, popularisée via des illustrations scientifiques de grande qualité, y a grandement contribué. Il en va de même de la figure tutélaire d'Horace-Bénédict de Saussure, inventeur de la géologie et pionnier de l'alpinisme, malgré la parcimonie de ses observations biologiques en haute montagne (Merland, 1988).

Les premiers alpinismes (19^e siècle) ont fortement investi les mesures scientifiques pour donner une légitimité à leurs ascensions. Ce faisant, certains d'entre eux (Edward Whymper en tête) ont fait plus que glaner une légitimité : ils ont produit de notables contributions à la connaissance (mesures d'altitude, échantillonnages de roches, observations ethnographiques). Les découvertes récentes sur la biodiversité d'altitude (Marx *et al.*, 2017) et l'émergence de l'écologie historique appliquée à la haute montagne (Wipf *et al.*, 2013) encouragent une revisite de la relation entre sciences naturelles et haute montagne, et de fait entre sciences naturelles et alpinisme. Cette relation a historiquement amené à « faire connaissance » de manière singulière : l'observation d'espèces naturelles y étant une production de faits (Callon et Latour, 1990) non réalisée par les savants, car relevant d'une géographie « inaccessible ». L'objectif de ce texte est ainsi de tracer, par une approche géohistorique, la fabrique d'une biodiversité insoupçonnée aux limites altitudinales de la vie terrestre, et de montrer la fécondité d'une science socialement hétéronome.

La haute montagne et les limites de la vie terrestre

La haute montagne est classiquement définie comme l'espace géographique des reliefs s'étendant au-delà de la limite altitudinale supérieure de la forêt (Chardon, 1984) soit de 2000 m environ dans les montagnes européennes à plus de 4000 m en Himalaya. Dans les Alpes,

²⁶ Principalement dû à l'excellent ouvrage d'Andrea Wulf (2017)

elle inclut les landes, les pelouses alpines et l'étage nival – ce dernier caractérisé par les neiges « éternelles », les glaciers et sommets rocheux. Si les pelouses alpines définissent l'espace pastoral, l'étage nival est celui de l'absence de végétation. La haute montagne qui nous intéresse présentement est ainsi celle perçue comme un désert, non exploitée, non exploitable, aux limites du vivant et dont l'étude requiert un mode de déplacement atypique : l'alpinisme.

La haute montagne ainsi envisagée est une marge de la biosphère (Rougerie, 1990). Son environnement exerce des contraintes fortes sur les organismes : importantes amplitudes thermiques journalières et saisonnières ; fréquente alternance de gel/dégel ; forte intensité des radiations solaires ; sol absent ou peu développé ; faible pression atmosphérique. Körner (2011) décrit les conditions climatiques de la haute montagne en zone tempérée comme les conditions « limites » du fonctionnement physiologique des plantes à fleurs – et par extension pour une grande part des organismes vivants. Pourtant, ces conditions sont aussi facteurs de sélection naturelle, à l'origine d'une biodiversité atypique et largement méconnue (Marx *et al.*, 2017 ; Dentant, 2018) qui se caractérise par deux attributs notables : (i) une majorité de ces espèces sont endémiques de la haute montagne, de certaines régions montagneuses, voire de certains sommets²⁷ ; (ii) ces espèces présentent souvent des morphologies remarquables et très particulières, telles que la forme de vie en coussin, parfaitement adaptée aux hautes altitudes et latitudes²⁸.

L'alpinisme comme moyen corporel d'exploration

La découverte de cette biodiversité insoupçonnée n'est pas le seul fait d'un investissement récent. Dès l'événement fondateur de l'exploration scientifique de la haute montagne – l'ascension de Saussure au mont Blanc en 1787 – des observations d'organismes vivants dans les hauteurs ont été réalisées. Saussure note ainsi, lors de la descente du sommet, la présence de silène acaule (*Silene acaulis* subsp. *bryoides*) (Saussure, 1796), une plante en

²⁷ Comme exemple : la plante la plus haute de la cordillère des Andes, *Parodiodoxa chionophila*, découverte à 5800 m au Nevado de Cachi (Argentine), n'est à l'heure actuelle connue que d'une dizaine de localités.

²⁸ Ainsi en est-il de l'androsace du Viso (*Androsace vesulensis*), espèce en coussin endémique du sommet éponyme.

coussin typique, au lieu-dit du « rocher de l'heureux retour » (3505 m). Il s'agit de la première observation biologique jamais réalisée en haute montagne. Humboldt fit systématiquement référence à l'ascension de Saussure dans ses illustrations physiques et biogéographiques des sommets andins. Il produisit un nombre vertigineux de données naturalistes et physiques lors d'un voyage en Amérique latine, de 1799 à 1804, lesquelles lui permirent la publication d'une quantité tout autant pharaonique de travaux scientifiques. Certains, comme l'invention des isothermes ou la mise en évidence des étagements altitudinaux et latitudinaux des végétations, ont gagné la postérité (Debarbieux, 2012). Saussure et Humboldt ont été d'importants partisans de la science de terrain, laquelle assure tout autant la production de faits de connaissance (Latour, 1987) qu'une expérience sensible du réel garantissant une connexion à la nature étudiée (Livingston, 2003). Au 19^e siècle, cette approche a connu une véritable « sacralisation » dans des pays comme la Prusse ou l'Angleterre. Péaud (2014) souligne la forte influence de la philosophie kantienne dans le milieu scientifique germanique : « voir [le monde] donne à penser et donc à formuler un système de compréhension du monde ». Mais l'expérience d'un espace réel, l'imprégnation du terrain ne peuvent se résumer au seul sens visuel : elles impliquent le corps tout entier (Outram, 1996). Et la haute montagne, en tant que marge terrestre du vivant, est un espace qui intensifie la temporalité des corps (manque d'oxygène, efforts musculaires continus, déshydratation constante). S'il est entendu que *faire connaissance* implique le psychique et le cognitif, en haute montagne cela requiert aussi – et pleinement – le corps.

Aucun scientifique, après Saussure et Humboldt, n'investira de manière comparable la haute altitude. Il faudra attendre la naissance de l'alpinisme comme activité de loisir pour qu'un certain renouveau de l'exploration de cette marge terrestre voit le jour. En 1857 naît le premier club d'alpinistes : l'*Alpine club* de Londres. Ses membres sont des aristocrates et grands bourgeois disposant d'assez de temps libre pour faire des « excursions » dans les montagnes européennes. La majorité d'entre eux ont bien d'autres motivations que la science pour les escalader : la fascination, le sublime, la gloire, l'aventure (Macfarlane, 2003). Socialement et culturellement peu avouables, ces élans vers les sommets ont dû se draper de légitimité. La science, notamment l'Histoire naturelle, fut un des sésames d'acceptabilité. Ainsi John Ball, président fondateur de l'*Alpine club*, encouragea ses membres, dès la première édition de la revue du club, à faire des relevés et mesures scientifiques : « *Persons*

*not possessing a competent knowledge of any particular branch of natural science cannot expect to contribute much to the existing store of knowledge by such chance observations they may make. To this remark, however, some exceptions may be made, especially in regard to those who attain positions not previously reached by men of science*²⁹ » (Ball, 1859). L'alpinisme pouvait produire des faits de science dans un espace géographique où les corps des scientifiques étaient absents. S'inventait ainsi ce que Mao et Bourlon (2017) ont défini par « tourisme d'aventure à dimension scientifique ».

Dichotomie de la science : le terrain et le laboratoire

La proposition de Ball souligne un point essentiel : il existe un lieu géographique de l'observation scientifique (la haute montagne, que l'homme de science n'atteint pas) et un lieu géographique d'exercice conceptuel de la science (celui où ce même homme de science exerce sa fonction). Dans certains domaines (chimie ou mathématiques), le laboratoire combine ces deux lieux. Dans le cadre de l'écologie scientifique ou de la géologie, il existe une forte dichotomie entre le terrain (et ses observations *in situ*) et le laboratoire – espace confiné où tous les paramètres étudiés sont contrôlés ; espace également envisagé comme celui du lieu de la conceptualisation. Cette dichotomie a occupé une place centrale dans la structuration de la science au début du 19^e siècle, avec comme personnalité forte Georges Cuvier. Inventeur de l'anatomie comparée, ce dernier considérait le laboratoire ou le cabinet d'étude comme les lieux réels de pensée et de connaissance, soulignant que les explorations n'avaient ni l'investissement temporel ni l'étendue spatiale suffisant pour pleinement rendre compte du réel (Outram, 1996). À l'inverse, bien des savants ont vu dans l'exploration de terrain la porte d'entrée à leurs réflexions sur le monde : Saussure, Humboldt, Orbigny, Dolomieu, Wallace et le plus célèbre de tous, Darwin. Jeune scientifique, il fit le tour du monde pendant cinq années à bord du *Beagle*. Les pinsons qu'il observa aux Galápagos deviendront la plus populaire illustration de sa future théorie de l'origine des espèces. Si

29 « Les personnes n'ayant aucune compétence dans une quelconque branche des sciences naturelles ne peuvent espérer voir leurs observations fortuites contribuer aux connaissances actuelles. Toutefois, il existe quelques exceptions à cette affirmation, concernant en particulier ceux qui accèdent à des lieux non préalablement atteints par des hommes de science. » (traduit par nos soins, ainsi que toutes les autres citations en anglais)

Darwin n'a plus voyagé par la suite, son travail ultérieur doit beaucoup à cette expédition initiale. Nombre de ces voyages d'exploration furent ainsi assimilables à des rites initiatiques au milieu académique, au point que ces mêmes académies émirent des recommandations pratiques pour les comptes rendus d'expédition et les collectes des spécimens naturels.

Si elles ne sont pas mises en dualité, science de terrain et science de laboratoire peuvent pertinemment se compléter, comme l'a récemment démontré Faugère (2019) en analysant la mécanique sociale d'expéditions taxinomiques d'ampleur. Terrain et laboratoire forment les deux termes de la science utilisés par Reichenbach (cité par Hacking, 2004) pour la définir : le contexte de la découverte et le contexte de la justification. La découverte est ainsi l'exploration, l'inconnu, les lieux, les espaces non encore investis par des hommes de science. Elle est tributaire du contexte social, historique et géographique. La justification n'est question que de raison pure, affranchie de toute historicité. C'est la théorisation, la conceptualisation confinée en laboratoire. L'appel de Ball encourage ainsi les alpinistes à s'engager dans le *contexte de la découverte*. Il ne prétend pas que les alpinistes deviendront ainsi des savants, mais qu'ils pourront par l'engagement de leur corps contribuer à la science, produire de la connaissance – faire connaissance. Malgré une position jugée hérétique pour les défenseurs d'une science menée par les seuls « professionnels » (Lagasnerie, 2011), ce réseau de groupes sociaux aux compétences complémentaires, produisant des savoirs divers (factuels ou conceptuels) sur de mêmes organismes non-humains – lesquels en retour, par leur distribution géographique, façonnent la mobilité des humains – structure une *socio-nature* telle que formulée par Callon et Latour (1990).

Sigrist (2008) propose, dans un tel réseau, une hiérarchisation des savants : ceux de catégorie A (l'élite, citée en référence, riche de publications), ceux de catégorie B (professionnels, mais de moindre envergure, besogneux en publications) et enfin ceux de catégorie C (amateurs, collecteurs, dilettantes). Cette catégorisation pose la question même de définition du savant. Passé de « philosophe de la Nature » ou « physicien » (18^e) à « savant » puis « scientifique » (XIX^e), il est le « chercheur » d'aujourd'hui. La professionnalisation et l'appartenance *de facto* à diverses universités ou académies simplifient la définition sociale du chercheur. Mais aux 18^e et 19^e siècles, cette professionnalisation était loin d'être la norme. Et *a contrario*, l'appartenance aux académies n'était pas synonyme de

production scientifique. Ces catégories renvoient ainsi à la dichotomie terrain/laboratoire, non plus sous le seul angle de l'espace, mais aussi sous celui de la pensée : dès le 18^e siècle, un philosophe de la Nature était celui qui *théorisait* la Nature. Il ordonnait le monde par ses mots (Foucault, 1966). Très souvent, ses théories se basaient sur ses propres expériences, qu'elles soient de terrain ou de laboratoire. Mais la partition de la science promue par Cuvier s'est peu à peu imposée : le voyage corporel étant trop parcellaire, dans l'espace comme dans le temps, seule l'accumulation des échantillons et observations dans les laboratoires et muséums permettait d'embrasser l'ensemble des objets de connaissance et par extension de faire une analyse complète de la Nature (Outram, 1996 ; Livingston, 2003). Aux théoriciens de siéger dans les espaces dédiés à la science (les académies et muséums) ; aux « collecteurs » l'exploration de terrain. La haute montagne, encore largement *terra incognita* à la moitié du 19^e siècle, devint ainsi un des premiers espaces terrestres où cette partition de la science s'exerça. L'exemple de l'alpiniste Edward Whymper est éclairant à plus d'un titre.

Edward Whymper : la découverte de la biodiversité extrême

Edward Whymper a été recruté en tant que graveur, à l'âge de 20 ans, par l'éditeur William Longman pour illustrer la revue de l'*Alpine Club* « *Peaks, Passes and Glaciers* ». Sa mission était de réaliser des gravures des Alpes de Suisse et du Dauphiné – ces dernières étant encore presque totalement inconnues. Whymper va magnifiquement accomplir sa tâche, et plus encore révolutionner l'alpinisme par l'ascension de sommets majeurs encore jamais atteints. L'aboutissement de cette fringale des hauteurs est la première ascension du Cervin (4478 m), le 14 juillet 1865. Cette ascension se termina par un drame devenu célèbre (quatre des sept alpinistes périssant à la descente) et donna lieu au premier déchaînement médiatique sur ce qui sera appelé plus tard « l'alpe homicide »³⁰. Mais cette ascension conféra aussi à Whymper la gloire. Âgé d'à peine 25 ans, il entre à la *Royal Geographical Society*, club très élitiste qui assure au jeune homme de fructueuses rencontres avec d'éminents scientifiques de l'époque : le botaniste Joseph Hooker, l'anthropologue Francis Galton, l'entomologiste Henry Bates ou le géologue Charles Lyell. Après un début en science intuitif et sans méthode (relevés de plantes sur l'arête du Lion, versant italien du Cervin), ses

30 Expression popularisée par le romancier Paul Hervieu dans un ouvrage au titre éponyme de 1886.

fréquentations à la *Royal Geographical Society* le convainquent de monter une expédition scientifique à la recherche de fossiles dans la baie de Disko, au Groenland. Il s'arme de conseils auprès des savants rencontrés – et particulièrement du grand entomologiste et explorateur des Amazones Henry Bates – et investit à l'instar de Humboldt dans de nombreux instruments de mesure. Il recrute également un scientifique en charge de réaliser les relevés cartographiques et d'organiser les herbiers et collections de fossiles. Ce recrutement sera un désastre, l'individu, dénommé Brown, se révélant un ambitieux jaloux Whymper (Smith, 2011). Ce dernier, décrié dans sa démarche parce que n'étant pas un « professionnel » de la science (Brown le désignant à l'envi comme « un simple dessinateur ») eut suffisamment de ressources mentales pour passer outre et constituer seul une remarquable collection de fossiles. Au grand dam de Brown, Whymper envoya lui-même sa collection au plus prestigieux paléobotaniste de l'époque : Oswald Heer. Admirateur des exploits alpins de Whymper, Heer lui dédia un arbre fossile issu de cette collection : *Viburnum whymperi* (Figure 1).

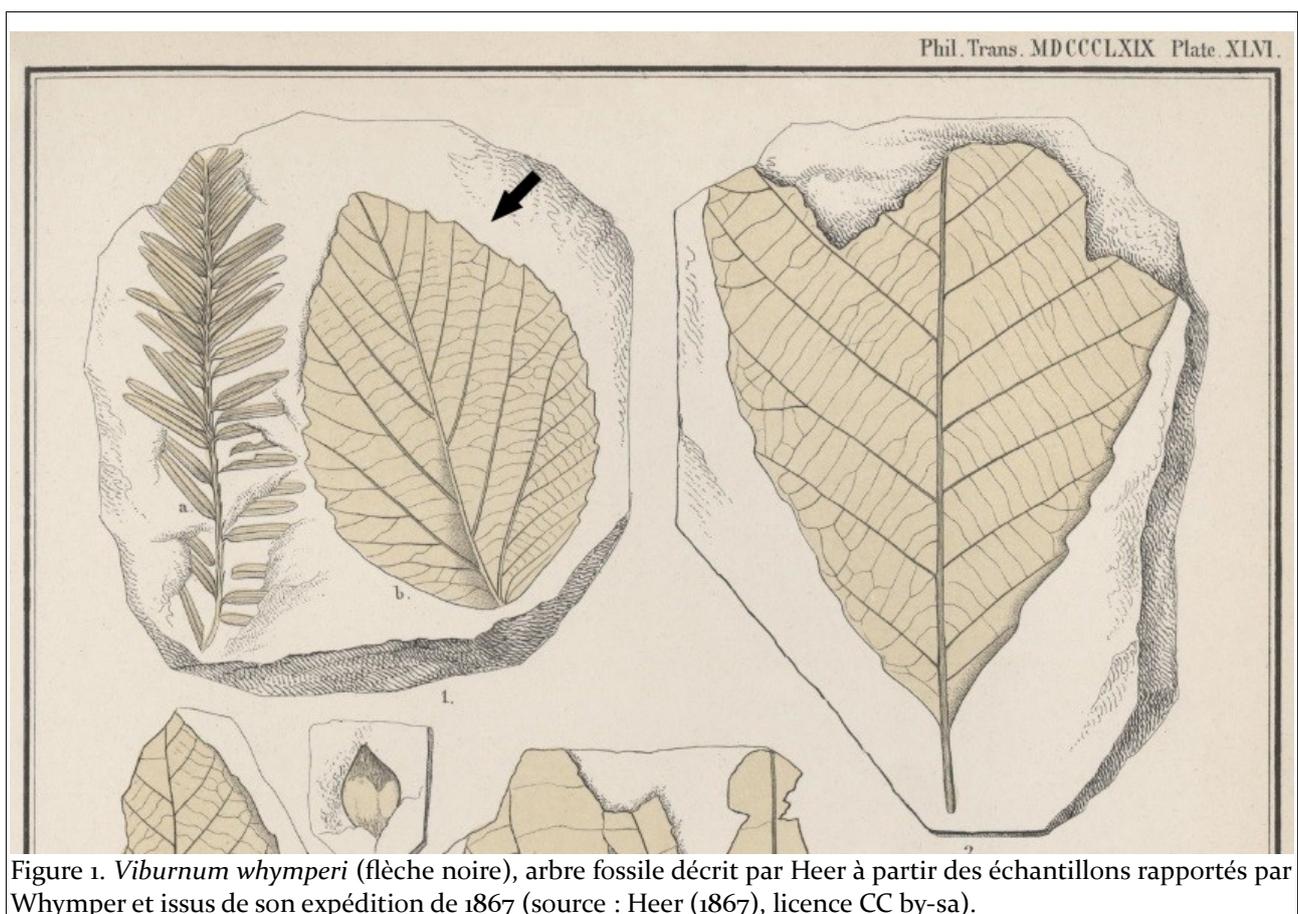


Figure 1. *Viburnum whymperi* (flèche noire), arbre fossile décrit par Heer à partir des échantillons rapportés par Whymper et issus de son expédition de 1867 (source : Heer (1867), licence CC by-sa).

À ce stade du parcours de Whymper, deux éléments fondamentaux sont à souligner : (i) Whymper, dans ses ascensions alpines, avait fait des observations opportunistes dans l'esprit de l'appel de Ball. Avec l'expédition de Disko de 1867, la science devient clairement un objectif phare de son voyage. (ii) Par sa remarquable collecte de fossiles, Whymper a intégré, dans ce nouveau parcours de vie, ce que Sigrist et Vinck (2017) désignent comme « objets intermédiaires » : des spécimens, illustrations ou écrits qui permettent la circulation de la connaissance scientifique, et dans de nombreux cas, appuient une théorie. Pour ces auteurs, c'est précisément l'organisation et la finalité de ces objets qui distinguent le chercheur de l'amateur, en ce sens que le chercheur idéalisé ne cible pas le spectaculaire, mais le signifiant, l'utile à une démarche heuristique, quand l'amateur constitue un « cabinet des merveilles » destiné à être admiré et commenté. Au 19^e siècle, l'organisation des objets intermédiaires destinés à la science connaît son apogée dans les muséums, où l'agencement des collections reconfigure la Nature dans un espace contraint (Livingston, 2003). Whymper s'inscrit dans cette logique scientifique : la réalisation et la destination de sa collection de fossiles – objets intermédiaires – alimentent la recherche de Heer.

Fort de cette reconnaissance par le monde académique et de son expérience déplorable avec Brown, Whymper organise sa troisième grande expédition sans prévoir d'emmenner un quelconque savant « professionnel » avec lui. Ses objectifs restent pluriels : s'il veut plus que jamais contribuer à la connaissance scientifique, il veut aussi gravir les plus hauts sommets jamais atteints par un humain.

Il est un des rares cas dans l'histoire de l'alpinisme à maîtriser tous les types de production d'objets intermédiaires de l'époque : dessinateur exceptionnel, écrivain talentueux, il ne lui restait plus qu'à gagner la maîtrise de la collecte et conservation de spécimens naturels. S'appuyant sur son amitié avec Bates, il se forme aux techniques spécifiques de la récolte d'insectes et de quelques autres groupes biologiques tels les serpents et batraciens. Fin 1879, il embarque avec le célèbre guide valdôtain Jean-Antoine Carrel pour l'Équateur. Il a lu avec passion le récit de l'expédition française de La Condamine (une des deux seules autorisées par le roi d'Espagne en 300 ans d'occupation) visant à vérifier la théorie de Newton selon laquelle la Terre était aplatie aux pôles et plus large à l'équateur. Les

membres de l'expédition reviendront en France presque 20 ans après leur départ et valideront cette théorie. Un exemple de science de terrain hors norme.

Whymper est bien plus fasciné par La Condamine que par Humboldt. Il considère que ce dernier n'a pas été aussi haut en altitude qu'il le prétend – il est depuis largement admis qu'Humboldt avait quelques facilités avec la réalité (Wulf, 2017). Whymper et ses compagnons font non sans peine la première du Chimborazo (6263 m), où il met en évidence les possibilités – et nécessités – d'acclimatation à la haute altitude (figure 2). Ils réalisent dans la foulée la première ascension de l'Antisana (5753 m), montagne qui a inspiré Humboldt dans ses travaux sur l'étagement de la végétation (Moret *et al.*, 2019).



Figure 2. Sommet du Chimborazo lors de la première ascension. Joseph-Antoine Carrel (premier plan) porte un baromètre pour mesurer l'altitude. Gravure d'Edward Whymper (licence CC by-sa).

De cette expédition, Whymper rapporte plusieurs milliers de spécimens d'insectes, principalement récoltés au-dessus de 2500 m d'altitude. Henry Bates, devant la quantité astronomique d'échantillons à étudier, s'entoure de sept assistants. 359 espèces sont ainsi décrites dans l'annexe de son récit d'expédition (Whymper, 1891), annexe devenue célèbre sous le nom de « *Whymper's bug book* ». Parmi ces espèces, 131 sont nouvelles pour la science,

avec pas moins de 14 nouveaux genres. Ces chiffres sont colossaux pour des travaux de taxinomie. Whymper se voit dédicacer sept taxons : trois coléoptères (*Heterogomphus whymperi*, *Prionocalus whymperi* (Figure 3), *Xenismus whymperi*), une fourmi (*Holcopena whymperi*), une punaise (*Pnohirmus whymperi*), un serpent (*Coronella whimperi*) et une grenouille (*Hylodes whymperi*). Une consécration scientifique pour l'homme qui a été de son vivant aux plus hautes altitudes jamais atteintes et qui a mis en lumière une biodiversité aussi insoupçonnée qu'exceptionnelle. Prenant le contre-pied de Humboldt sur la haute montagne, ces découvertes lui feront dire : « *In his Vues des Cordillères, Humboldt deplores the small results which have been attained upon high mountain expeditions in the following passage : “Ces excursions pénibles, dont les récits excitent généralement l'intérêt du public, n'offrent qu'un très petit nombre de résultats utiles au progrès des sciences” [...] Yet, enough I trust appears to encourage my contemporaries in mountain-travel to continue similar researches, laborious and unthankful though they may be ; gradually to amass such a body of evidence as will in course of time render no longer true the dictum of my illustrious predecessor; and will permit it to be said, instead, that high-mountain explorations, although perhaps of little interest to the general public, are of great value to Science*³¹ » (Whymper, 1891). Un appel encore plus fort que celui de Ball en 1859, car Whymper parle désormais en expert.

Bates fera profit de ces échantillons, débattant de la position de Darwin sur les causes de la répartition des espèces sur le continent américain. Mais comme Darwin, il passera à côté d'un élément phare : si toutes les espèces découvertes par Whymper au-dessus de 4500 m étaient nouvelles pour la science, c'est que les hautes montagnes agissent comme un puissant moteur d'émergence de nouvelles espèces, par le biais de fortes pressions de sélection naturelle (Rahbek *et al.*, 2019).

Au-delà des objets intermédiaires collectés ou construits par Whymper, se dessine clairement l'importance, pour faire connaissance, de la relation privilégiée avec un théoricien.

³¹ « Dans ses “Vues des Cordillères”, Humboldt déplore, dans le passage suivant, les faibles résultats obtenus lors d'expéditions en haute montagne : [...] Pourtant, je suis convaincu que suffisamment de choses peuvent encourager mes contemporains voyageant dans les montagne à poursuivre des recherches similaires, aussi laborieuses et ingrates soient-elles ; à amasser progressivement un ensemble de preuves qui avec le temps invalidera le dicton de mon illustre prédécesseur; et permettra plutôt de dire que les explorations de haute montagne, bien que peut-être de peu d'intérêt pour le grand public, sont d'une grande valeur pour la Science »

Quels que soient les remarquables mérites de Whymper, son apport scientifique a pris corps grâce à l'encouragement, au soutien, et à la conceptualisation menée par Henry Bates – et avant lui, par Oswald Heer. Et la présence de cet « être médiateur » qu'est le théoricien apparaît centrale dans le processus.

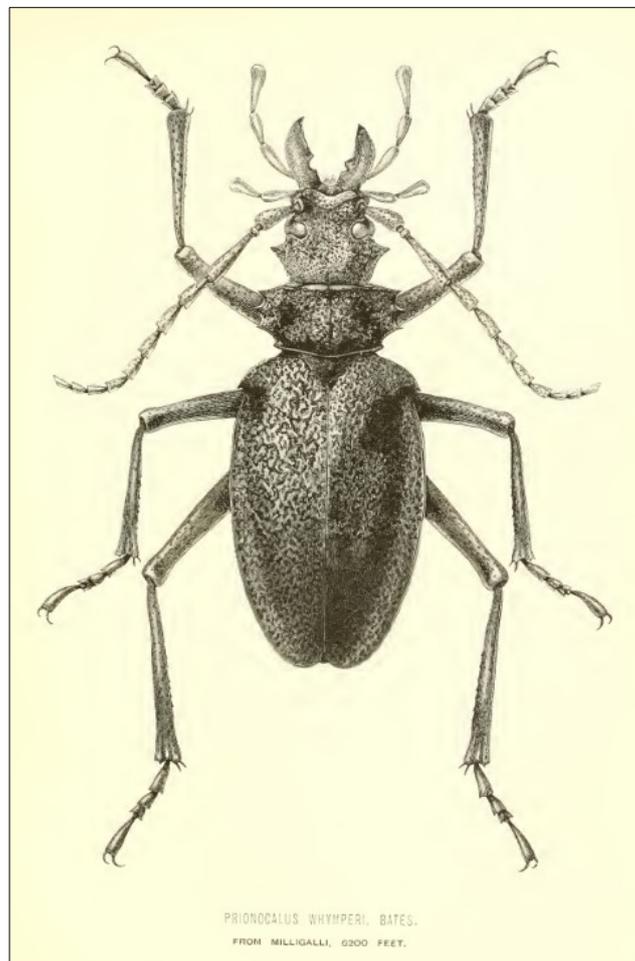


Figure 3. *Prionocalus whymperi*, coléoptère rapporté des Andes par Whymper. Cette espèce nouvelle pour la science a été décrite par Bates et dédiée à Whymper. Gravure d'Edward Whymper (licence CC by-sa).

Des « objets intermédiaires » aux « êtres médiateurs »

Latour (2015) différencie le statut de l'*intermédiaire* et du *médiateur* (objet ou être vivant) : le premier ne fait que transporter l'information quand le second agit en faisant « bifurquer », en créant une nouvelle compréhension, une nouvelle appréhension. Latour reprend le concept investi par Serres (1974) et définit le médiateur comme un traducteur. Le

médiateur du 19^e siècle est celui qui *désigne* les objets intermédiaires en taxinomie autant que les *situe* dans la théorie, ou pour reprendre les termes de Foucault (1966), le théoricien, par sa médiation, *désigne* et *dérive* dans un même élan les spécimens naturels.

En 1878, à une époque contemporaine de l'expédition équatorienne de Whymper, Paul Guillemin, alpiniste et naturaliste français, réalise avec Pierre Gaspard la troisième ascension de la Meije (3 983 m). Il y découvre et récolte trois espèces végétales à 3 600 m d'altitude (Dentant et Moine, 2020). À l'époque, c'est un record pour les Alpes, qui plus est sur un de ses plus prestigieux sommets. La saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*), la linaria alpine (*Linaria alpina*) et l'éritriche nain (*Eritrichium nanum*) font leur entrée (éphémère) dans le lexique du tout nouveau Club alpin français. Les trois spécimens, analysés à la Société botanique de Lyon, font grand bruit. Un de ses éminents membres écrira : « [...] l'Alpinisme, j'en ai la conviction, est appelé à étendre le domaine de l'Histoire naturelle et à rendre d'immenses services à l'étude des diverses branches de cette science, et tout spécialement à l'étude de la botanique » (Carret, 1880). Une nouvelle ère semblait lancée pour la science en haute montagne. Mais en l'absence de traduction, d'êtres médiateurs pour que le monde académique s'empare de la question, cette envolée est restée longtemps sans écho. La découverte de terrain était en altitude fondamentalement « non académique ». Or l'académique était alors le médiateur entre le terrain et le concept.

Ainsi, il faudra attendre 1935 pour un sursaut. Après les Alpes et les Andes, les plus hautes montagnes de la planète sont investies (encore et toujours) par les Britanniques. Les reconnaissances du point culminant du globe, l'Everest, commencent en 1921. Eric Shipton, aventurier, écrivain et alpiniste iconoclaste, est comme beaucoup de membres de sa génération imprégné par les écrits de Whymper (Shipton, 1969). Il essaie avec modestie de suivre les pas du maître. En 1931, il devient à son tour l'humain à avoir été à la plus haute altitude jamais atteinte, au sommet du Kamet (7756 m). Au cours de cette expédition, il se découvre un attrait pour les plantes qui le mènera, quatre ans plus tard, à récolter au pied de l'austère versant nord de l'Everest, à 6400 m, deux espèces végétales. Rapportées au *British Museum*, l'une d'elles fut rapidement identifiée, car déjà connue au Tibet : la saussurée cotonneuse (*Saussurea gnaphalodes*). L'autre, inconnue, est « enterrée » et oubliée dans les

herbiers. Comme Guillemain, Shipton n'a pas rencontré dans sa démarche d'être médiateur pouvant faire siennes ces observations exceptionnelles. Il faudra attendre 65 ans après l'expédition, et 23 ans après la mort de Shipton, pour qu'un scientifique s'intéresse à la plante oubliée. Nouvelle pour la science, elle sera baptisée *Lepidostemon everestianus* (Al-Shebhaz, 2000) (Figure 4). Sa résurrection pour la science ouvre des perspectives de recherche fondamentale : analyser son origine évolutive grâce à son génome pour comprendre les mécanismes de la sélection naturelle à très haute altitude.



Figure 4. *Lepidostemon everestianus*, plante rapportée du camp III, à 6400 m d'altitude, sur le versant tibétain de l'Everest ([BM] herbier Shipton). Photographie du *British Museum*.

À la découverte des limites extrêmes du vivant

L'expédition scientifique américaine à l'Everest de 1963 marque pour la première fois un tournant dans cette manière de faire connaissance. À l'époque de la guerre froide et de la crise des missiles de Cuba, la justification pour gravir les sommets a pris une tout autre tournure : celle d'apporter à l'armée des éléments concrets sur les capacités physiologiques et psychologiques d'individus en situation extrême (Clements, 2005). L'expédition est ainsi conjointement financée par l'armée états-unienne et la *National Geographic Society*. Cette dernière fait engager des alpinistes professionnels pour s'assurer du sommet – et donc du succès médiatique de l'expédition.

Lawrence Swan, chercheur en écologie scientifique à l'Université d'État de San Francisco, connaît les nécessités de la recherche en haute altitude. Spécialiste des araignées, il les a étudiées en 1954 sur les pentes du Makalu, à plus de 6700 m d'altitude, et sait que la frugalité en matériel et protocoles est le meilleur gage de réussite. L'expédition de 1963, qui se revendique scientifique, n'intègre pourtant pas de biologiste dans ses rangs. Grâce à ses travaux antérieurs, Swan connaît plusieurs des alpinistes professionnels recrutés. Il fournit à trois d'entre eux une boîte hermétique, logeant dans une poche, leur enjoignant simplement de récolter des débris rocailloux à la plus haute altitude possible.

Le volet scientifique l'expédition tourne au fiasco, même si ses membres essaient d'en limiter l'étendue (Clements, 2005). Le fait que plusieurs d'entre eux aient tout de même atteint le sommet, que la revue *National Geographic* en fasse un récit léché et séduisant, offre une aura de succès à l'expédition. Dans cette période historique de tension internationale, le patriotisme états-unien est flatté par la présence d'Américains sur le toit du monde, et ce pour la première fois de l'histoire. On en oublie les motifs scientifiques initiaux.

Swan a pu récupérer deux boîtes d'échantillons de débris rocheux collectés à 8400 m. Il rend un vibrant hommage aux deux alpinistes : « *Whereas, highly motivated, single purpose climbers are not noted for their cooperation in scientific adventures, two climbers, Lute Jerstad on the West Ridge and Barry Corbet on the South Col approach amazingly filled their vials at*

8400 m »³² (Swan, 1990). Il fait parvenir ces échantillons au laboratoire de la NASA basé à Ames (Californie), où sont entrepris les premiers travaux d'astrobiologie³³. L'air contenu dans les boîtes est en effet trois fois moins dense qu'au bord de mer, et Swan propose d'en faire l'analyse de la même manière que si ces boîtes revenaient de Mars, où la pression atmosphérique est dix fois plus faible qu'à la surface de la Terre. Il considère que le site terrestre aux conditions physico-climatiques les plus proches de celles de la surface martienne est le sommet de l'Everest. Le résultat sera la découverte de bactéries nouvelles, à la physiologie clairement adaptée aux alternances de gel/dégel journaliers et aux fortes radiations lumineuses (Swan, 1992). Un type de bactérie totalement inconnu fut décrit en lien avec son origine géographique : *Geodermatophilus everesti* (Figure 5). Plus récemment, il a été montré que les *Geodermatophilus* sont parmi les seuls organismes terrestres capables de résister à des intensités d'UV dix fois supérieures à celles mesurées à la surface de Mars. En somme, un parfait exemple de ce que pourrait être la vie extraterrestre. La découverte de ces bactéries en 1963 alimenta ce qui allait devenir le programme *Viking* de la NASA : l'envoi de robots sur la Planète rouge pour en explorer les conditions physiques et la possible présence de vie.³⁴

Pour la première fois depuis la déclaration de Carret en 1880, l'alpinisme avait pleinement contribué à « étendre le domaine de l'Histoire naturelle ». Un chercheur comme Swan avait compris l'intérêt d'utiliser l'alpinisme – et par extension « les corps » des alpinistes – comme moyen de « faire connaissance ».

De l'être médiateur à la zone frontière

Swan est ainsi le premier être médiateur à formaliser une association spécifique auprès d'alpinistes – et non à aider des alpinistes à valoriser des objets intermédiaires récoltés dans leurs aventures. Depuis, la personnalisation de la relation à la science s'est fortement transformée : dès le dernier quart du 20^e siècle, de nouvelles institutions non académiques ont vu le jour, dont une des vocations est la production de données naturalistes. Le terrain

32 « Alors que les purs grimpeurs ne sont pas réputés pour leur coopération dans les aventures scientifiques, deux d'entre eux, Lute Jerstad sur l'Arête ouest et Barry Corbet sur l'approche du Col sud, ont remarquablement rempli leurs flacons à 8400 m d'altitude. »

33 Étude des conditions propices à la vie sur des exoplanètes.

34 L'expédition de la NASA Perseverance, en 2021, montre la vitalité encore brûlante de cette recherche.

devient ainsi le lieu d'une culture hybride (Faugère et Mauz, 2013) investi par de nouveaux experts : rarement théoriciens, ces acteurs sont porteurs d'une science pour partie désinvestie par les académiques alors focalisés sur les nouvelles disciplines de laboratoire comme la microbiologie, l'analyse isotopique (géologie) ou encore la modélisation statistique. Pour le territoire français, ces nouveaux experts correspondent à des agents d'espaces protégés, de conservatoires botaniques et autres. La relation avec la recherche ne nécessite non plus une seule relation interpersonnelle – et donc un être médiateur – mais une zone intermédiaire entre institutions académiques et institutions non académiques. Ce que Mauz et Granjou (2013), à la suite de Köhler (2002), ont défini comme une « zone frontière ». Cette zone n'efface pas la nécessité de relations entre personnes, mais elle implique un niveau institutionnel – et donc symbolique – jusqu'alors absent. C'est en ce sens que l'apparition de cette zone frontière peut être considérée comme un tournant collaboratif, même si conservateur sur la partition des acteurs de terrain et du laboratoire.

En haute altitude, ce tournant a toutefois pris une forme plus singulière. Une cordée se constituant de deux individus, la relation interpersonnelle ne peut jamais totalement se diluer dans les institutions. Pour faire cordée, l'être médiateur, le théoricien, a réinvesti le terrain : il (ré-)intègre pleinement le contexte de la découverte, comme lors des expéditions de Saussure ou Humboldt. Il s'agit ici plus d'un retour à l'origine même de la science en haute altitude qu'un tournant ou une nouveauté. Mais à l'autre bout de la cordée, de l'autre côté de la zone frontière, se sont ajoutées de nouvelles figures de scientifiques – à la catégorie bien incertaine – issues de la naissance du paradigme de conservation de la nature. Les alpinistes ne sont ainsi plus seulement des collecteurs de « catégorie C », mais des théoriciens et naturalistes *co-producteurs* de science (Bourassa *et al.*, 2007). La haute montagne devient ainsi une socio-nature combinant objets intermédiaires, êtres médiateurs, scientifiques de la conservation et zone frontière. L'expertise scientifique ne se dilue pas, elle se redistribue.

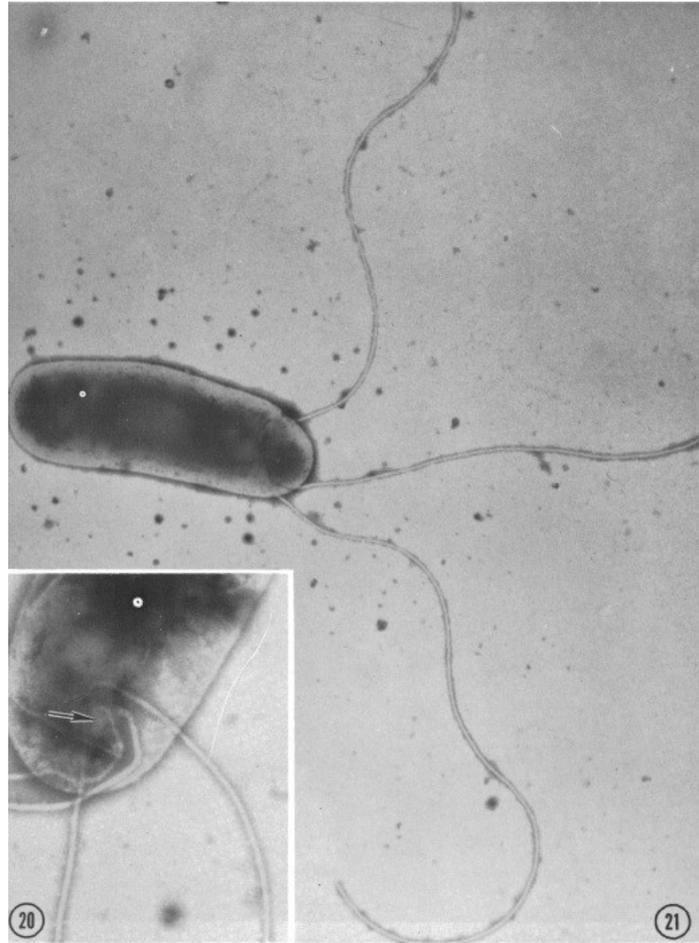


Figure 5. Photographie de *Geodermatophilus everesti* (x 45400), bactérie découverte sous le sommet de l'Everest et restant à ce jour l'organisme vivant le plus haut jamais contacté sur Terre (source : Ishiguro et Wolfe (1970), *Journal of Bacteriology* 104(1)).

Conclusion

L'analyse géohistorique de la science du vivant en haute montagne illustre comment la production de faits scientifiques dans leur « contingence radicale » (Lévi-Strauss, 1962) est tributaire de corps explorateurs (alpinistes) tout autant que d'êtres médiateurs (théoriciens). Mais en ce début de 21^e siècle, la dichotomie originelle terrain/laboratoire se reconfigure par la démarche moderne de « décolonisation » des savoirs (Smith, 1999) : la science n'est plus envisagée comme le seul produit du monde académique, mais devient co-production d'acteurs d'une zone frontière entre académiques et non-académiques. Cette alliance nouvelle

redistribue l'expertise : *désigner* les espèces pour les acteurs non académiques ; *dérivée* dans la théorie pour les académiques, lorsqu'ils acceptent de reconfigurer leur rôle de médiateur. Il n'est donc ici pas tant question d'hétéronomie ou d'autonomie de la science, mais bien d'hybridation des actants de la science, laquelle conduit pour la biogéographie des hauteurs à des résultats aussi prometteurs que la qualification et la redéfinition de la biodiversité aux limites du vivant (Boucher *et al.*, 2021).

Références

- Al-Shebhaz, Ihsna A., 2000.– “ Lepidostemon (Brassicaceae) Is No Longer Monotypic ”, in *Novon* 10: 329–33.
- Ball, John, 1859.– “ Suggestions for Alpine Travellers ”, in *Peaks, Passes and Glaciers*, 490–516.
- Bigg, Charlotte, David Aubin, and Philipp Felsch, 2009.– “ Introduction : The laboratory of nature science in the mountains ”, in *Science in Context*, 22(3), 311–321.
<https://doi.org/10.1017/S0269889709990020>
- Boucher, Florian C., Cédric Dentant, Sébastien Ibanez, Thibaut Capblancq, Martí Boleda, Louise Boulangeat, Jan Smyčka, Cristina Roquet, and Sébastien Lavergne, 2021.– “ Discovery of cryptic plant diversity on the rooftops of the Alps ”, *Nature Scientific Reports* (in press).
- Bourassa, Michelle, Louise Bélair, and Jacques Chevalier. 2007. « Les Outils de La Recherche Participative. » in *Education et Francophonie XXXV* (2): 1–11.
- Bourdieu P., 2001.– *Science de la science et réflexivité : Cours du Collège de France 2000-2001*, Éditions raisons d’agir (Diffusion : Le Seuil).
- Callon, M., and Latour B. (sous la direction de), 1990.– *La science telle qu’elle se fait*. La Découverte
- Carret, M., 1880.– “ Note Sur Quelques Plantes Trouvées Au Pic de La Meije ”, in *Annales de La Société Botanique de Lyon* 7: 171–76.
- Chardon, Michel, 1984.– “ Montagne et Haute Montagne Alpine, Critères et Limites Morphologiques Remarquables En Haute Montagne ”, in *Revue de Géographie Alpine* 72 (2): 213–24.
<https://doi.org/10.3406/rga.1984.2565>.
- Clements P. W. 2015.– *Science in Extremis: The 1963 American Mount Everest Expedition*, Thesis, UC San Diego. <https://escholarship.org/uc/item/7kq423tz>.
- Debarbieux, Bernard, 2012.– “ Figures et Unité de l’idée de Montagne Chez Alexandre von Humboldt ”, in *CyberGEO*. <https://doi.org/10.4000/cyberge0.25486>.
- Dentant, Cédric, 2018.– “ The Highest Vascular Plants on Earth ”, in *Alpine Botany* 128 (2): 97–106.
<https://doi.org/10.1007/s00035-018-0208-3>.
- Dentant, Cédric, and Rémy Moine, 2020.– “ Effondrement des montagnes et biodiversité de haute altitude : l’exemple atypique de la Meije (3893 m) ”, in *Espèces* 37 : 52–58.
- Faugère, Elsa, and Isabelle Mauz, 2013.– “ Une introduction au renouveau de la taxinomie ”, in *Revue d’anthropologie des connaissances* 7 (2) : 433–459

Faugère, Elsa, 2019.- *Le making-off des grandes expéditions. Anthropologie des sciences de terrain*, Editions La discussion.

Foucault, Michel, 1966.- *Les Mots et les Choses*, Gallimard

Kohler, R.E., 2002.- *Landscapes and labscapes: Exploring the lab-field border in biology*. The University of Chicago Press.

Körner, Christian, 2011.- "Coldest Places on Earth with Angiosperm Plant Life." in *Alpine Botany* 121 (1): 11-22. <https://doi.org/10.1007/s00035-011-0089-1>.

Hacking, Ian. 2004.- "La Science de La Science Chez Pierre Bourdieu", in Bouveresse J. and Roche D. (eds.), *La Liberté Par La Connaissance. Pierre Bourdieu (1930-2002)*. 2004. 147-162 7 (1975) : 1-10.

Lagasnerie (de) G., 2011.- *Logique de la création*, Collection à venir, Fayard.

Latour, Bruno, 1987.- *Science in action*, Harvard University Press.

Latour, Bruno, 2015.- *Face à Gaïa. Huit conférences sur le Nouveau Régime Climatique*. Les empêcheurs de penser en rond / La Découverte.

Lévi-Strauss C., 1962.- *La pensée sauvage*, Pocket.

Livingstone D. N., 2003.- *Putting Science in Its Place*, The University of Chicago Press.

Macfarlane R., 2003.- *Mountains of the mind. A history of a fascination*, Granta.

Mao, P., and Bournon, F., 2017.- *Le Tourisme Scientifique En Patagonie Chilienne*, L'Harmattan.

Marx, Hannah E., Cédric Dentant, Julien Renaud, Romain Delunel, David C. Tank, and Sébastien Lavergne, 2017.- "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", in *Journal of Biogeography* 44 (11): 2618-30. <https://doi.org/10.1111/jbi.13073>.

Mauz, Isabelle, and Céline Granjou, 2013.- "A New Border Zone in Science. Collaboration and Tensions between Modelling Ecologists and Field Naturalists", in *Science as Culture* 22 (3): 314-43. <https://doi.org/10.1080/09505431.2012.753047>.

Merland, Michel, 1988.- Horace-Bénédict de Saussure : du livre au terrain et du terrain au livre in *Le Monde alpin et rhodanien, Revue régionale d'ethnologie*, 1-2, La haute montagne, Visions et représentations de l'époque médiévale à 1860, pp. 143-149.

- Moret, Pierre, Priscilla Muriel, Ricardo Jaramillo, and Olivier Dangles, 2019.– “ Humboldt’s Tableau Physique Revisited ”, in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116 (26): 12889–94. <https://doi.org/10.1073/pnas.1904585116>.
- Outram D., 1996.– “ New Spaces in Natural History ”, in Jardine N., Secord J.A. and Spary E. C. (eds.), *Cultures of Natural History*, Cambridge University Press, pp. 249-265.
- Péaud L., 2014.– Du projet scientifique des Lumières aux géographies nationales. France, Prusse et Grande-Bretagne (1780-1860). Thèse de doctorat d’Université, Faculté de Géographie, Université de Lyon 2. 628 p.
- Rahbek, Carsten, Michael K. Borregaard, Robert K. Colwell, Bo Dalgaard, Ben G. Holt, Naia Morueta-Holme, David Nogues-Bravo, Robert J. Whittaker, and Jon Fjeldså. 2019.– “Humboldt’s Enigma: What Causes Global Patterns of Mountain Biodiversity?” *Science* 365 (6458): 1108–13. <https://doi.org/10.1126/science.aax0149>.
- Raymann A., 1912.– Évolution de l’alpinisme dans les Alpes françaises. Thèse de doctorat d’Université Faculté des Lettres, Université de Grenoble. Grenoble, Impr. Léon Aubert.
- Rougerie G., 1990.– *Les montagnes dans la biosphère*, Armand Colin.
- Saussure (de) H.-B., 1796.– *Voyage dans les Alpes*, Samuel Fauche (tome I), Geneva; Barde, Manget & Compagnie (tome II) ; Louis Fauche-Borel (tomes III and IV)
- Serres, Michel, 1974.– *La Traduction (Hermès III)*, Les éditions de Minuit.
- Shipton E., 1969.– *That untravelled world. An autobiography*, Mountaineers Books.
- Sigrist, René, 2008.– « Correspondances Scientifiques Du 18e Siècle. Présentation d’une Méthode de Comparaison. » in *Schweizerische Zeitschrift Für Geschichte* 58 (2): 147–77.
- Sigrist, René, and Vinck, Dominique, 2017.– “Le rôle des “objets Intermédiaires” dans l’étude Naturaliste Du Mont-Blanc 1740-1825”, in *Archives Des Sciences* 69: 101–136.
- Smith I., 2011.– *Shadow of the Matterhorn. The life of Edward Whymper*, Carreg.
- Smith L. T., 1999.– *Decolonizing Methodologies: Research and Indigenous Peoples*, University of Otago Press.
- Swan, Lawrence W., 1990.– “ The highest life ”, in *Himalayan Journal* 46: 125–133.
- Swan, Lawrence W., 1992.– « The Aeolian Biome. Ecosystems of the Earht’s Extremes ”, in *BioScience* 42 (4): 262–70.
- Whymper E., 1891.– *Travels amongst the great Andes of the Equator*, John Murray.

Wipf, Sonja, Veronika Stöckli, Kristina Herz, and Christian Rixen, 2013.– “ The Oldest Monitoring Site of the Alps Revisited: Accelerated Increase in Plant Species Richness on Piz Linard Summit since 1835 ”, in *Plant Ecology and Diversity* 6 (3-4): 447–55. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.764943>.

Wulf A., 2017.– *L'invention de la Nature. Les Aventures d'Alexandre von Humboldt*, Éditions Noir sur Blanc.

2.3 Extensions

2.3.1 Whymper, le botaniste (?)

Pour un botaniste, une question épineuse restait en suspens quant à l'expédition équatorienne de Whymper : comment expliquer que le supplément naturaliste à son ouvrage sur les hauts sommets andins (*Appendix to Travels amongst the Great Andes*) ne porte exclusivement que sur les insectes ? Dans l'ouvrage principal, 63 taxons végétaux sont pourtant listés selon deux entrées géographiques : le long de gradients altitudinaux (Chimborazo et Antisana) et sur les plus hautes altitudes (abordées de manière hétérogène, mais à deux exceptions près, supérieures à 14000 pieds – soit 4267 m).

2.3.1.1 Les premiers gradients d'altitude andins

Ces listes dites « botaniques » se composent d'observations de lichens, de bryophytes et de plantes vasculaires – nous ne retiendrons pour la suite que ces dernières. La première liste (Whymper 1892, p. 199), en note de bas de page, correspond à un gradient altitudinal sur l'Antisana, de 13000 à 16000 pieds – soit de 3962 à 4877 mètres d'altitude, considérant qu'ayant fait le sommet, rien n'a été trouvé au-dessus de cette altitude (l'Antisana culmine à 5758 m). La seconde liste (Whymper 1892, pp.333-334), présentée de la même manière, porte sur le Chimborazo, pour un gradient de 13000 à 16600 pieds soit de 3962 à 5058 mètres d'altitude (le Chimborazo culminant à 6263 m). Sur cette base, Sklenář et al. (2021) ont fait une étude com-

parative approfondie entre les gradients de végétation établis par Whymper en 1880 et les mêmes revisités en 2020, montrant les évolutions de répartition des espèces communes aux deux dates.

Une dernière liste, correspondant à une compilation des taxons « botaniques » trouvés aux plus hautes altitudes, est présentée sous forme d'un tableau (Whymper 1892, pp.352-353) incluant 39 plantes vasculaires, 7 bryophytes, 1 champignon et 1 lichen. Y sont également cités quelques autres sommets que les emblématiques Antisana et Chimborazo (principalement le Corazón, 4790 m d'altitude). Ce tableau s'accompagne d'une variable complémentaire unique et particulièrement instructive : l'identité des détermineurs de chaque espèce listée.

2.3.1.2 L'herbier de Whymper

La possibilité d'aller étudier³⁵ les spécimens récoltés par Whymper (herbiers du *National Natural History Museum* [BM]) et une partie de ses archives personnelles (*National Natural History Museum* et *Royal Geographical Society*) a permis de reconstruire le réseau d'objets intermédiaires et d'êtres médiateurs impliqués dans la fabrique de cette biodiversité végétale, issue des altitudes les plus élevées alors connues.

Pourtant, les données botaniques en Équateur de Whymper sont peu connues. Pour les rares publications s'y référant, il est admis que les spécimens rapportés par Whymper ont été déterminés par William Carruthers, alors responsable du département de botanique au *Natural History Museum* de Londres³⁶ (Ewan 1996 ; Sklenář et al. 2021). Pourtant Whymper lui-même nomme nombre de détermineurs autres que Carruthers : Alfred B. Rendle, Edmund G. Baker et James Britten. On ne sait pas exactement quand Whymper a confié ses spécimens équatoriens à Carruthers, mais Rendle n'a été recruté au *NHM* qu'en 1888 comme assistant au département de botanique (il a alors 23 ans). Britten est un botaniste plus âgé (42 ans en 1888) et plus expérimenté (il a été recruté en 1871). Baker n'a qu'un an de plus que Rendle et il n'a pas été possible de retrouver la date de son recrutement. Son père, John Gilbert Baker, était aussi botaniste – et est pour le coup plus connu. Aucun de ces botanistes n'a de connaissance sur la flore équatorienne – au moins au moment du travail de détermination, dans les

35 Bourse de mobilité internationale à l'Université d'Oxford dans le cadre du projet GATE MaCi (<https://sfr-creation.univ-grenoble-alpes.fr/fr/actualites/projet-gates-maci-appel-candidatures-2024-uga-maison-francaise-doxford>)

36 Ci-après sous l'acronyme *NHM*

années 1880. Cette situation est à l'exacte opposée de celle ayant trait à l'étude des insectes collectés, pour lesquels Henry Bates était la référence presque absolue pour l'Amérique du Sud. Toutefois, la démarche prise par cet assemblage hétéroclite de botanistes montre une manière de créer de la connaissance tout à fait remarquable.

2.3.1.3 Une « république » de botanistes

Henry W. Bates est resté célèbre pour ses années passées à explorer l'Amazonie, en partie avec le co-découvreur de la théorie de l'évolution : Alfred Wallace. Un troisième explorateur britannique présent à la même période est moins connu : il s'agit du botaniste Richard Spruce (1817-1893). Il a pourtant eu une influence colossale sur la connaissance de la flore amazonienne et, de manière notable, sur celles de ses usages. Spruce a en effet passé quatorze ans à inventorier et collecter les plantes des tropiques sud-américains, ayant notamment vécu plusieurs années en Équateur. Ces années d'un commun exil ont scellé une amitié durable entre les trois hommes. C'est ainsi que Bates permit à Whymper de rencontrer Spruce avant son départ pour l'Équateur, et ce afin de bénéficier de ses conseils et de ses immenses connaissances botaniques. La gentillesse de Spruce ne devait pas être seulement légendaire (Wallace 1894) puisque Whymper lui fit une dédicace toponymique en donnant à un glacier du Chimborazo le nom de « Glacier de Spruce » (Whymper 1892, p.320). Mais si une telle rencontre n'a certainement pas suffi à faire de Whymper un botaniste expérimenté, elle l'a assurément aidé à dépasser le jugement qu'il avait de lui-même avant son expédition au Groenland (en 1871) : « *I have no knowledge of botany, and that in consequence, all my collecting will be haphazard* »³⁷ (Smith 2011, p.130).

37 Traduction (par mes soins) : « Je n'ai pas de connaissance en botanique. Du coup, toutes mes collectes seront hasardeuses. »

L'influence de Spruce n'a été comprise que tardivement (Ewan 1996). La connaissance de la flore sud-américaine, envisagée sous l'angle de la taxinomie linnéenne – c'est à dire excluant l'immensité des connaissances autochtones – a décollé avec les travaux pionniers de Humboldt et Bonpland, ainsi qu'avec la titanesque analyse taxinomique de leurs récoltes réalisée

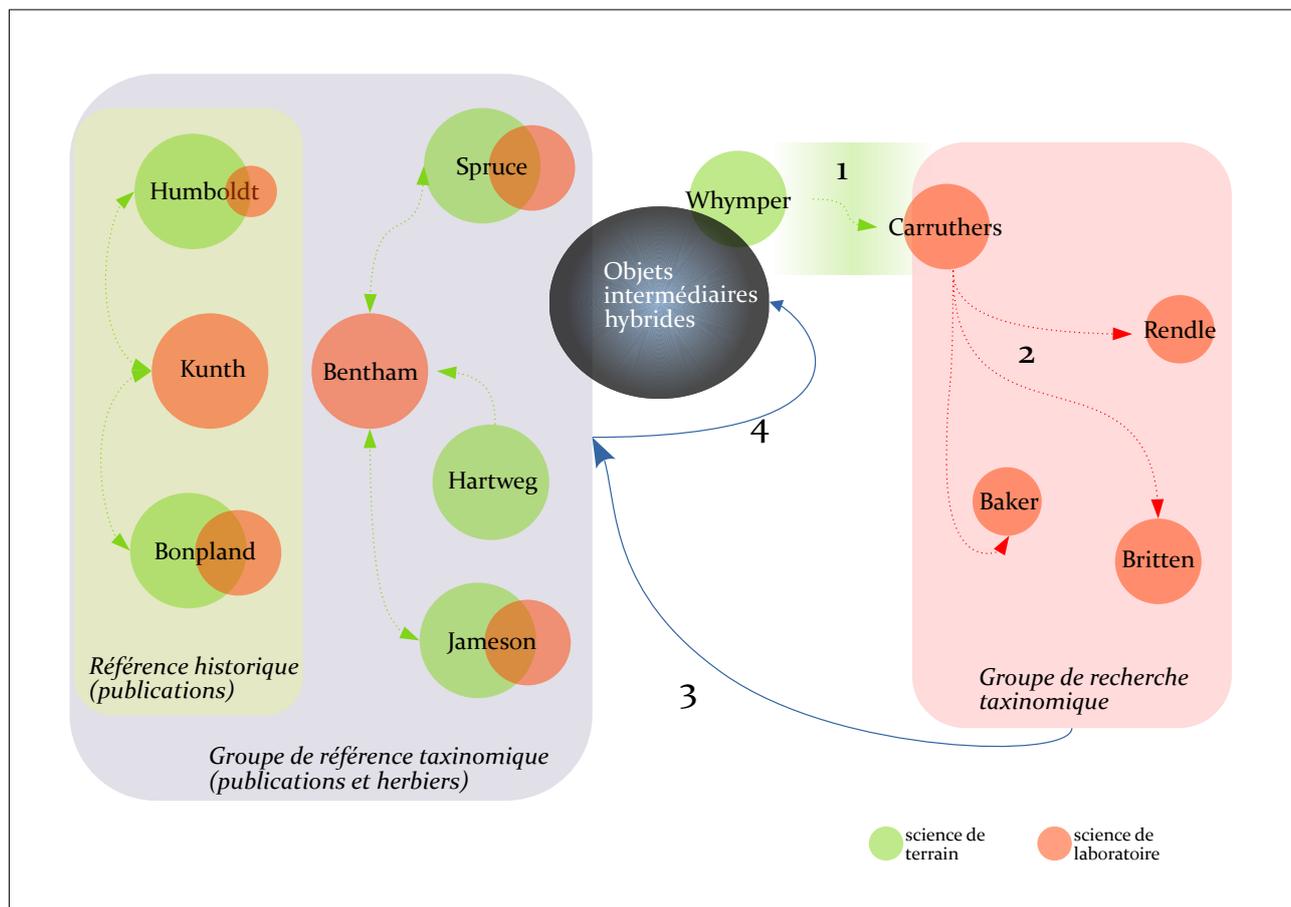


Figure 6. « République des botanistes » ou réseau d'acteurs dans la fabrication d'une biodiversité des hauts sommets équatoriens. 1 : zone frontière Whymper/Carruthers. Collectes de terrain remises à un être intermédiaire (Carruthers). Aucune zone frontière ne semble avoir clairement émergé. 2 : distribution au sein de l'institution (ici *NNHM*). 3 : recherche sur les références écrites (publications) et physiques (herbiers). 4 : création d'objets intermédiaires hybrides (parts d'herbier composites) utilisés par Whymper pour sa publication. La taille du disque (vert ou rouge) renvoie au niveau d'influence du type de science exercée.

par Karl Kunth, pendant plus de vingt ans (Wulf 2017). Spruce est resté toutefois presque trois fois plus longtemps que ses illustres prédécesseurs sur le sous-continent américain³⁸, expédiant avec régularité et minutie ses échantillons en Angleterre. Ces derniers ont été mis à profit pour créer un référentiel de grande valeur sur la flore tropicale sud-américaine, notamment par l'intermédiaire d'un botaniste alors au fait de sa gloire : George Bentham (1800-1883). Pur

38 Le voyage d'Humboldt et Bonpland a duré cinq ans, de 1799 à 1804.

« scientifique de cabinet », Bentham décrivit non seulement un nombre vertigineux d'espèces issues des récoltes de Spruce, mais il fit de même avec deux autres botanistes : Karl Theodor Hartweg (1812-1871) et William Jameson (1796-1873). Bentham fit grandement la renommée de Hartweg, qui était essentiellement un collecteur (aussi méticuleux que Spruce). Jameson avait un profil plus académique. Il passa l'essentiel de sa vie en Équateur et initia une œuvre aussi massive qu'inachevée : *Synopsis Plantarum Aequatoriensium* (Jameson 1865), flore en plusieurs volumes d'un pays pourvu d'une richesse biologique démesurée.

Le réseau complexe d'acteurs qui découle de l'imbrication de ces multiples figures (Figure 6) pourrait être considéré comme une sous-unité de la « République des lettres » (Mao 2021, p.61), une sorte de « république des botanistes ». Mais ce dispositif, particulièrement coûteux même pour une Angleterre prospère, avait peu à voir avec la seule beauté de la science : il relevait de ce que les auteurs anglophones nomment « *the economic botany* » (Dickenson 1996), à savoir la recherche de plantes économiquement exploitables. À l'exception du Guyana, l'Angleterre n'avait pas de colonies en Amérique du Sud aussi étendues qu'en Asie ou Afrique. Mais le pragmatisme économique restait le même : à défaut de colons, il s'agissait de s'appuyer sur des explorateurs recrutés pour explorer les possibles filons économiques offerts par le monde naturel. Et la botanique était de fait particulièrement ciblée. C'est ainsi que Spruce, sur la fin de sa vie, ne vécut que sur une (maigre) rente obtenue grâce à la collecte fructueuse de graines et de jeunes plants de *Cinchona*, arbre dont est issue la quinine (Drew 1996). Et c'est à partir de ces récoltes expédiées par Spruce que des plantations industrielles de *Cinchona* furent développées en Inde, lesquelles à leur tour alimentèrent toutes les colonies de l'empire avec le précieux médicament antipaludique.

2.3.1.4 *Faire connaissance sans connaissance*

Les échantillons de Whympers n'étaient clairement pas inscrits dans cette logique de « botanique économique ». Il décrit ainsi ses objectifs auprès de Bates : « *My collections will not perhaps (so far as Nat. Hist. ones are concerned) possess any particular commercial value. They were not made with the view of selling, but in order to obtain the largest number of species that could be obtained over 12000 feet, and especially to obtain those which ranged the ve-*

ry highest. And so there are not many showy things [...] »³⁹. Il s'agissait donc essentiellement de collectes pour la connaissance en elle-même. Il n'est ainsi pas improbable que les récoltes botaniques n'aient de fait pas suscité une grande attente. À cela s'ajoutait le fait que sur le point de vue naturaliste, Whymper était chapeauté par Bates, fervent partisan de la nouvelle théorie de l'évolution des espèces. Ce n'était pas le cas de Carruthers, particulièrement sceptique sur la question. Paléobotaniste averti, il insista à plusieurs reprises sur le point faible de la théorie darwinienne : l'« abominable mystère » de l'émergence soudaine des plantes à fleurs dans les successions fossiles (Friedman 2009 ; Dentant 2020). Mais Whymper connaissait préalablement Carruthers pour lui avoir fait expertiser des fossiles issus de son expédition au Groenland⁴⁰. Si le patronage de Bates n'a peut-être pas favorisé un traitement zélé des échantillons botaniques rapportés, du moins la petite équipe, à qui fut confié le travail de détermination, ne bâcla pas sa tâche.

Pour les deux plus jeunes botanistes, lesquels n'avaient pas encore voyagé hors du territoire britannique, il n'était pas possible d'avoir une connaissance pertinente de la flore équatorienne. Pour les deux « seniors », la question était peut-être plus relative, mais tous deux étaient aussi des scientifiques de cabinet, sans véritable expérience de terrain. Leur démarche n'en a pas moins été d'une grande pertinence : possédant dans leurs herbiers de grandes quantités d'échantillons de Spruce, Jameson et Hartweg, dûment identifiés ou décrits par Bentham, ils firent ce qui serait à ce jour considéré comme une hérésie : réaliser des planches d'herbier composites, c'est-à-dire accolant matériellement les spécimens de Whymper à des spécimens d'un de ces collecteurs ayant déjà été identifiés (Figure 7). Moins baroque, sans formellement mettre un nom sur les spécimens de Whymper, du moins les ont-ils empilés ensemble au sein de mêmes pochettes, toujours avec un spécimen de référence. Ainsi, sur les 66 parts d'herbier étudiées contenant au moins un spécimen collecté par Whymper, 31 sont des parts composites, et 15 sont associées à une ou plusieurs parts de Spruce, Jameson ou Hartweg au sein d'une même pochette. Les 20 parts restantes sont des spécimens qui n'ont pas pu être

39 Whymper E., 1890, 1er octobre, lettre à Henry Bates. Fonds RGS/CB7/2690, pièce 9. Archives de la *Royal Geographical Society*, Londres, Angleterre. Traduction (par mes soins) : « Mes collections n'auront peut-être pas de valeur commerciale (pour autant que les collections d'Histoire Naturelle puissent en avoir). Elles n'ont pas été réalisées en vue d'être vendues, mais dans le but d'accumuler le plus d'espèces possible au-delà de 12000 pieds, avec une attention particulière sur celles présentes aux plus hautes altitudes. Je n'ai ainsi pas vraiment de choses spectaculaires à montrer [...] ».

40 Whymper E., 1874, 9 mai. Note quant à envoi à William Carruthers. Fonds ENT MSS WHYM A 1:1, *catalogue number 1190*. Archives du *National Natural History Museum*, Londres, Angleterre.

identifiés à l'époque (généralement annotés avec seulement le genre et parfois un *determinavit*⁴¹ contemporain) et pour lesquelles il n'avait manifestement pas été possible de trouver une association. Sur les 31 parts composites, 39 % (12) le sont avec Jameson, 22 % (7) avec Spruce, représentant ainsi à eux deux presque les deux tiers des parts hybrides – le reste, incluant deux parts avec Hartweg, se répartit avec les spécimens de cinq collecteurs différents. Whympers n'était assurément pas insensible au devenir de ses échantillons, car sur toutes les étiquettes qualifiant ses récoltes – portant la mention imprimée « *PLANTS FROM HIGH ANDES. EDWARD WHYMPER. Presented 1891* » – il ajouta écrit à la main des précisions relatives aux sommets, altitudes, orientations et dates des récoltes (cf. figure 7).

41 étiquette ajoutée ultérieurement à la part d'herbier existante et portant le nom d'identification du spécimen (le déterminateur le signe et indique la date de détermination)



Figure 7. Planches d'herbier hybrides. Gauche : *Culcichium ascendens* Benth. [=*Aetheolaena lingulata* (Schltdl.) B.Nord.] récolté par Whympfer (en haut) et par Spruce (central). Les étiquettes ont été grossies pour être lisible. À noter que *Culcichium ascendens* est un nom donné par George Bentham à une espèce récoltée par Karl Hartweg, publié en 1845. Spruce étant arrivé en Amérique du Sud en 1849 après avoir passé deux années à Kew, en partie sous la direction de Bentham, était immergé dans ce travail taxinomique. Droite : Planche d'herbier de *Gentiana cernua* Kunth [=*Gentianella cernua* (Kunth) Fabris] comprenant des spécimens récoltés par Whympfer (W), Spruce (S), Jameson (J) et Hartweg (H). Au-delà des différents observateurs, ils traduisent aussi différentes époques (et parfois lieux) d'observation. À noter que *Gentiana cernua* est un des très nombreux noms donnés par Kunth à une espèce rapportée par Humboldt et Bonpland. La description de cette gentiane est de plus basée sur un spécimen rapporté du Chimborazo, lors de la célèbre tentative de 1803. Whympfer, pour le spécimen du Chimborazo de cette planche, indique une altitude maximale équivalente à 4572 m. Kunth quant à lui stipule que la récolte de Humboldt et Bonpland a été faite à 3310 m (1818).

2.3.2 Une affaire d'affect et de zone frontière

La création de ces objets intermédiaires hybrides et de leur fort pouvoir pour la nomination des espèces observées ne permet toutefois pas de répondre à la question : pourquoi Whympfer n'a-t-il pas mis autant à profit les connaissances taxinomiques acquises sur ces espèces végétales de haute altitude – notamment dans son supplément propre à l'Histoire naturelle ? Trois

éléments de réponses peuvent être avancés : (i) Whymper avait noué avec Henry Bates une véritable relation d'amitié. Bates s'était pleinement investi dans l'étude des spécimens de Whymper, s'étant reconnu dans son parcours personnel atypique – tous deux n'étant pas des héritiers et ne bénéficiant pas des cooptations du népotisme victorien (Smith 2011, p.129). Une zone frontière s'était créée, assurant l'émergence et la diffusion de nouvelles connaissances. Aucune zone frontière n'a émergé avec les botanistes, malgré la rencontre avec une personnalité de renom comme Richard Spruce. (ii) Whymper considère que le traitement fait de son expédition dans les Andes n'a pas du tout été à la hauteur de ses accomplissements, et que le peu de textes envoyés pour publication ne l'avait pas été. Il en tirera ce propos définitif : « *I shall publish nothing until I can present the whole of my work complete* »⁴². (iii) A cette sentence de complétude s'ajoute le fait que Whymper voulait faire un beau livre, imprimé à la main. Il a particulièrement soigné ses gravures d'insectes, et pour ce faire, a eu besoin de temps. Beaucoup de temps !⁴³ Ce besoin revient sans cesse dans ses échanges avec Bates. Ce dernier est intransigeant sur l'exactitude des spécimens représentés (Figure 8). Whymper ne cesse de se plaindre du temps qui lui manque pour finir son œuvre. Il a ainsi mis plus de dix ans pour faire ce livre, entre son retour en 1880 et la sortie du supplément (« *Whymper's bug book* ») en 1892. Si, comme il semblerait, Whymper n'a pas apporté son herbier aux botanistes avant 1888, le travail de détermination (non prioritaire puisque ne relevant pas d'une *economic botany*) n'a pas été immédiat, et ce d'autant plus qu'aucun lien d'amitié ne le liait à Carruthers⁴⁴. Dans le cas contraire, aurait-il eu seulement le temps de faire les gravures voulues ?

Il semble ainsi que divers formes d'affect ont eu raison d'un traitement des observations botaniques comparables à celui sur les insectes : amitié (ou son absence), favorisant l'émergence d'une zone frontière de la connaissance (Mauz et Granjou 2013), et perfectionnisme dans l'œuvre graphique. Il est également nécessaire de rappeler un fait situationnel impor-

42 Whymper E., 1890, 1er octobre, lettre à Henry Bates. Fonds RGS/CB7/2690, pièce 9. Archives de la Royal Geographical Society, Londres, Angleterre. Traduction (par mes soins) : « Je ne publierai donc rien tant que je ne pourrai présenter l'intégralité de mon travail ».

43 Whymper E., 1880-1890. Fonds RGS/CB7/2690.

44 Ayant eu accès à la correspondance officielle de Carruthers (en tant que responsable du département de botanique) couvrant toute la période du départ de Whymper en Equateur (1879) jusqu'à la publication de son *Travels*, je n'ai pas trouvé une seule référence à Whymper ou à ses spécimens. (Archives référencées DF BOT/404/1/19 - <https://www.nhm.ac.uk/CalmView/Record.aspx?src=CalmView.Catalog&id=DF+BOT%2f404> [site internet visité le 15/11/2023])



Figure 8. Dessins préparatoires de Whymper pour son supplément entomologique du *Travels amongst the Great Andes*. A et B : corrections de Henry Bates (crayon de papier) sur les tirages de Whymper. On peut lire « *this is wrong* » au-dessus de A, illustrant la soumission du dessin au regard du scientifique (cf. 7.2.3.3). C : symétriquement, les dessins sont explicitement validés : « *approved all 5 figures* » avec « *HW Bates* » en signature. Photo C. Dentant, source : fonds ENT MSS WHY B 1:1, Archives du *National Natural History Museum*, Londres.

tant : Whymper n'était pas un scientifique professionnel. Il devait travailler pour vivre et a financé sur ses propres deniers son expédition en Équateur. Il a ainsi rencontré des limites temporelle et financière, qu'il décrit ainsi à Bates, non sans humour : « *as I am a poor man, depending on my own effort for a living, I have at once to resume my ordinary work* »⁴⁵. Mais il s'empresse d'ajouter « *I shall, however, proceed with a book as actively as my other occupations will permit, and shall endeavour to make it an effective reply to the spiteful things which have been said during my absence* »⁴⁶. La question botanique passa donc bien après celle d'un honneur quelque peu blessé.

45 Whymper E., 1890, 1er octobre, lettre à Henry Bates. Fonds RGS/CB7/2690, pièce 9. Archives de la *Royal Geographical Society*, Londres, Angleterre. Traduction (par mes soins) : « étant un homme pauvre ne pouvant compter que sur son seul labeur pour gagner ma vie, je dois immédiatement reprendre mon travail habituel »

46 Whymper E., 1890, 1er octobre, lettre à Henry Bates. Fonds RGS/CB7/2690, pièce 9. Archives de la *Royal Geographical Society*, Londres, Angleterre. Traduction (par mes soins) : « Je vais poursuivre la rédaction d'un livre aussi activement que mes autres obligations me le permettront, et je m'efforcerai d'en faire une réponse efficace aux propos malveillants qui ont été tenus en mon absence ».

2.4 Conclusion du chapitre 2

Le terme même d'« alpinisme » est né en 1875 (Tetet 1985), bien après les explorations scientifiques en haute altitude initiées et popularisées par Humboldt et Saussure. Cette pratique nouvelle, socialement et techniquement bientôt codifiée, a presque immédiatement été valorisée comme un moyen de transporter des corps dans des espaces inconnus, et donc susceptible, dans le paradigme des mobilités victoriennes, d'alimenter les connaissances scientifiques (Mao 2021). Humboldt, par la profusion de ses observations et publications, a éclipsé longuement la marginalité de la haute altitude, ne la jugeant pas véritablement digne d'intérêt (Debarbieux 2012). Malgré le poids d'une telle assertion par une figure tutélaire, Edward Whymper va être celui qui va véritablement ouvrir la voie de l'exploration de la haute altitude, avec la difficulté pour un non scientifique de systématiser sa démarche. Toutefois, la remarquable quantité des observations rapportées, rigoureusement consignées et pour partie magnifiquement illustrées, offre en héritage un lot de connaissances qui plus d'un siècle après son retour d'Équateur prend une valeur scientifique singulière (Moret et al. 2016 ; Sklenář et al. 2021), offrant un référentiel unique : celui d'êtres vivants de hauts lieux où il était le premier humain à accéder.

Chapitre.3 Concepts, questions critiques de recherche et méthodologie

3.1 Habitabilité de la haute montagne : une géographie de l'invisible

3.1.1 Habitabilité terrestre, haute montagne et zone critique

« Habitabilité » et « haute montagne » : une alliance de termes semblant plus tenir de l'oxymore que d'une question scientifique. L'« habitabilité » est un mot largement usité au 20^e siècle : dans l'industrie automobile, il porte le sens éminemment pragmatique de « ce qui offre plus ou moins de place à occuper » (cf. mot « habitabilité », dictionnaire historique de la langue française 2012); pour les géographes, l'habitabilité implique le territoire de vie, de mobilité, où s'entremêlent les composantes humaines (culture, politique, aménagements) et non humaines (Corneloup et al. 2014). Dans un tout autre registre, l'explosion des recherches menées sur l'abiogénèse (naissance de la vie sur Terre à partir de matière inanimée) dans les décennies suivant la Seconde Guerre mondiale a fait émerger le concept d'habitabilité chez les astrobiologistes⁴⁷. Dans ce domaine, l'habitabilité est « *the ability of an environment to support the activity of at least one known organism* »⁴⁸ (Cockell et al. 2016) ; ou une variante comme « *the set of physical and chemical environmental parameters that permit the persistence of life* »⁴⁹ (Preston & Dartnell 2014). Dans un cas comme dans l'autre, ces définitions impliquent que le terme « habitabilité terrestre » serait à ce jour un truisme. Mais la revue réalisée par Cockell et al. (2016) montre la vitalité des hypothèses émises sur la recherche de vie sur d'autres astres du système solaire. Mars est de très loin la plus populaire, car c'est la seule

47 Scientifiques étudiant les conditions de l'émergence de la vie dans l'Univers.

48 « la capacité d'un environnement à soutenir l'activité d'au moins un organisme connu ».

49 « l'ensemble des paramètres physiques et chimiques d'un environnement qui assurent la persistance de la vie.

planète présente avec la Terre dans la « zone habitable » du système solaire, c'est-à-dire – entre autres nombreux paramètres physiques – une distance au soleil permettant des flux d'énergie favorables à l'émergence et au maintien de la vie. C'est ainsi que l'investissement de la planète rouge pour y découvrir des traces de vie a débuté dès 1975 avec les deux missions Viking, et s'est poursuivi sur une dizaine de missions, jusqu'à la plus récente (2021) avec le robot *Perseverance* (<https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/>), consulté le 30/12/2022). Moins connue, mais certainement plus spectaculaire, est la mission Cassini-Huygens, conjointe entre l'ESA⁵⁰ et la NASA⁵¹. Après le lancement du transporteur Cassini de la NASA, portant à son bord la sonde Huygens, il faudra attendre 7 années de voyages et 3,5 milliards de kilomètres parcourus pour que soit atteinte l'orbite de Titan, le plus grand satellite de Saturne (et le 2^e plus grand du système solaire). Ainsi, le 24 décembre 2005, la sonde Huygens est larguée par le transporteur et va voyager seule en orbite pendant encore 20 jours, parcourant quelques 4 millions de kilomètres supplémentaires. La pénétration puis la descente dans l'atmosphère de Titan dura 2 h 27 et la sonde émit encore 72 minutes au sol avant que Cassini disparaisse à l'horizon et ne puisse plus agir comme relais transmetteur. Énormément d'informations ont été collectées sur la composition de l'atmosphère de Titan et des éléments de sa surface (figure 9).

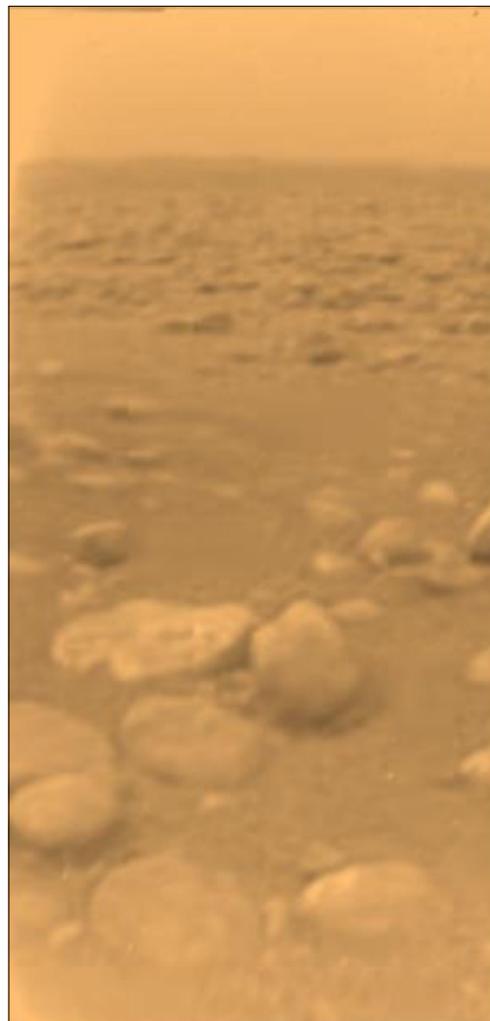


Figure 9. Image prise au sol de Titan par la sonde Huygens le 14 janvier 2005 (©ESA). Les blocs au sol sont faits de glace, le reste est un océan peu profond de méthane liquide.

⁵⁰ *European Space Agency*

⁵¹ *National Aeronautics and Space Administration*

La motivation d'un tel projet, à la fois par sa technicité et par l'exceptionnelle durée du voyage du transporteur, repose pour partie sur deux éléments majeurs homologues à ce qui s'observe sur Terre : Titan est le seul satellite du système solaire à avoir une atmosphère dense, riche en azote ; et le cycle du méthane (CH₄) est comparable à celui de l'eau sur Terre (état liquide alternant avec évaporation puis précipitations). Et tout aussi marquant, Titan abrite un océan d'eau liquide entre 50 et 80 mètres sous sa surface. Cette présence d'eau liquide, si avidement recherchée sur Mars, est le solvant « incompressible » pour l'assemblage des molécules complexes formant le vivant telles que nous les connaissons sur Terre. Cette recherche des conditions du vivant sur une exoplanète est tout à fait fascinante tant elle implique de variables à récolter pour essayer de calquer aux hypothèses de l'abiogenèse. Pour ce faire, les variables récoltées sur des astres extraterrestres sont comparées avec celles connues sur Terre. Il existe une importante littérature d'astrobiologie sur cette logique de pensée analogique (Dartnell 2011 ; Lineweaver & Chopra 2012 ; Preston & Dartnell 2014 ; Cockell et al. 2016). L'astrobiologie combine un savant mélange de données environnementales caractérisant la limite de la vie sur Terre (Preston & Dartnell 2014) avec des éléments précis de réactions biochimiques et de fonctionnements des micro-organismes telles les archées et les bactéries (Jakosky

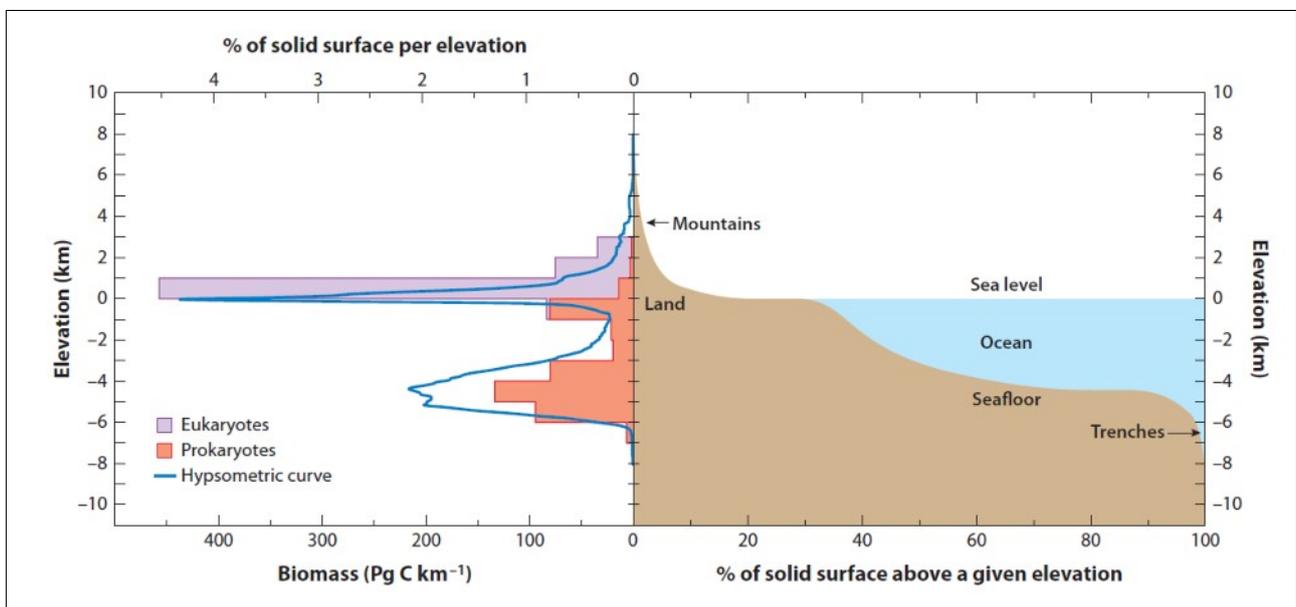


Figure 10. Gauche : la courbe hypsométrique bleue montre la fraction de surface solide à n'importe quelle altitude terrestre. Le histogramme montre l'accumulation de biomasse à chaque altitude pour les eucaryotes (violet - incluant des microorganismes, mais surtout tous les organismes pluricellulaires de la planète) et les procaryotes (rouge - archées et bactéries). Droite : courbe d'accumulation (en marron) de la fraction de surface terrestre solide au-dessus d'une altitude donnée (par exemple, environ 30 % de la surface solide terrestre est au-dessus du niveau de la mer (0 m a.s.l.)). (Lineweaver & Chopra 2012).

et al. 2003). L'expérience de Mars montrant qu'il est plus logique de chercher des micro-organismes que des êtres multicellulaires à la physiologie complexe, les analogies avec la Terre ont tendance à globaliser ce complexe assemblage pour mieux se focaliser sur les micro-organismes et leur limite d'existence sur la planète. La figure 10 est un exemple caractéristique de cette démarche. Les montagnes y sont assez clairement représentées sur le plan de la fraction de surface terrestre occupée (environ 5 %), mais la présence de vie y est totalement gommée : ni eucaryotes ni procaryotes ne sont représentés par une barre d'histogramme au-delà de 3000 mètres d'altitude. Il est ainsi possible d'envisager la vie extraterrestre à quelques milliards de kilomètres de la Terre, dans des systèmes physico-chimiques nécessitant une ingénierie extrêmement poussée pour les étudier sous l'angle de l'habitabilité, tout en invisibilisant celle présente dans des lieux géographiques impensés pour la présence de vie. Questionner l'habitabilité soulève ainsi un paradoxe : l'habitabilité n'existe qu'en opposition à l'absence présumée du vivant. Si ce dernier « apparaît » ou est découvert, l'habitabilité cède la place à l'« habité ». Par le prisme explicatif de l'astrobiologie, la haute montagne est ainsi un lieu « habité » qualifié d'« habitable ». La seule zone habitée actuellement connue dans le système solaire est ce que les chercheurs en géosciences qualifient de « zone critique » (*Critical Zone*) : il s'agit de la fine couche « active » à la surface de la Terre, c'est-à-dire impliquant la présence de formes de vie (Giardino & Houser 2015 ; Rapuc et al. 2021). Cette zone critique s'étend de la partie profonde des sols jusqu'au sommet de plantes de surface (arbres en basse altitude, plantes en coussin en haute altitude). Ainsi, contrairement au concept d'habitabilité, l'usage de celui de zone critique implique *de facto* la présence de vie (figure 11).

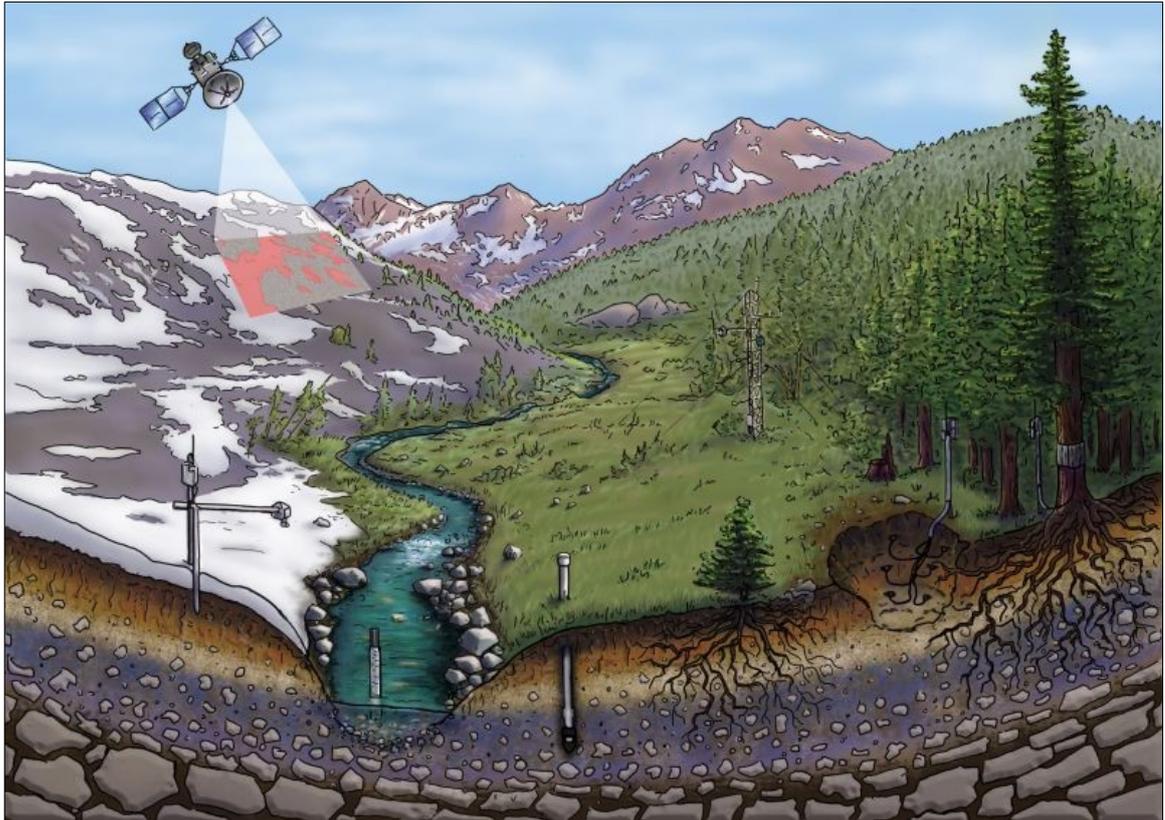


Figure 11. Illustration de la zone critique. Sur ce dessin, la zone critique s'étend des roches altérées, en bas de l'image, au sommet des arbres (source : © Jenny Parks, U.S. National Science Foundation).

Une publication récente fait toutefois exception à cet impensé du vivant sur les marges terrestres : *Extraterrestrial nature reserves (ETNRs)* (Smith 2022). « Réserves naturelles extraterrestres » : un titre qui sonne comme un calembour, mais dont l'article a été édité par le réputé *International Journal of Astrobiology* (Cambridge University Press). Smith s'appuie sur une hypothèse assez en vogue chez les astrobiologistes : la *terraformation* de Mars, « processus hypothétique [...] pour modifier son atmosphère et sa température afin de les rapprocher de celles de la terre et la rendre habitable pour les humains » (Brack 2022, p.123-124). L'argument avancé est de trouver une solution à la surpopulation et les conséquences désastreuses sur la planète. La réponse de Smith, sans être originale, est de créer plus d'espace vital, à savoir des habitats en orbite de la Terre ou sur des surfaces extraterrestres comme sur celles de la Lune ou de Mars. Là repose la singularité de son approche : la terraformation étant un processus à long terme, il serait préférable de commencer par des « réserves naturelles extraterrestres » composées d'assemblages soigneusement réfléchis d'espèces terrestres. Ces assemblages se devraient en premier lieu d'être viables sous des coupoles les protégeant des diverses radia-

tions létales absentes de la surface terrestre (UV-C et rayons ionisants) tout comme des météorites. En second lieu, ces mêmes organismes se devraient de créer des conditions viables pour la colonisation. Ces réserves agiraient donc comme des terraformations partielles. Sans surprise, ce sont les plantes et organismes associés (bactéries, champignons), qui sont mobilisés. Et les plantes de haute montagne font pour la première fois leur entrée dans le concept d'habitabilité : les cinq espèces observées par deux expéditions sur les versants nord et sud de l'Everest (Dentant 2018) sont convoquées pour former des milieux périphériques aux forêts et assurer une présence vitale en cas de perte de pression⁵² (ces plantes vivant sous une pression atmosphérique environ trois fois moins importante que celle au niveau de la mer). Une sixième espèce de la haute altitude, endémique des Andes, est également sélectionnée : la célèbre *Llaretá* (*Azorella compacta*), poussant jusqu'à plus de 5000 m a.s.l et dont les individus les plus anciens ont été estimés à 3000 ans d'âge (Pugnaire et al. 2020). Avec une telle panoplie de records, la *Llaretá* est la seule espèce de la longue liste de Smith sélectionnée pour sa seule « capacité de survie ».

Si l'on peut se réjouir que l'article de P. Smith soit le premier à mettre en lumière, dans la discipline de l'astrobiologie, les capacités remarquables d'espèces végétales habitant à demeure la haute montagne, il semblerait malhonnête d'esquiver sous prétexte de neutralité ou d'objectivité scientifique l'absence complète de contextualisation par Smith de l'origine socio-historique de l'effondrement des écosystèmes terriens. Smith en effet évoque la terraformation et la mise en œuvre des réserves naturelles extraterrestres comme une réponse aux nombreuses questions politiques et sociales soulevées par le concept même d'Anthropocène, sans pour autant poser de réflexion ontologique sur son émergence. Ce que Maris (2018) analyse en ces termes : « l'Anthropocène ainsi conçu, c'est l'ère de l'espèce humaine, indifférenciée, apolitique, espèce biologique dont le rôle géologique est pensé sans distinction de classe, de genre ou d'origine géographique » (p.62). Et de conclure en ces termes : « cette foi dans la capacité technoscientifique de régler les problèmes environnementaux – ou, faudrait-il mieux le dire, de réguler le système Terre – n'est pas un supplément accidentel au diagnostic de l'Anthropocène. Elle est un corollaire direct de l'ontologie qui fonde ces recherches ».

52 « insurance against pressure loss »

Enfin, envisagée sous le seul angle de l'écologie et de la biologie des espèces végétales, cette publication fait figure de parfaite exception sur la question de l'habitabilité terrestre. Le vivant en haute montagne reste ainsi encore largement un *impensé*.

3.1.2 Une géographie de l'invisible : la trajectoire des régimes de perception

Les hautes montagnes sont les recoins de l'écorce terrestre sur lesquels est projetée toute une mythologie liée à la pratique technique et à l'engagement physique requis pour pouvoir y accéder. La qualification de milieux « hostiles » est souvent de mise, accentuant la valeur mentale et physique de celles et ceux qui en font l'ascension (Bozonnet 1992). Cette émotion extatique est historiquement adossée à une rhétorique guerrière et masculiniste : il s'agit de conquérir une montagne vierge ; se lancer à l'assaut de son sommet ; vaincre les éléments ; et enfin remporter la victoire, si possible écrasante, sur ces « monstres » minéraux. L'illustration de cette représentation de la montagne peut se lire dans une expédition célèbre : celle du premier 8000 gravi par des humains. En 1950, une équipe d'alpinistes français s'envole pour le Népal afin de tenter une première symbolique : réussir l'ascension d'un sommet de 8000 mètres d'altitude. L'aventure revête tout autant un caractère sportif que politique : elle offre une opportunité symboliquement forte pour réconcilier une nation meurtrie par la Seconde Guerre mondiale, déchirée par les traumatismes de l'occupation et de la collaboration. Le chef de l'expédition, Maurice Herzog, ancien résistant, excellent alpiniste, est autoritaire et bel homme. Il a le profil parfait pour les médias autant que pour diriger d'une main de fer le groupe de jeunes et fougues alpinistes. Parmi eux sont présents quelques noms qui ont dépassé la seule sphère de cette activité montagnarde, comme Gaston Rébuffat et Lionel Terray. L'expédition relève ainsi du service à la nation et Herzog s'en montrera un zélé missionnaire. Son récit – *Annapurna, premier 8000* (Herzog 1951) – deviendra à sa sortie un *best-seller*, trouvant écho chez plusieurs générations successives de montagnards de divers pays (Macfarlane 2003). De nombreux passages de l'ouvrage traduisent à la fois le mode narratif d'une époque, mais aussi celui, encore actuel, du style d'attention en haute montagne : paradoxe d'une attention centrée sur les éléments autant que sur le soi de l'alpiniste. Ainsi, après des se-

maines de marche d'approche dans un Népal nouvellement ouvert aux Occidentaux, la vue du massif de l'Annapurna imprime à Herzog une vision du monde très épurée. Je complète ici le passage cité dans l'introduction générale : « Aucun homme n'a jamais contemplé ces montagnes qui nous entourent. Aucun animal, aucune plante n'a droit de cité dans ces lieux. Dans la pureté du matin, cette absence de toute vie, cette misère de la nature ne font qu'ajouter à notre force intérieure » (Herzog 1951, p.119). Et d'ajouter : « nous approchons de l'altitude du Mont Blanc ». Donc aux environs de 4800 mètres au-dessus du niveau de la mer. Or l'altitude la plus élevée où des plantes ont été observées – et ce dès 1935 – est à 6400 m, sur les moraines des glaciers du Rongbuk, au Tibet (Dentant 2018). Au vu des connaissances actuelles de la vie à haute altitude (Swan 1992), à 4800 m d'altitude, des plantes ont encore « droit de cité ».

Mais est-il si surprenant que les plantes aient longtemps été invisibles en haute montagne ? Prenant appui sur le rapport des humains aux « simples » – ces herbes du quotidien aux innombrables vertus pratiques et symboliques – l'ethnobotaniste Pierre Lieutaghi (1998) voit dans leur invisibilisation la conséquence de leur tranquille et immobile omniprésence, paradoxale banalité pour des êtres fondateurs de l'émergence de l'humanité (Harari 2015) : « Interlocuteurs primordiaux, nourriciers du corps et de l'intelligence, les végétaux se sont fait oublier aussi bien que l'eau dans les pays de sources » (Lieutaghi 1998, p.8). En altitude, c'est à l'inverse leur rareté qui les extrait de notre champ de vision et d'attention. Ce que Arpin et al. (2015) définissent par « régime de perception » : un double processus cognitif d'attention et d'inattention, considérant à la suite de Dilley (2010) que l'implication volontaire dans la connaissance s'accompagne consubstantiellement d'une inattention active. En somme, un régime de perception implique une sélection du visible. Dilley (2010) insiste aussi sur la volonté de « ne pas connaître » comme un puissant ancrage social : dans un milieu comme l'alpinisme, encore largement masculin et masculiniste (Martinoia 2019), diriger son attention sur les « petites fleurs », la science « aimable » de Rousseau, peut s'apparenter à un manque de virilité. Zhong Mengual (2021) rappelle qu'au 19^e siècle, l'important contingent de botanistes féminines faisait poser la question en ces termes à une partie de l'*intelligentia* victorienne : « *Is botany a suitable study for young men ?* »⁵³(p.122), soulignant le pouvoir potentiellement efféminant (et en conséquence infamant) d'une telle pratique.

53 « L'étude de la botanique est-elle une pratique convenable pour de jeunes hommes ? »

Le régime de perception de l'alpinisme en haute montagne présente certains invariants : les ascensions requièrent une forte mobilisation du corps et une attention autant à son déplacement qu'à celui du compagnon de cordée et au milieu physique. L'attention est assez logiquement focalisée sur la survie des corps en action et lorsqu'il y a relâche, ce sont les éléments paysagers, inhabituels et par définition massifs, qui s'imposent au regard : sommets grandioses, parois vertigineuses, crevasses béantes. Comme le soulignait avec beaucoup de poésie Jacques Lusseyran (2005), il ne suffit donc pas d'être doté du sens de la vision pour voir, surtout dans un espace géographique où le rapport aux éléments et aux non-humains est dicté par une prise directe du corps au maintien de son intégrité. Autrement dit : par la recherche consciente et inconsciente de la survie de son propre corps. Si, comme le soulignait Joutard (1988), « la montagne est conquise par la vue avant de l'être par l'ascension », le régime de perception en haute montagne est celui permettant la préservation du corps, plus difficilement celui de la rencontre avec le vivant. Ainsi le récit de Herzog à l'Annapurna traduit moins l'absence de vie que l'affirmation virile de sa présence.

Un régime de perception renvoie l'idée d'une possible transformation (changement de régime) par l'apprentissage ou l'éducation . Ce dernier terme souffre toutefois d'une vision trop hiérarchique du savoir. « Apprentissage » possède la vertu de ne pas verticaliser les relations de savoir, car il est usuel d'apprendre par soi-même. La démarche de changer de régime de perception, notamment vis-à-vis du vivant, prend alors une connotation positive : « savoir que la perception du monde vivant que nous avons dépend de nos pratiques, et ainsi de la gamme des invites qui nous sont ouvertes ou refermées par ces pratiques, est une excellente nouvelle dans la conjoncture qui est la nôtre – pour ceux qui constatent aujourd'hui les limites de notre œil à l'égard du vivant. Car cela signifie que voir le monde vivant s'apprend » (Zhong Mengual 2021, p.15).

3.2 Le vivant : tentative d'élargissement des concepts de « nature » et de « biodiversité »

3.2.1 Le vivant : émergence et pédagogie d'un concept

Le mot « vivant » n'est pas un terme nouveau. Jusque très récemment, il était presque exclusivement utilisé sous sa forme adjectivale : « être vivant ». En 2020, le philosophe de l'environnement Baptiste Morizot l'utilise comme substantif et au singulier : d'« êtres vivants », d'« organismes vivants », nous voilà avec « le vivant » (Morizot 2020). Le terme connaît un succès populaire, qui trouve un puissant écho dans les luttes environnementalistes (cf. l'article de presse « *Le “vivant”, un concept qui gagne en popularité dans la philosophie et les combats écologiques* » de Nicolas Truong, 22 septembre 2021, Le Monde). « Le vivant » devient un concept basé sur l'« interdépendance » (p.241) entre toutes les espèces, incluant bien sûr l'espèce humaine. Cette approche philosophique est une tentative de répondre au dualisme largement dénoncé et explicité par Descola (2015) et Latour (2015) sur la « fin » de la Nature, au sens de sortir de son extériorisation compulsive valorisée par les modernes depuis Descartes. La signification du mot « vivant » s'est donc transformée sous l'émergence du concept de « vivant ». Son usage se réclame d'une puissante vertu d'être intégrative : celle de l'unité de pensée des êtres vivants, envisagés comme un ensemble interdépendant. Les humains étaient extérieurs à la Nature, mais ils font – et ont toujours fait – partie du vivant.

La popularité du terme le soumet inmanquablement à la critique. Mais même Catherine Larrère, préférant conserver le mot « nature » pour des raisons d'intelligibilité et de repère sémantique dans nos sociétés occidentales (Larrère & Larrère 2018 ; voir aussi Maris 2018), reconnaît dans le même article de presse (« *Le “vivant”, un concept qui gagne en popularité dans la philosophie et les combats écologiques* » de Nicolas Truong, 22 septembre 2021) qu'« on peut être en empathie avec le vivant, pas avec la nature. Et cette notion permet de mettre un peu d'animisme dans notre monde naturaliste ». Cette position « animiste » se retrouve plus assumée encore et pleinement revendiquée chez l'anthropologue Nastassja Martin (2022).

Il m'a déjà été formulé la remarque qu'un concept développé par des intellectuels « *main stream* » (Morizot et Martin peuplant les médias) ne peut que difficilement être pris en considération dans un travail de recherche. Toutefois, le vivant, au-delà de la vertu pédagogique précédemment décrite, offre une alternative efficace à ceux de « nature » et surtout de « biodiversité ».

3.2.2 Retour vers le futur : la « biodiversité » ou la naissance d'un terme consensuel et contre-performatif

Le terme « *biodiversity* » est lancé en 1986 par Walter G. Rosen lors d'un forum organisé par la *National Academy of Science* étasunienne (dont W. G. Rosen est membre) et la *Smithonian Institution* : le *National Forum on BioDiversity* (Blandin 2009, p.25). Le succès du néologisme, contraction de *biological diversity*, est saisissant : les actes du colloque sont publiés en 1988 ; en 1992 le terme est consacré deux fois : à la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement de Rio de Janeiro (Brésil), ainsi que dans l'ouvrage *The Diversity of Life* d'Edward O. Wilson (1992), un des plus célèbres biologistes et écologues du 20^e siècle (alors au sommet de la gloire académique et lauréat de deux Prix Pulitzer). *Biodiversity* trouve presque instantanément des traductions dans toutes les langues. Le terme « biodiversité » devient rapidement d'usage dans la sphère francophone, bien qu'il ne fasse officiellement son entrée dans la langue française qu'en 2009 (Journal officiel du 12/04/2009). L'idée de diversité, initialement uniquement considérée comme un attribut de communautés biologiques, gagne son autonomie en tant qu'objet d'étude, et ce faisant acquiert une valeur intrinsèque : le gain de diversité dans les communautés biologique est positif ; la perte négative. Mais la raison de cette *success story* porte une composante bien plus prosaïque : Blandin (2009) souligne dans un ouvrage au titre explicite – « De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité » – que ce changement transforme la perception même de la nature : « La Biodiversité a remplacé la Nature. La protection a cédé le pas à la Gestion. La techno-logie/cratie s'impose. Ce qui suppose que les sciences, tout particulièrement l'écologie, apportent les concepts, les méthodes, les procédés pour comprendre et manipuler la biodiversité » (p.33). Terme implicitement porteur de technicité, de mesures possibles des éléments du vivant, la biodiversité offre

un nouveau promontoire au désir monarchique de contrôle des humains sur les entités non-humaines. Et il va permettre de réduire la nature à un ensemble conceptuel de variables, paramètres, modèles. Nous y reviendrons plus longuement au chapitre suivant : il y a nombre de critiques à formuler à cet assèchement de la nature. Mais il serait tout autant malhonnête de faire un procès tristement à la mode d'une science génératrice de savoir par la production de données sérielles et d'analyses réitérables. Le principal constat critique est l'amputation du sensible en science du vivant, et son corollaire : la réduction scientifique du vivant à des équations. Gabillet et al. (2020) montre de manière explicite qu'ignorer les émotions dans le processus de connaissance affaiblit l'objectivité bien plus qu'il ne renforce la rationalité.

Les chiffres, dans notre cosmologie occidentale, sont garants de raison : à l'instar de lord Kelvin, inventeur du zéro absolu : « *one does not understand a thing until one is able to measure it* »⁵⁴ (in Hacking 1990). Donner des chiffres sur la destruction du vivant, la fameuse « perte de biodiversité », rationalise l'évènement et pose le diagnostic. Mais cette rationalité ne semble pas irriguer de changement radical. Le « pilotage » de la biodiversité, drapé de cette rationalité scientifique, ne semble ainsi se perpétuer que dans l'incapacité d'endiguer la destruction du vivant. Comme le souligne Tassin (2020) : sans expérience sensible, sans immersion dans un univers vivant au sein duquel il n'est question de contrôle, mais d'altérités (Maris, 2018), ce diagnostic n'est investi d'aucune réalité. Soumis à une population majoritairement urbaine et aux contingences réelles du monde virtuel des réseaux sociaux, ce diagnostic se heurte à la déconnexion quotidienne des humains à un vivant non domestiqué – c'est-à-dire non formaté à leur désir.

Tout en soulignant le fait que la logique du *big data* n'est pas l'apanage des sciences du vivant, Maris (2018) insiste sur le pouvoir insoupçonné de cette « mise en données » massive du monde naturel : celle de l'« invisibilisation du caractère dramatique de la crise environnementale ». L'émergence du concept de biodiversité, en technicisant et revisitant celui de nature, a largement contribué à accroître les modes d'observation de la diversité du vivant. Les suivis multiples d'espèces et de composantes environnementales forment le cœur des activités scientifiques d'espaces protégés comme les parcs nationaux ou les réserves naturelles, autant que celui des sciences participatives (Gabillet et al. 2020). Mais le niveau de technicité et d'in-

54 « On ne peut comprendre une chose que si on peut la mesurer »

vestissement matériel et humain masque de plus en plus difficilement l'absence de solution autre que globale et volontariste face aux pertes massives de biodiversité observées (IPBES 2019).

3.2.3 Émergence du « concernement » et de la culture du vivant

Ce qui apparaît comme une contre-performance du concept de biodiversité n'est en rien compensé par l'usage de celui de « vivant ». Ce dernier s'essaie à être plus englobant, et ce de manière explicite, tout en assumant son rapport à la « crise de la sensibilité » qui caractériserait la crise de la biodiversité (Morizot 2020). Le concept de vivant réintègre le sensible comme une composante objective de la dégradation de l'habitabilité terrestre. Mais son caractère englobant, même ancré dans l'interdépendance entre espèces, ne permet pas de rendre compte de la diversité du vivant, de la connaissance vitale à distinguer les espèces. Il existe donc une tension forte soulignée en ces termes par Descola (*in* Descola & Pignocchi 2022) : « en faisant de la nature un objet d'investigation neutre et mathématisable, [le naturalisme] a rendu possible le développement des sciences [...] ». La biodiversité est un avatar de ce que Descola définit par « naturalisme » : la nature comme un phénomène externe à l'humain. Ainsi, l'invention de la biodiversité a rendu intelligible le vivant, mais a perpétué son extériorisation. Le vivant ramène l'humain au sein d'une communauté de destin, mais rend difficile son intelligibilité. Cette tension est une artère de cette thèse (au sens de la fonctionnalité d'un cœur) : réconcilier la science du vivant, ou le *réductionnisme* de la biodiversité, et la sensibilité au vivant, ou le « concernement » sur l'avenir de *l'habité* terrestre. Ce néologisme, sans reconnaissance lexicale, heurtera assurément le sens auditif et la cognition. Il a été défini par Brunet (2008) comme « toute sensibilité orientée vers une part du monde qui s'exprime par un comportement plus ou moins actif ». Associé au vivant, nous pouvons reconstruire la relation d'interdépendance que ce concept sous-tend : « le rapport que j'ai [au vivant] est aussi le rapport que [le vivant] a avec moi, en tant que je suis touché par [lui] ». Le concernement forge ce que Morizot (2021) appelle la « culture du vivant », ensemble de « réseau de savoirs, d'interprétations, [...] de récits des relations invisibles, de familiarité vécue » lequel permet de « faire exister tout [le vivant] dans le champ de notre attention collective, en reconnaissant que [tous les êtres vivants] habitent le monde et le rendent habitable ». La science, dans une

marge du vivant qu'est la haute montagne, peut être un acteur marquant de cette recherche culturelle.

3.2.4 La taxinomie et la nomination du visible

Le choix de Larrère et Larrère (2018) de conserver l'usage du terme « nature » au vu de son usage historique dans nos sociétés occidentales permet de rappeler un fait fondamental : penser le paradigme de la vie *via* les concepts de « nature », « biodiversité » ou « vivant » ne s'affranchit pas d'une réflexion sur un des fondements des relations des humains aux non-humains, à savoir distinguer et nommer les unités perceptibles du vivant : les espèces. Sous le terme de taxinomie (ou taxonomie) repose toute la science de la classification du vivant. Si le mot n'est arrivé dans le langage qu'en 1813 (inventé par le botaniste Augustin de Candolle⁵⁵), la recherche pour essayer de rendre compréhensible la diversité du vivant est bien plus ancienne, avec déjà des prémisses dans les écrits d'Aristote. Andrea Cesalpino et Joseph Piton de Tournefort, au 16^e siècle, proposeront de premières formes de classification telle que nous les utilisons encore : hiérarchisée selon des caractères partagés par les espèces au sein de groupes. Comme l'assume Judd et al. (2008), dans un ouvrage détaillant le mode de classification le plus actuel (la phylogénie) : « *a classification is ultimately a vocabulary, a means of communication* »⁵⁶. La nécessité de ce « vocabulaire » du vivant, de ce médium de sociabilité du savoir, permet d'« articuler ensemble, dans un style d'attention complet, toutes les composantes de la disponibilité humaine au-dehors » (Morizot 2020, p.141). En somme, pour suivre en cela Zhong Mengual (2021), chercher l'intelligibilité dans la diversité et la complexité du vivant ne revient pas à « condamner la connaissance comme mortifère, en réaction à la hiérarchie instaurée par le modèle de la science moderne » (p.25), même s'il demeure des débats extrêmement vifs, notamment sur la marque coloniale d'une telle nomenclature (cf. Wright & Gillman 2021).

55 In *Théorie Élém. de la bot.*, p. 19

56 « une classification est en définitive du vocabulaire, un moyen de communiquer ».

3.2.4.1 *De la collecte au classement*

Hoquet (2005) rappelle un fait simple, une évidence qui n'appelle pas d'attention : il ne peut y avoir de tentative de classification « s'il n'y avait eu, auparavant, l'opération de collecte ». S'il parle ici des modernes, ce principe s'applique aisément à toute pratique de cueillette, dans tout groupe humain, celle-ci n'étant ni plus ni moins qu'une forme de collecte. Mais c'est bien à la désignation des unités du vivant comme envisagé dans les sociétés savantes d'Europe occidentale que nous allons nous intéresser. Notamment du fait de sa généralisation géographique et d'usage : elle fonde la nomenclature scientifique internationale du vivant.

Dès le 16^e siècle, la généralisation des voyages d'exploration et de conquêtes coloniales apporte un lot colossal de nouvelles formes de vie, dont beaucoup vont voir leur intérêt économique s'affirmer : le tabac, le café, la canne à sucre, les épices, etc. Ces mobilités impliquent autant la violence (esclavage et prise de territoires) qu'une dynamisation de la science occidentale – encore appelée « Histoire naturelle » (Mao 2021, p.66). Le flot continu de récoltes ramenées de territoires lointains et encore largement méconnus impose d'organiser et de rendre intelligible la diversité de ces organismes inconnus. Cette pression de la connaissance n'est pas le seul désir de cercles scientifiques : les pouvoirs étatiques et économiques ont parfaitement compris les intérêts multiples en jeu. Dans la continuité d'une telle logique, si les premières classifications abouties sont botaniques, cela se réfère à la subordination séculaire de ce domaine à la médecine : les plantes étaient alors étudiées de manière bien plus approfondie que les animaux (Corsi 2005, p.22) dans un objectif déjà critique de recherche des « matières » propres à soigner.

3.2.4.2 *Désigner les unités du vivant*

Toutefois, si la collecte est un préalable au classement, il en va de même avec l'acte de désigner. Dans l'Histoire naturelle, désigner consiste à « nommer » (Foucault 1966). Drouin (2005) le souligne ainsi « [...] la dénomination est l'acte premier qu'on prête à Adam parce qu'elle est la condition de toute connaissance socialisée de la nature » (p.38). Nommer et classer semblent ainsi être des actes consubstantiels à notre humanité et à notre relation aux autres vivants. Dans les années 1950, au cours de ses recherches ethnobotaniques aux Philip-

pires, Harold Conklin mit en évidence que les Hanunóo distinguaient et nommaient 1600 formes de vie différentes sur leur île, quand la science moderne avait inventorié 1100 espèces (Meilleur & de Garine 2008). On trouve chez Lévi-Strauss (1962) de nombreux exemples anthropologiques de modes de nomination permettant d'organiser la pensée de la nature, précisant que « les classifications indigènes ne sont pas seulement méthodiques et fondées sur un savoir théorique solidement charpenté. Il arrive aussi qu'elles soient comparables, d'un point de vue formel, à celles que la zoologie et la botanique continuent d'utiliser » (p.60). Et de citer les Aymaras de l'*Altiplano* bolivien ou les Wik Munkan du sud de l'Australie. Les termes utilisés par Lévi-Strauss sembleront encore traduire une vision coloniale du savoir : la valeur des classifications « indigènes » n'est considérée qu'en fonction de leur proximité à la référence que représente le système de classification des modernes héritée de Tournefort et Linné. Lévi-Strauss reste néanmoins un des premiers intellectuels à avoir démystifié la suprématie auto-proclamée de la science occidentale et à avoir valorisé, avec les codes sociaux de son époque, des savoirs tribaux.

La classification de Tournefort (1656-1708) fut particulièrement prisée, car illustrée de somptueuses planches de Claude Aubriet (1665-1742). L'illustration a une emprunte capitale sur l'usage des noms : les premiers à avoir traversé le temps sont issus d'écrits antiques, notamment *De materia medica*, traité de pharmacopée de Dioscoride (1^{er} siècle ap. J.-C.), qui connut un succès sans discontinuité jusqu'à la Renaissance grâce aux remarquables illustrations qui l'enrichir au fil des éditions. Zhong Mengual (2021) insiste sur le lien organique unissant dessins et Histoire naturelle, permettant « l'apprentissage, l'entraînement et la transformation de l'œil exercé à l'endroit du monde vivant ». Nous reviendrons sur cette relation singulière au chapitre 7, en convoquant une forme moderne de dessins narratifs : la bande dessinée. Pour Foucault (1966), la vue est ainsi « le sens de l'évidence et de l'étendue » (p.145). Conner (2011), dans son *Histoire populaire des sciences*, souligne le fait que les écrits seuls rendaient ces ouvrages botaniques inaccessibles pour l'écrasante majorité des individus. Les illustrations agissaient en contrepoint « naturel », en mettant ces ouvrages à la portée d'un plus large public. Conner ajoute cette citation de Sarton (1960) : « même les femmes pouvaient avoir envie d'en savoir davantage » (p.346). Si la formulation ouvre à controverse, le point signifiant est que les illustrations permettaient aux personnes les plus exclues de toute

forme d'éducation (femmes de catégorie sociale populaire) d'accéder à une connaissance scientifique grâce aux images. Les images comme un remède à une forme d'intersectionnalité.

Au-delà des seules illustrations liées à son œuvre, Tournefort fait un apport décisif à la taxinomie et à la nomenclature botaniques : il définit l'unité du vivant encore à l'heure actuelle la plus intuitive, le genre. Un genre est considéré par Tournefort comme un groupe « naturel » de plusieurs espèces, c'est-à-dire un regroupement intuitivement délimité par une observation visuelle de critères morphologiques simples : ce sera par exemple le genre *Rosa* (les rosiers ou églantiers) avec ses épines et fleurs singulières, ou le genre *Quercus* (les chênes) avec son port arboré (il n'existe pas de chêne herbacé !) et ses fruits caractéristiques (les glands). À cette invention, Tournefort va combiner la nomenclature d'un système astucieux et rapidement repris par ses pairs : nommer une plante commencera systématiquement par son nom de genre (un genre étant un groupe « naturel » de plusieurs espèces, c'est-à-dire un regroupement intuitivement délimitable par une observation visuelle de critères simples – comme les rosiers (genre *Rosa*) avec leurs épines et fleurs ; ou les chênes (genre *Quercus*) avec leurs glands). Au sein du genre auquel elles appartiennent, les espèces sont ainsi nommées par le nom du genre puis par une phrase descriptive, variant d'un auteur à l'autre. Par exemple, ce que l'on appelle l'androsace alpine (*Androsace alpina*) était nommé par Haller : *Aretia villosa scapis unifloris* (le genre choisi est ici *Aretia*, la suite est une désignation de l'espèce par des termes descriptifs : « *Aretia* velue avec une tige à une fleur ») ; Rolando Martin nommera la même espèce *Androsace caulescens, foliis alternis, pedunculis unifloris* (le genre choisi est ici *Androsace* : « *Androsace* avec tiges, feuilles alternes, pédoncule à une fleur ») ; Bauhin quant à lui choisira *Sedi saxitalis variegato flore*⁵⁷. La synthèse opérante va arriver au siècle des Lumières avec les travaux de Carl von Linné (1707-1778). Avec la réforme de Linné, cette espèce prend le nom de *Aretia alpina*. Le mode de dénomination repose sur un binôme : le nom de genre auquel appartient l'espèce, suivi d'un nom caractérisant l'espèce. Le binôme met fin aux phrases descriptives, allongées et instables au sein même du nom des espèces.

3.2.4.3 *Le vivant inscrit dans le temps : la naissance de la phylogénie*

La taxinomie de Linné reposera – outre l'aspect nomenclatural – sur les parties fertiles des

57 Que l'on pourrait traduire par « fleur compacte, sagittée et penchée »

plantes à fleurs. Inutile d'en préciser présentement les incertitudes et évolutions⁵⁸. La révolution darwinienne de l'évolution des espèces et de leur subordination à un ancêtre commun a entraîné une revisite en profondeur de la taxinomie issue des Lumières. L'irruption de l'Évolution a d'ailleurs entraîné la création d'une discipline plus large encore que la taxinomie : la systématique. Cette science inclut la taxinomie et élargit le spectre de la recherche à la diversité et aux relations évolutives entre espèces et groupes d'espèces. Il ne s'agit ainsi plus seulement de classer les espèces les unes par rapport aux autres, mais d'établir leurs relations évolutives : partagent-elles un ancêtre commun ? Sont-elles au contraire plus éloignées que ne le laissent supposer leurs ressemblances ? Répondre aux questions posées par la systématique implique de reconstruire l'histoire évolutive du vivant. C'est l'essence même de la phylogénie. Inventée par l'entomologiste allemand Willi Hennig (1913-1976), la phylogénie repose sur la désignation d'un taxon (espèce, genre, famille ou autre rang taxinomique) comme étant un groupe partageant un seul et même ancêtre commun : un clade. Ce dernier implique un ensemble d'entités partageant des caractères hérités (essentiellement génétiques). Avec la phylogénie, les taxons perdent leur fixité morphologique voulue par le système linnéen, mais s'enracinent dans le passé, dans une histoire évolutive. Ils forment une lignée. Les caractères morphologiques sans lien d'héritabilité conservent la valeur discriminante visuelle *in natura*, permettant de garder en pratique un « vocable » partagé de désignation des entités vivantes. Toutefois, la phylogénie redistribue les cartes de ces entités : incluses à présent dans des groupes temporellement polarisés, seuls les caractères morphologiques ne violant pas cet enracinement des taxons les uns par rapport aux autres seront gardés. Ou d'autres seront trouvés. Judd et al. (2008) insistent en ces termes : « *obvious morphological character [...] is an important extension of the idea of a well-supported group* »⁵⁹ (p.33). Par « *group* », il faut entendre « clade ». Et un clade bien défini n'est pas un acte de magie, mais requiert une chaîne de travail complexe dont il n'est question ici. Mais la complexité de cette chaîne repose en partie sur le fait que la phylogénie infère aux espèces vivantes une histoire passée. Avec toutes les incertitudes que cela implique.

Une des singularités de la classification moderne du vivant est la coexistence de deux lo-

58 On se référera à l'excellent ouvrage collectif *Les fondements de la botanique. Linnée et la classification des plantes* (2005, sous la direction de Th. Hoquet).

59 « un caractère morphologique évident [...] est une importante extension à l'idée d'un groupe bien défini ».

giques inconciliables et dont l'association n'est pourtant pas suffisamment dysfonctionnelle pour l'empêcher de persister (malgré les tentatives de certains chercheurs – cf. de Queiroz & Gauthier 1992) : la phylogénie, derrière ses attributs potentiellement fascinants de séquençage génétique, de bio-informatique et de statistique bayésienne, repose toujours, pour la dénomination des taxons, sur le code de nomenclature hérité du système linnéen (*International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*⁶⁰) et édité pour la première fois en 1867 par Alphonse de Candolle – fils d'Augustin, inventeur du terme « taxonomie ». Même si elle garde en bonne partie sa fonctionnalité, cette alliance d'une polarisation temporelle des espèces avec une désignation nomenclaturale basée sur une vision fixiste du vivant n'est pas sans difficulté pratique (cf. Baumel et al. 2023). De plus, ce système de codification est source de pouvoir symbolique, car il permet aux premiers descripteurs d'une espèce d'y associer leurs noms – et par extension, une forme de postérité. Or le temps de la phylogénie (et son coût) est beaucoup plus chronophage que celui d'une description purement morphologique. Il en ressort là aussi des difficultés d'ordre psychosocial, qui ne sont pas rares dans des domaines scientifiques disjoints partageant une zone « frontière » (Mauz & Granjou 2013).

3.2.4.4 *Le risque de désanimation du vivant*

Comme le souligne Zhong Mengual (2021), la classification a aussi été « pointée comme une entreprise de “désanimation” du monde vivant. Elle réduirait celui-ci à un chapelet artificiel de noms latins, objectiverait les êtres, instrumentaliserait la nature à des fins commerciales et agronomiques, serait une activité complice des entreprises coloniales, et enfin tuerait ce qu'elle croit aimer [...] » (pp.16-17). La critique, s'il est n'est que reprise par l'auteure, ne peut être balayée d'un revers de main : se retrouve ici la tension entre les concepts de vivant et de biodiversité, dont la taxinomie est une racine ancienne. Bertrand (2019) dit d'Alfred Wallace, co-découvreur de la théorie de l'Évolution avec Darwin, que « ce [qu'il] ne dit pas, ce qui ne lui vient même pas à l'idée de dire, c'est qu'il n'est jamais de savoir innocent, et que les “sciences du vivant” s'édifient sur un monceau de petits cadavres. » (p.98). Il n'est qu'à voir les masses colossales de plantes séchées qui peuplent les herbiers, tant institutionnels que chez les botanistes professionnels ou amateurs. *Idem* chez les entomologistes et les boîtes hermétiques emplies de cadavres de papillons, carabidés, libellules et autres criquets. Pourtant ce

60 <https://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php>

sont ces *collections naturalistes* – terrible terme achevant de chosifier le vivant – qui sont à l’origine même de l’essor du terme de biodiversité : ces collections ont permis de mesurer l’étendue des connaissances par une sommation enfantine des espèces décrites, mais elles ont surtout mis en lumière l’horizon insondable de notre ignorance. La diversité du vivant échappe à notre mesure du monde.

Cette poursuite du savoir naturaliste n’est-elle qu’amoncellement de « petits cadavres » ? Zhong Mengual (2021) propose d’aller de l’avant, de ne pas se complaire dans un constat de nuisance : « c’est parce que ce travail critique a été effectué que je peux faire passer un scalpel, un outil de discrimination fin, entre ce qu’il y a de potentiellement toxique dans celles-là et ce qu’il y a de profondément revitalisant pour les problèmes qui sont les nôtres aujourd’hui, à savoir changer notre rapport dominant au monde vivant. » (p.17). L’écrivaine Jeanette Winterson (2011), en reprenant l’allégorie d’Adam, définit dans un mélange d’humour et de profondeur le fait que nommer ne conduit pas forcément à la réduction de l’observé, mais peut-être aussi facteur de concernement : « *I am like Adam and I need to name things. This is not taxonomy and it’s not reductive, rather it’s trying to find a language that fits [...] not only the object or the experience but also the feeling* »⁶¹. Cette position de Winterson renvoie au concernement (cf. §3.2.3). A Latour (2015) de conclure en ces termes : « L’une des grandes énigmes de l’histoire occidentale n’est pas qu’il y ait encore des gens assez naïfs pour croire à l’animisme”, mais la croyance plutôt naïve que beaucoup de gens ont encore en un “monde matériel” prétendument désanimé » (p.77).

La fabrique d’une « culture du vivant » par le concernement semble apte à créer un contre-poison philosophiquement efficace à la désanimation.

61 « Je suis comme Adam et j’ai besoin de nommer les choses. Il ne s’agit pas de taxinomie ni de réduction, mais plutôt d’essayer de trouver un langage qui corresponde [...] non seulement à l’objet ou à l’expérience, mais aussi à la sensation. »

3.2.5 Pourquoi les plantes ?

3.2.5.1 La prééminence de l'animé

Tenter de comprendre les non-humains, de renouer avec ces altérités trouve une certaine vitalité dans nos sociétés occidentales. La littérature s'enrichit d'œuvres visant à l'herméneutique des comportements ou mode d'existence d'une espèce ou d'un groupe d'espèces (loup, ours, oiseaux, abeilles, cachalot, sanglier, etc.). La collection *Mondes Sauvages* des éditions *Actes Sud* a été créée dans cette optique. Quels que soient les efforts d'écriture, cette « réconciliation » avec le vivant se concentre presque exclusivement sur l'animal, et ce avec d'autant plus d'attention, d'empathie, que l'Évolution a placé ces espèces près de la nôtre (Miralles et al. 2019). Nous n'aurions ainsi d'yeux et d'attention que pour ce qui nous ressemble, est « animé », doué d'un semblant d'« âme » (du latin *anima*, ayant donné animal). Ce que certains auteurs ont défini par la « cécité verte » (*Plant blindness* - Wandersee & Schussler 2001). Seule notable exception de cet « aveuglement » : l'arbre. Il est la « star » du végétal et s'impose dans de nombreux débats contemporains : compensation carbone (plantation d'arbres) ; conservation des écosystèmes (forêt primaire) ; « reconnexion » à la nature et ressourcement psychique (« sylvothérapie ») – tendances non immunisées d'un certain ésotérisme (Guyon 2022). L'arbre est aussi la matérialisation d'un monde supposé sauvage, la forêt s'opposant à l'espace ouvert, celui du champ, de la domestication (Lieutaghi 1998). Les herbes et autres plantes n'ayant pas cru bon d'ériger un tronc restent en arrière-plan, banalisées, invisibilisées. Au mieux intègrent-elles l'homogénéité d'une couleur quand il s'agit de se « mettre au vert ». Leurs manières d'être vivantes, leurs modes de vie sont à ce point distants du nôtre que la rencontre semble impossible. Ou alors sous la forme répétée de l'« affrontement phytogéographique » : les plantes à fleurs ont cette particularité d'avoir une embryogenèse continue. Elles possèdent une croissance continue et ses ramifications se régénèrent lorsqu'elles sont sectionnées. Cette capacité intrinsèque a pour conséquence des expansions continues des surfaces occupées, qu'elles soient horizontales ou verticales. Les plantes occupent inlassablement l'espace. Nous nous évertuons à libérer ce qu'on considère comme le nôtre de leur présence intrusive : les pelouses sont tondues, maintenues à l'état de moquettes salissantes ; les haies sont taillées, confinées à murer le champ de vision des voisins (Lieutaghi 1983). Chez les

« peuples de la pelouse », la libre croissance du végétal « salit » l'espace et témoigne par extension d'un irrespect à l'égard des voisins (Arpin et al. 2015). En ville, les arbres ont le statut de « mobiliers urbains ». La chosification du vivant codifie aussi le social.

3.2.5.2 *L'impossible « intention » végétale*

La scandaleuse débauche sexuelle des plantes à fleurs aurait pu contrebalancer ce dédain, car elle n'a pas de rivales dans toute la biosphère. Les émissions printanières de pollen sont assimilables à des éjaculats telluriques, et nombre de fruits résultent d'orgies gargantuesques, impliquant une zoophilie débridée et une scatophilie à peine dicible. Pourtant, même ainsi, nous ne leur accordons aucune impudeur : leur luxure ne nous émeut pas. Au contraire, nous ingurgitons des tonnes de pollen et de fruits sans coup férir. Notre relation aux plantes semble ainsi devoir se résumer à l'usage que nous pouvons en faire : une plante n'a d'intérêt à nos yeux que si elle « sert à quelque chose ». Notre incapacité à reconnaître aux plantes une altérité serait-elle un acquis de notre espèce pour vivre, exister ?

Un terme populaire récemment apparu pour le monde végétal trace un nouveau regard : « intelligence » (Debono 2020). Les plantes en seraient-elles dotées ? L'ambiguïté du terme n'est pas étrangère à son succès, car l'intelligence telle que nous la concevons implique – à nouveau – une *intention*. Mais le débat n'est pas aussi vif qu'il y paraît : pour beaucoup, l'évidence, le populaire « bon sens », suffisent à dénier toute forme d'intelligence aux végétaux, êtres immobiles à notre échelle de perception et dépourvus de système neuromoteur sophistiqué. D'autres auteurs proposent plus prosaïquement de reconnaître aux plantes une « sensibilité » singulière au monde (Tassin 2020). Ce concept a le mérite d'inclure autant une composante émotive que corporelle. Serait-il saugrenu de reconnaître aux plantes une sensibilité corporelle ? S'il semble que la « cause végétale » doive encore attendre, du moins de nouvelles attentions apparaissent. Un nouveau régime de perception émerge.

L'étude des relations des sociétés humaines aux plantes porte le nom d'ethnobotanique. « L'ethnobotanique se donne pour objet l'étude des plantes et des hommes au travers des relations entre ces groupes d'êtres vivants [...]. Son champ d'activité est conditionné par ce que sont les plantes, non avec des critères simplement morphologiques, mais telles qu'elles s'offrent à l'homme avec leurs aspects, leurs qualités, leurs propriétés, leurs animations réelles

et subjectives, leur puissance évocatrice » (Portères 1966). L'ethnobotanique est ainsi le champ disciplinaire liant la recherche en sciences sociales et l'étude du végétal. Non affranchie de critiques (Barrau 1977 ; Descola 2011), notamment pour ses visées coloniales durant plusieurs siècles (avec une intensité particulièrement élevée durant la première moitié du 19^e), cette discipline a trouvé contre toute attente un renouveau sur le territoire français, dans les années 1970, d'où elle était pourtant presque totalement absente. Pierre Lieutaghi, par ses nombreux travaux en haute Provence (Lieutaghi 1996 ; 1998 ; 2006), a assuré une survie de la discipline par sa décolonisation : la recherche sur les plantes « civilisatrices », façonnant des sociétés humaines autant qu'elles étaient en retour façonnées par les usages et cosmologies anthropiques (Lieutaghi 2008), devenait mise en application sur le territoire français, dans les espaces ruraux où la transmission de savoirs liés à la flore commune agonisait.

La décolonisation précoce de ce savoir n'a pas pour autant assuré une vitalité pérenne à la discipline, encore à ce jour marginale dans la recherche académique dévolue aux relations humains/non-humains. La botanique semble en effet regagner l'espace strictement naturaliste et le végétal voué à demeurer le parent pauvre du regard humain sur le vivant. Il peut donc sembler surprenant d'entreprendre une ethnobotanique d'un espace considéré comme désertique, où les humains ne font que transiter sous une forme se rapprochant plus de la survie que d'une pleine existence, et où il n'y a même pas d'arbre pour accrocher l'expression d'émotions relationnelles. Mais nous montrerons dans la partie II de ce travail que la haute montagne n'en est pas moins un espace habité, riche d'une diversité singulière d'êtres vivants. Notre hypothèse est que l'absence de relation entre humains et plantes peut être aussi une source d'information sur notre société au même titre que celle issue des usages que l'ethnobotanique traditionnelle a relatés au cours du siècle précédent (Portères 1966) : elle est la traduction d'un état de notre société moderne qui a rompu le lien avec le végétal, qui ne le voit plus, qui l'invisibilise en le chosifiant. « Les esclaves n'ont pas la parole » (Lieutaghi 1983). Il s'agira donc de construire une ethnobotanique du « vide relationnel » (cf. §6.1.3.2).

3.3 Géographie des sciences en haute montagne et sociologie de l'acteur réseau

« *To such practitioners, the “where” of inquiry was fundamental to the practice of authentic science. Particular physical places shaped scientific theories of ecological succession, animal communities, and dune morphology.*

In these ways and in many others, issues of space – location, place, site, migration, region – are at the heart of scientific endeavor ». ⁶² (Livingstone 2010, p.5)

« C'est en refusant d'admettre, à un niveau méthodologique, les grandes divisions postulées par les sciences (à la fois naturelles et sociales) que la sociologie de l'acteur réseau est en position d'expliquer, à un niveau théorique, le rôle des sciences et des techniques dans la construction des collectifs dans lesquels nous vivons ». (Callon 2006, p.276)

Une des particularités de l'exercice de la science en haute montagne est le poids de l'influence du lieu – le « *where* » de la citation introductive de Livingstone. Ce dernier auteur, en défendant l'existence d'une « *geography of science* », considère que les lieux d'exercice de la science ne sont pas neutres, qu'ils ont une influence à la fois sur la manière de pratiquer les sciences autant que sur les résultats qu'elles y produisent⁶³.

Cette géographie des sciences, si elle ne nomme pas explicitement la sociologie de l'acteur réseau (traduction de l'anglais *actor-network theory*), s'y intègre grandement : pour Callon (2006), la société comme la science ne « constitue pas un cadre à l'intérieur duquel évoluent les acteurs. La société est le résultat des actions en cours » (p.267). Et les actions elles-mêmes sont le produit d'un réseau. Une autre originalité de ce concept est également d'intégrer les

62 « Pour ces praticiens, le “où” de l'enquête était fondamental pour la pratique d'une science authentique. Des lieux physiques particuliers ont façonné les théories scientifiques de la succession écologique, des communautés animales et de la morphologie des dunes. De bien des manières, les questions d'espace - localisation, lieu, site, migration, région - sont au cœur de la démarche scientifique. »

63 Notons qu'une certaine confusion a été créée par l'usage du terme « géographie de la science » pour traiter de ce que nous pourrions appeler la « géographie de la recherche académique ». Ainsi Mao (2021), pour éviter l'ambiguïté, préfère le terme de « géographie de la connaissance ». Le choix ici fait est de garder l'usage établi par Livingstone (2010) et de ne convoquer par la suite que l'expression « géographie des sciences ».

non-humains comme des « actants », c'est-à-dire des éléments du réseau générant des actions. Par non-humains, il faut comprendre les espèces autres qu'humaines (comme les plantes à fleurs ou la baleine bleue), mais aussi les entités supposées « inertes » telles que les montagnes et les rivières – autrement désignées par le terme d'« altérités » (Poirier 2023). Cet ensemble d'acteurs, Latour (2015) le résume avec humour : « ce qui, jusqu'à maintenant, était resté tranquillement à l'arrière-plan – le paysage qui avait servi de cadre à tous les conflits humains – vient de rejoindre le combat » (p.79). Car il s'agit bien là d'une spécificité de la sociologie de l'acteur réseau, que Callon (2006) explicite ainsi : « dans la vision traditionnelle, les non humains sont évidemment présents, mais leur présence ressemble à celle de meubles dans un intérieur bourgeois. [...] Dans la mesure où ils sont traités comme extérieurs au collectif ou comme étant instrumentalisés par lui, les non humains sont dans une position de subordonnée. »

Voilà donc une position épistémologique forte (« radicale », si je ne voulais me soustraire à une mode lexicale) : considérer dans ce travail les montagnes comme un agent fondamental de la science qui y est exercée, tout autant que les plantes à fleurs ou les institutions qui nous emploient et ont permis cette production scientifique. Sans compter ce que Latour qualifie d'« hybrides » (Latour 1991) : « hybrides nous-mêmes, installés de guingois à l'intérieur des institutions scientifiques, mi-ingénieurs, mi-philosophes, tiers instruits sans le chercher, nous avons fait le choix de décrire les imbroglios où qu'ils nous mènent. Notre navette, c'est la notion de traduction ou de réseau » (p.7). L'hybride, c'est aussi la recomposition agissante que donne l'assemblage d'au moins deux acteurs du réseau. Une recomposition agissant différemment que chacune de ses parties non hybridées. Sans jamais définir avec précision ce qu'il entend par ce terme, Latour en donne un aperçu épistémologique dans une de ses conférences de « Face à Gaïa » (2015) : « C'est tout l'intérêt des termes de “limites planétaires” aussi bien que de “zones critiques”, ces notions inventées, comme l'Anthropocène, par des scientifiques devenant conscients que la notion de limite comprend le droit, la politique, la science – et peut-être aussi la religion et les arts. Tout ce qui permet de se rendre sensible à la rétroaction des êtres. Ce qu'ils réinventent par ces termes hybrides⁶⁴, c'est une activité *géo-traçante*, qui ne fait que nous rappeler, après tout, le sens ancien de la *géographie*, de la *géologie*, de la *géomorphologie*, c'est-à-dire l'écriture, l'inscription, la graphie, le parcours et l'inventaire d'un

64 c'est moi qui souligne

territoire. Personne ne peut appartenir à un sol sans cette activité de pistage de l'espace, de parcours des lopins et de traçage de lignes, tous ces mots grecs – *nomos*, *graphos*, *morphos*, *logos* – de la même *Gè*, *Géo* ou *Gaïa*. » (p.280-281).

Ce terme d'« hybride » va souvent revenir dans cette thèse, car *in fine*, c'est une des caractéristiques dominantes de ce travail de recherche : l'hybride de l'espace et du vivant (hautes montagnes et plantes à fleurs) ; l'hybride des scientifiques (académiques et non académiques) ; l'hybride des institutions (parc national et laboratoire de recherche) ; l'hybride des arts et de la science (bande dessinée et recherche) ; l'hybride, enfin, des sciences sociales et des sciences de la nature. Voilà qui trahit pour partie la logique de « purification » propre à la modernité selon Latour (1991), où il s'agit de compartimenter les éléments du réseau socio-écosystémique pour mieux les comprendre. En assumant cette tension entre « traduction » (du réseau) et « purification », la géographie des sciences et la sociologie de l'acteur réseau nous permettent de poser un cadre structurant sur l'ensemble de cette thèse (figures 12a, b, c – la représentation schématique est par nature sujette à discussion dans les choix de représentation et de simplification du réseau. Ces choix ont moins pour objet le débat que la modélisation simple et visuellement efficace des agents à l'œuvre dans le triptyque formant l'essence du réseau : science, hautes montagnes, plantes).

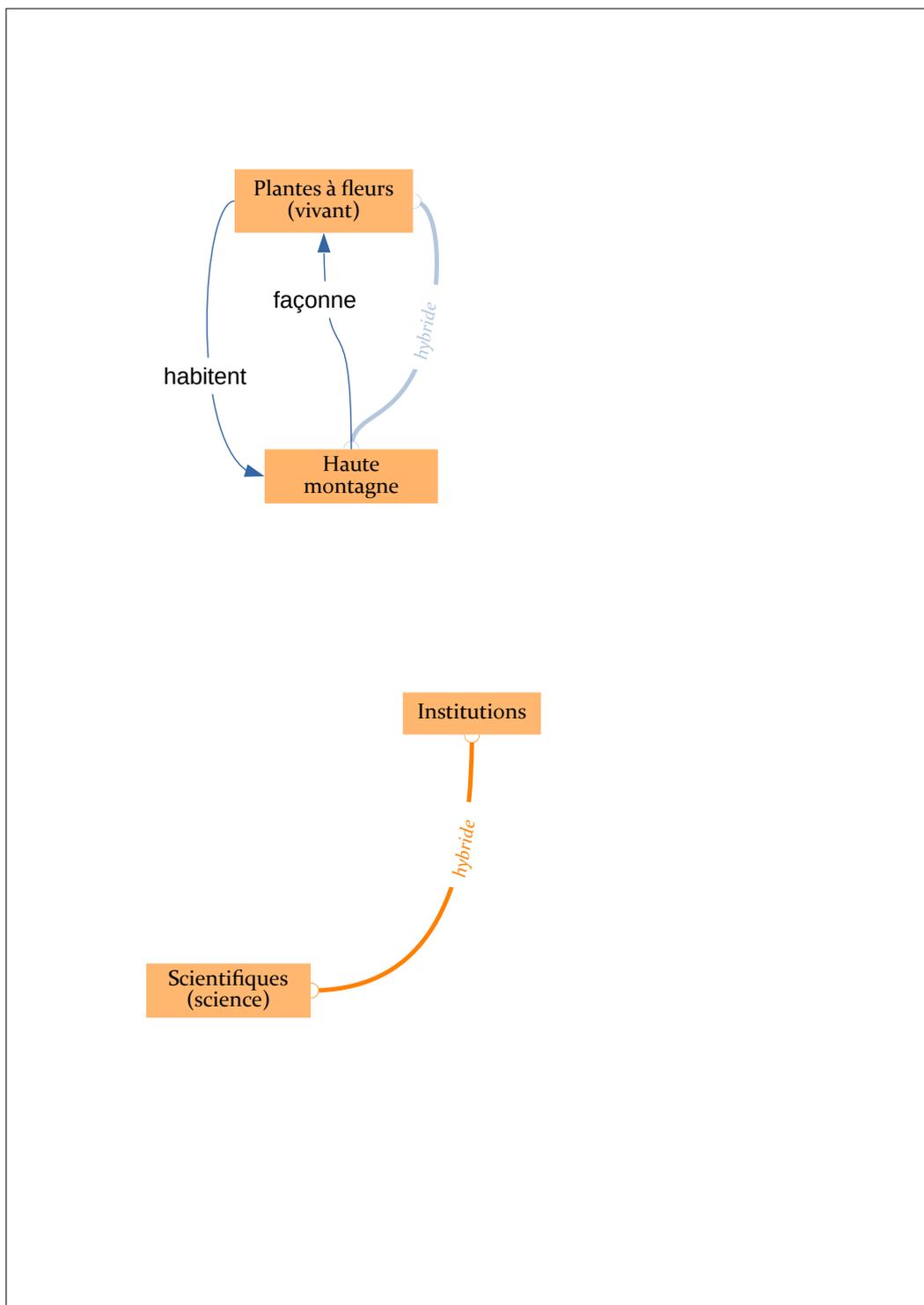


Figure 12.a. Le vivant envisagé est réduit aux plantes à fleurs (spermaphytes), et plus précisément celles qui se rencontrent en haute montagne, laquelle plus qu'un « environnement » influence le vivant qui l'habite (1^{er} hybride). Dans un autre espace géographique, des scientifiques produisent une science sous l'égide des institutions qui les emploient (2^e hybride).

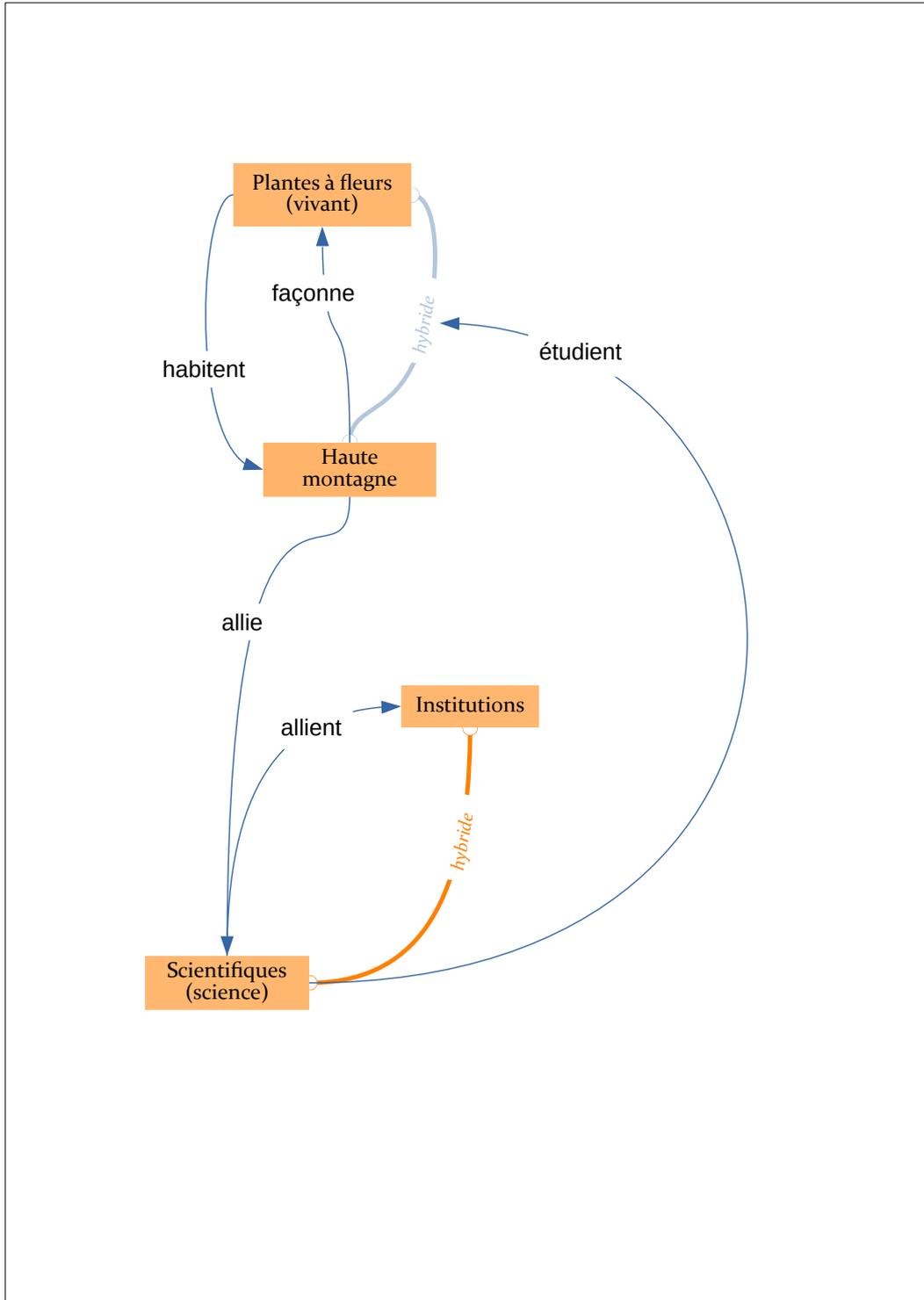


Figure 12.b. Les scientifiques n'étudient pas seulement le vivant, mais le vivant spécifique à la haute montagne. Celle-ci, par son caractère extrême, oblige à l'alliance des scientifiques sous la forme de cordée, de corps co-engagés dans la pratique. Ce faisant, ils obligent/requièrent des institutions une alliance pour l'étude de l'hybride vivant/haute montagne.

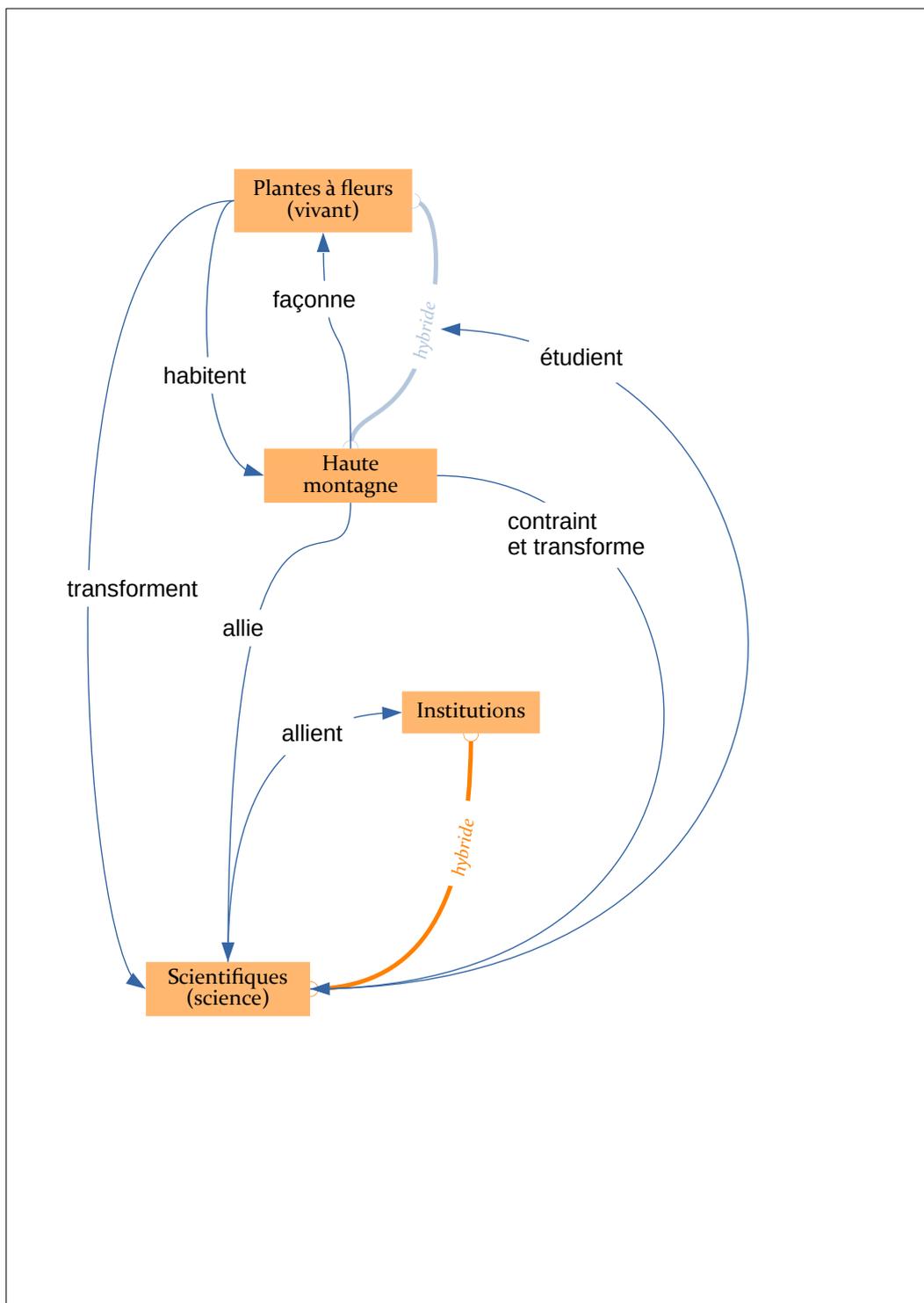


Figure 12.c. Mener une recherche en haute montagne n'est pas neutre. Cet espace est largement connu pour transformer les humains qui l'investissent. Les scientifiques n'échappent pas à cet impact émotionnel. De même, découvrir des organismes habitant des espaces où la survie des observateurs est engagée est un élément de transformation de la subjectivité, quand bien même le scientifique se contraint à l'objectivité.

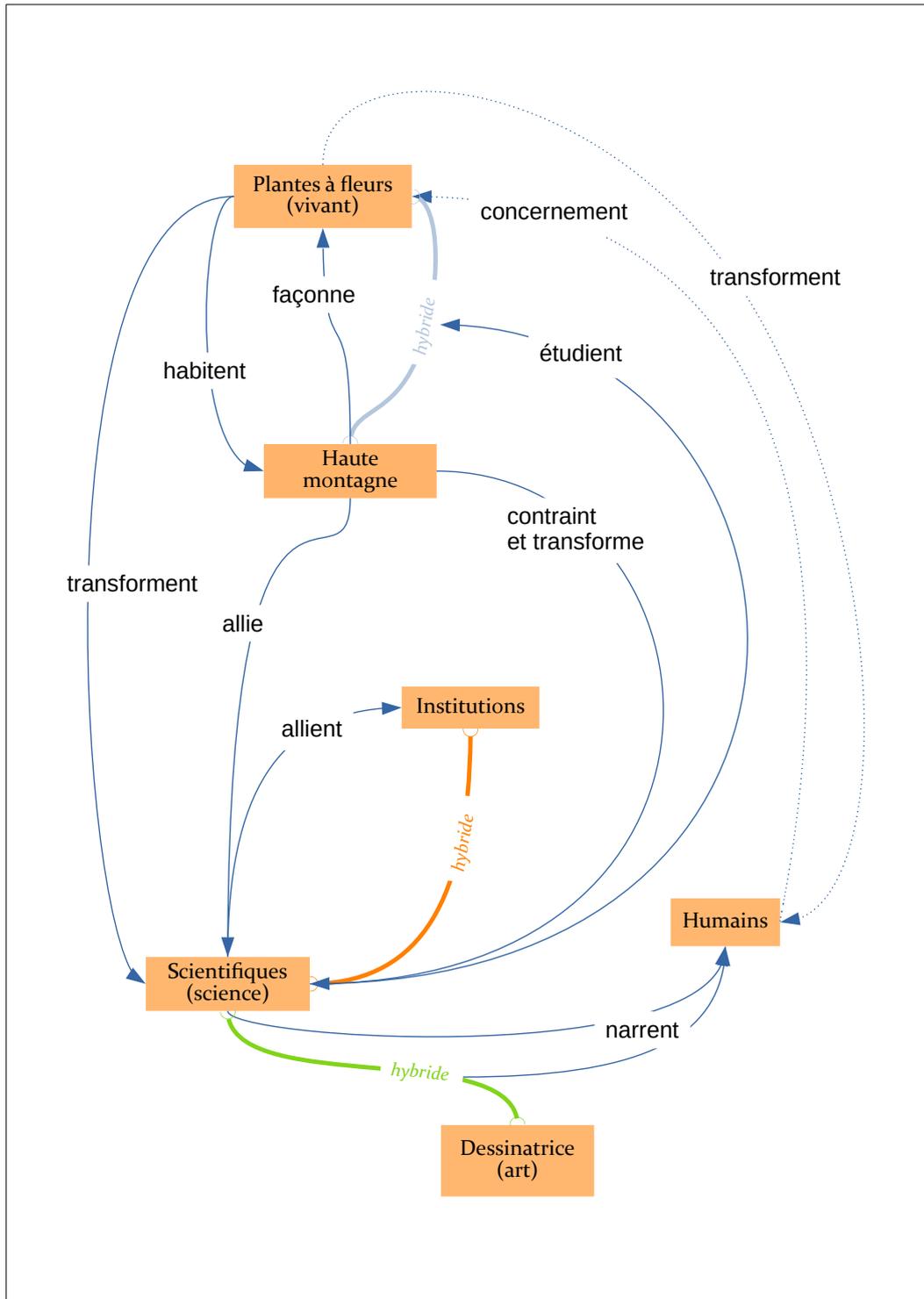


Figure 12.d. Lorsque mise en récit auprès d'autres acteurs humains que les scientifiques, la science du vivant menée en haute montagne influence sur le régime de perception. Elle contribue à produire une « culture du vivant » et ce faisant, peut impliquer du concernement. La mise en récit, l'acte de narrer, peut prendre différentes formes. Une des expériences schématisées est celle menée avec un art populaire et à large spectre : la bande dessinée. Un nouvel hybride apparaît alors : celui de l'art et de la science.

3.4 Questions (axes) et hypothèses de recherches

Je reprends ici un modèle schématique proposé et utilisé dans la thèse d’Emmanuel Salim (2021). Problématiser la recherche et poser des hypothèses sont une « figure imposée » d’un travail de thèse. Une telle étape de travail gagne à une écriture et un positionnement modestes : accepter l’énoncé de questions simples et d’hypothèses parfois proches de « portes grandes ouvertes », mais qui obligent à développer une pensée qui ne soit pas un courant d’air induit.

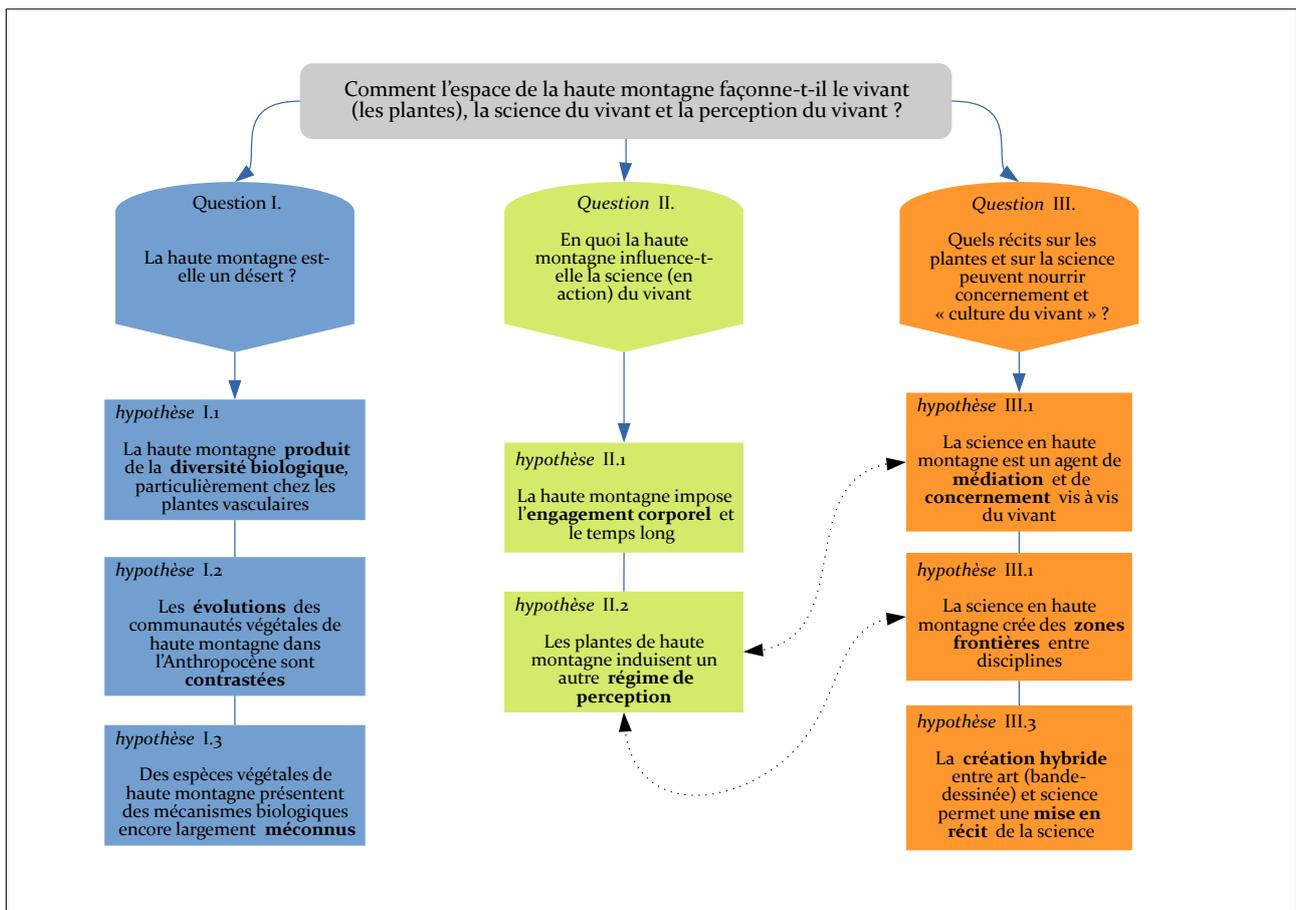


Figure 13. Questions de recherche et principales hypothèses de travail. Il existe une porosité entre les hypothèses (flèches en pointillés).

La principale question qui guide ce travail de thèse est la suivante : **comment l’espace de la haute montagne façonne-t-il le vivant (les plantes), la science du vivant et la perception du vivant ?** Comme toute question à large spectre, elle implique le choix d’axes épistémiques et l’énoncé d’hypothèses de travail. La figure 13 les expose de manière synthétique.

Le challenge d’une telle compartimentation est de maintenir une réflexion scientifique uni-

fiée et cohérente. En gardant comme guide la séquence de la figure 12, la ligne directrice peut être formulée avec les questions (ou axes de recherche) de la figure 13 :

(Question I) la haute montagne est une zone habitée (on y trouve du vivant) et cela est une découverte scientifique ;

(Question II) la géographie singulière de la haute montagne influence l'exercice de cette scientifique et donc la nature de cette découverte (cette influence est donc *épistémique*) ;

(Question III) cette découverte et cette géographie singulière peuvent influencer notre relation au vivant.

La question I est abordée sous l'angle des sciences de la nature, essentiellement dans la partie II de ce manuscrit. Les différentes hypothèses, sur la diversité biologique (I.1) et les évolutions des communautés végétales dans l'Anthropocène (I.2), brossent le tableau de découvertes dans un espace peu investi par la science du vivant. Comme en écho, un lien direct s'établit avec la question II portant sur l'influence de cet espace sur cette même science. C'est alors les sciences sociales qui sont convoquées, sous la forme d'autoethnographie, dans les « introductions » des articles structurant la partie II. Enfin se pose la question III de ce qui peut être fait, dans les logiques de recherche-action et de recherche-création, de ces connaissances nouvelles sur les plantes de haute montagne. Plusieurs hypothèses sont posées, impliquant plusieurs actions. L'une d'elles repose sur l'expérience sociale et professionnelle de la construction d'une médiation (III.1) avec guides de haute montagne et gardien·nes de refuges ; une seconde sur la création de zones frontières (III.2), au sens de Mauz et Granjou (2013), entre différents acteurs, académiques et non-académiques, pour s'engager sur la mobilisation de telles connaissances ; enfin, une troisième hypothèse (III.3) porte sur la possible hybridation entre art et science, laquelle voulant dépasser la seule intention se matérialise par une réalisation/œuvre commune (bande dessinée) sur les travaux de cette thèse. Cette partie III repose en grande partie, là encore, sur le « carnet de terrain » anthropologique qui définit l'autoethnographie.

3.5 Méthodologie

3.5.1 « Contre la méthode »

Dans un article récent sur les débats politiques et philosophiques des concepts « texturaux » de la science (« dure » ou « molle »), l'historien des sciences Steven Shapin cite avec malice le trait d'humour de Paul Samuelson, chercheur en science économique au MIT : « *The soft sciences spend time in talking about method because Satan finds tasks for idle hands to do* »⁶⁵ (Shapin 2022). Le terme « méthodologie » revêt en effet dans les sciences sociales les caractéristiques d'un Graal inaccessible à la quête duquel il convient toutefois de se plier. Olivier de Sardan évoque sans retenue, dans un ouvrage au titre explicite – « La rigueur du qualitatif. Les contraintes empiriques de l'interprétation socio-anthropologique » (Olivier de Sardan 2008) – le fait que le principal handicap dans la formalisation de la rigueur au sein de l'anthropologie et des sciences sociales est que ces disciplines ne « prétendent pas énoncer de lois, et [qu']elles ne s'embarrassent guère, le plus souvent, de statistiques détaillées ou de pourcentages précis ». Olivier de Sardan n'a pas pour objectif de nourrir le débat stérile détaillé par Shapin (*ibid.*), mais bien d'assumer cette difficulté à rendre compte, en dehors de la formalisation par le langage mathématique, de recherches qui se rapportent à « un entrelacs complexe d'ordres de grandeur, de tendances, de descriptions, d'illustrations, de cas significatifs, de discours et représentations "locales", d'hypothèses souples [...] ». Nous verrons que l'exigence semble moindre lorsqu'il s'agit d'usages de statistiques inférentielles.

Chaque confrontation avec des chercheurs titulaires ou doctorants me semblait ainsi relever du même rite social : le fond de ma recherche semblait moins important que la définition de la « méthode », de son inscription dans un « champ disciplinaire » et de son « schéma conceptuel ». Sans pour autant qu'aucun·e de mes interlocuteur·trices ne soit candide sur la vocation rituelle de ces positionnements.

Le présent chapitre n'est ainsi pas le récit de mes doutes sur ma place dans un processus de thèse, mais plutôt le résultat de ces confrontations. Or ces confrontations, portant sur des no-

65 « Les sciences molles passent du temps à parler de méthode parce que Satan trouve toujours de quoi occuper les oisifs. »

tions conceptuelles (c'est-à-dire non matérielles), renvoient à ce que Bourdieu (2001) définit comme « la défense de la raison [...] confiée à un travail collectif de confrontation critique placé sous le contrôle des faits ». La science, en tant qu'institution et non comme seule production de savoir, repose sur un pivot de « contrôle social » par ses pairs (Bachelard 1938) et de « coopération amicalement-hostile » entre chercheurs (Popper dans Hacking 2004). Dire que la science institutionnelle est une affaire collective relève de la lapalissade. Mais dans une démarche de recherche, et particulièrement de thèse, où le regard des pairs prend la forme d'un « jugement » (via un « jury »), il est fondamental de parvenir à composer avec un des effrayants paradoxes de la science institutionnelle : sa composante créative, encourageant l'inexploré, l'impensé ; et sa composante normative, rempart contre le charlatanisme par le contrôle sous forme de mise en débat, mais aussi part dogmatique de la recherche, restrictive de liberté créative. Le « contrôle social », sans de la reconnaissance par les pairs, oblige le scientifique autant par ses productions intellectuelles que par sa capacité à se soumettre aux normes et règles académiques (Lagasnerie 2011).

Le titre du chapitre fait emprunt au célèbre ouvrage de Paul Feyerabend (1979). Ce dernier s'accompagne d'un sous-titre non moins provocant : « Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance ». Feyerabend y dénonce cette composante dogmatique de la science, considérant même qu'elle serait « inconcevable » sans elle (p.336). Je ne ferai pas semblant d'oublier que cet ouvrage est de l'aveu même de son auteur « cruellement incomplet », car « toutes les méchancetés » qu'il déroule contre le rationalisme avaient avant tout pour but de provoquer des réponses « encore plus méchantes » par celui avec qui avait été pensé l'ouvrage : Imre Lakatos. Philosophe des sciences, ce dernier est mort prématurément, avant d'avoir pu développer sous forme publiée sa réponse. Mais si l'ouvrage comme le titre sont à lire à l'aune de cette incomplétude du débat, Feyerabend ne propose pas uniquement des envolées pamphlétaires. Une de ses fortes positions critiques porte ainsi sur le risque dogmatique de la science : « L'idée que la science peut, et doit, être organisée selon des règles fixes et universelles est à la fois utopique et pernicieuse » (p.332). Cette idée rendrait la science « moins facilement adaptable et plus dogmatique ». Et d'insister : « Le falsificationisme naïf tient ainsi pour acquis que les lois de la nature sont manifestes, et non pas cachées sous des perturbations d'une ampleur considérable ; l'empirisme, que l'expérience des sens est un miroir du monde plus fidèle

que la pensée pure ; le rationalisme, enfin, que les artifices de la raison donnent de meilleurs résultats que le libre jeu des émotions. *Si de telles hypothèses peuvent être parfaitement plausibles, et même vraies, encore est-il nécessaire de les vérifier de temps en temps – les vérifier, c'est-à-dire cesser de nous servir de la méthodologie qui leur est associée, commencer à pratiquer la science d'une manière différente [...] »*⁶⁶.

Sans prétendre inventer l'eau tiède, l'idée sous-jacente à cette position critique est de questionner l'injonction à la standardisation de la démarche épistémique.

3.5.2 Pour la méthode

Pourquoi faire la promotion d'une « théorie anarchiste de la connaissance » ? Au-delà d'un plaisir puéril à la provocation ou d'une agréable référence à la pensée libertaire d'un géographe de renom (Elisée Reclus), cette démarche semble paradoxalement nécessaire pour « détexturer » la science comme envisagé dans ce travail. Sortir de la calme certitude d'une science dite « dure » ou de l'obsession justificatrice d'une science dite « molle ». Si le présent manuscrit n'est pas un travail de philosophie, il est toutefois une tentative singulière de mener de front ces deux modes de science.

3.5.2.1 Convoquer l'objectivité

Invoquer la méthode, c'est convoquer l'objectivité.

La recherche pouvant se résumer à une « quête objective de connaissances » (N'Da 2015), elle s'inscrit dans ce paradigme des modernes auxquels il n'est pas question ici de se soustraire : « expliciter les représentations, les questions, les hypothèses et leur articulation (problématique) est une des voies de l'objectivation [...] » (Combessie 1999). Toute une littérature permet d'apprivoiser les chercheurs en herbe à la démarche fondamentale de la science : l'objectivité. Rarement définie, l'objectivité apparaît comme un axiome sur lequel aucune réflexion n'est à conduire. Daston et Galison (2012) ont proposé une analyse historique de cette acmé de la recherche, insistant sur le fait que « l'émergence de l'objectivité scientifique au milieu du 19^e siècle est nécessairement liée à celle de la subjectivité scientifique » (p.231). Ces

66 La partie en italique est soulignée par mes soins.

deux auteurs définissent ainsi le « soi scientifique » : une intériorité du scientifique « qui se devait d'être disciplinée et couplée à une manière de voir extrêmement restrictive ». Et de conclure : « Le produit de cette double réforme du soi et de la vision a pris le nom d'objectivité scientifique » (p.145). On retrouve chez Foucault (1966) une analyse qui semble se rapporter à cette émergence de l'objectivité et à la canalisation du soi scientifique dans ce qui s'appelle encore l'Histoire naturelle. Définissant cette science comme un « champ nouveau de visibilité », Foucault insiste sur les modalités nouvelles de cette démarche volontaire de mise à distance entre le sujet observant de l'objet étudié : « le champ de visibilité où l'observation va prendre ses pouvoirs n'est que le résidu de ces exclusions : une visibilité délivrée de toute autre charge sensible et passée de plus à la grisaille » (p.145). Toutefois, pour Daston et Galison (2012), ce filtre du visible n'est pas encore l'objectivité telle que nous la considérons aujourd'hui, telle qu'elle semble intangible. Il en est une prémisse, une pré-objectivité que les auteurs appellent « la vérité d'après nature » (p.69) : il s'agissait de produire une image typique (un « type ») d'un organisme en domptant la variabilité du vivant, en sélectionnant ses traits jugés caractéristiques. La vérité d'après nature consiste à réduire la variation du vivant bien avant les statistiques. Et les auteurs de préciser : « La botanique fait partie des disciplines où la vérité d'après nature est restée un modèle viable dans le domaine des images » (p.130). Nous verrons toute l'importance de cette proposition dans la démarche taxinomique de notre travail. Elle permet de poser ce débat épistémique : rigueur et objectivité ne sont pas synonymes ; rigueur et subjectivité ne sont pas antonymes. Nous verrons comment les termes de ce débat imprègnent la méthodologie que nous exposerons dans les parties suivantes.

3.5.2.2 *Boite à outils méthodologique*

Les statistiques utilisées dans chacun des chapitres de la partie II sont explicitées dans la partie « Matériel et Méthode » (*Material and Method*) de chaque article. Les différents outils méthodologiques détaillés ci-dessous sont mobilisés dans le reste du manuscrit. L'objectif ici est d'informer leurs usages dans le cadre des différentes composantes de cette thèse. Cette section se veut volontairement synthétique.

Réduire la complexité du vivant : de l'usage des statistiques et de la subjectivité

Le terme « statistiques » vient du latin *statisticus*, signifiant « relatif à l'État » (Ray et al. 2012). Les statistiques sont donc intrinsèquement, à leur origine, un objet de l'État et visaient à chiffrer deux principaux champs de contrôle : la population (mortalité, natalité, maladies) et l'économie (imports, exports, productions, exploitations) (Hacking 1990). D'immenses tableaux reposant sur de colossaux inventaires devaient appuyer la définition fiable des levers d'impôts, des taux d'enrichissements et de la puissance militaire (nombre de soldats mobilisables). Cet appui chiffré n'avait de sens que si la prise de données (les inventaires) était elle-même fiabilisée. C'est dans cette logique qu'au tournant du 18^e siècle, un des plus grands mathématiciens de son époque, Gottfried Wilhelm Leibniz, théorise et organise les statistiques du nouvel État prussien. Ces données massives sont à ses yeux le véritable allié capable de soutenir le prince Frederick dans sa volonté d'unir la Prusse. Leibniz le siglera ainsi : « [les statistiques] *déterminent la puissance de l'État* ». Au cours du 19^e siècle, cette accumulation de données va ainsi s'étendre à tous les domaines des sociétés humaines occidentales, incluant les sciences et la médecine. Ce qui fera dire à Hacking (1990) que cette époque « *a généré un monde devenu numérique et sujet à mesure dans ses moindres recoins* ». Le vivant n'échappe pas à la règle, mais une fois la nomenclature – et par extension la taxinomie – ayant été pourvue d'un système stable (cf. 3.2.3).

L'accumulation des chiffres finit toutefois par montrer ses limites : comment rendre intelligible cette masse et en tirer de claires conclusions ? Les mécanismes d'analyse vont émerger très progressivement. C'est dans la seconde moitié du 18^e siècle que Pierre Simon de Laplace va avoir l'intuition d'associer un sous-domaine des mathématiques – les probabilités – aux statistiques (alors équivalent des « big data » d'aujourd'hui). Cette association est tacitement évidente aujourd'hui, au point que l'usage actuel du mot « statistique » dans la science inclut *de facto* l'ensemble des concepts de probabilités. Mais cette évidence n'en était pas une dans les années précédant la Révolution française. Laplace, encore jeune, dut faire face à l'opposition de son protecteur, éminent membre de l'Académie royale des sciences : Jean Le Rond d'Alembert. Pour ce mathématicien, déjà amplement reconnu, les probabilités étaient trop « subjectives » (Bertsch McGrayne 2011, p.19). D'Alembert se référait à Bernouilli, qui considérait toutes probabilités comme « subjectives », c'est-à-dire avec « des degrés d'incertitude » (Daston 1994). Voilà de quoi surprendre aujourd'hui, mais qui rappelle l'historicité de la « subjectivité » jusque dans un domaine (les probabilités) que la modernité perçoit comme

un monde « magique » et inaliénable (Gigerenzer 2004). Laplace persévéra et proposa une première grande avancée : celle de la probabilité des causes par les événements (Fienberg 2006), à savoir la première mathématisation de l'apprentissage : les études de cas permettent d'améliorer la connaissance *a priori*, aboutissant à une meilleure connaissance *a posteriori*. Ce qui semble une simple découverte est en train de révolutionner la technologie moderne, puisque le théorème de Laplace (devenu « théorème de Bayes » par les caprices de l'Histoire, donnant par extension les « statistiques bayésiennes ») est à la base de l'essor vertigineux du mode d'apprentissage des machines, popularisé sous le terme d'« intelligence artificielle ». Et pourtant, avant tous les super calculateurs (*computer* en anglais) permettant des usages du théorème de Laplace impossible de son vivant, ce mode d'analyse a connu plus d'un siècle d'attaques et d'ostracisme du fait d'une composante considérée comme « subjective » (Daston 1994 ; Bertsch McGrayne 2011) : l'addition d'une information extérieure aux seules données accumulées. Et comble de l'horreur, cette information peut être une conviction personnelle ou un niveau de connaissance individuelle ! Il n'est pas étonnant que ce rejet ait été particulièrement marqué durant le 19^e, siècle pendant lequel le dualisme objectivité/subjectivité s'est particulièrement cristallisé autour du soi scientifique (Daston & Galison 2012) et ainsi du comportement social auquel devait s'astreindre tout scientifique : « l'épistémologie étant par définition normative – elle dicte comment la connaissance *devait* s'acquérir –, il est impossible d'ignorer ses prescriptions » (p.271). Et ces prescriptions – dont le soi scientifique contemporain est l'héritier – consistaient à « laisser parler la nature » et réprimer « la médiation entre la nature et sa représentation » (p.143). En somme, réprimer la subjectivité pour laisser toute la place à l'objectivité. À cette logique de répression s'est donc associée mécaniquement une composante morale : « comme presque toutes les formes de virtuosité morale, l'objectivité du 19^e siècle prônait l'ascèse [...]. Le soi scientifique devait être doté d'une vigilance et d'une conscience à toute épreuve [...], mais aussi d'une autodiscipline des plus rigoureuses » (pp.145-146). Cette ascèse vis-à-vis de l'objectivité (et du rejet de la subjectivité) a contribué à enterrer la probabilité inverse (autre terme pour la découverte de Laplace) pendant une bonne partie des 19^e et 20^e siècles. L'inférence statistique devenue « classique » – au sens du nombre d'utilisateurs – est ainsi celle développée à partir des années 1920 par Ronald A. Fisher : l'inférence fréquentiste. Cette approche, qui a donné naissance aux très populaires tests d'hypothèses, a

été inventée par Fischer pour venir à bout des innombrables données accumulées sur plus d'un siècle dans un centre d'expérimentation agricole (à Rothamsted, en Angleterre). N'étant pas en poste académique, Fischer comprit rapidement l'importance de donner des outils d'ingénierie à des non-mathématiciens afin de leur permettre de tirer profit de leurs mesures. Il publia ainsi ce qui reste aujourd'hui pour beaucoup une référence insoupçonnée : *Statistical Methods for Research Workers* (Fischer 1925). Les tests d'hypothèses et la miraculeuse « *p-value* », avec ses seuils arbitraires ($p < 0,05$; $p < 0,01$), y sont introduits pour la première fois. Fischer crée une complexe architecture mathématique pour permettre un mouvement fondamental en science : celui de la « réduction » des données (Fischer 1922). Cette démarche implique de considérer les mesures ou données non comme un ensemble exhaustif, mais au contraire comme un échantillon issu d'une population « absolue », théorique, définie par quelques paramètres (comme la moyenne ou la médiane). Cette réduction rend intelligibles et comparables des séries d'observations ou de mesures. Dans cette inférence fréquentiste, toute conclusion doit émaner des données – et des données seules ! (Fischer mit beaucoup de son prestige et de son caractère irascible à dénigrer l'inférence bayésienne (Madrid Casado 2018)). C'est ce qui lui valut d'être qualifié d'inférence « objective ».

Même sur un domaine éminemment mathématisé comme les statistiques s'est rejoué le débat de la subjectivité et de l'objectivité. Pourtant, de nos jours, énoncer dans les méthodes d'une production scientifique les inférences statistiques choisies et les tests statistiques mobilisés semble exonérés de positionnements épistémiques complexes (Yoccoz 1991 ; Gigerenzer 2004) alors même que nombre de statisticien·nes soulignent les croyances relatives à leur domaine. Les approximations présentes dans la littérature scientifique abondent : le « mot magique “significatif” » apparaît comme un sésame (Yoccoz 1991), et beaucoup en viennent à oublier qu'il existe un « monde au-delà du $p < 0,05$ » (Kennedy-Shaffer 2019). Yoccoz (1991), par son intense activité de *reviewer* dans des journaux d'écologie renommés, montre avec précision et humour que « la littérature est infiltrée par une large gamme d'idées fausses quant à l'usage et l'interprétation des tests de significativité »⁶⁷. Et de citer un éminent statisticien, David Salsburg, évoquant les tests statistiques comme « l'outil

67 « *the literature is infiltrated by an array of misconceptions about the use and interpretation of significance tests* »

premier de la religion des statistiques »⁶⁸. Enfin, Gigerenzer (2004) dénonce sans détour de ce que nous pourrions traduire par « statistiques stupides » (*Mindless statistics*).

Magie, religion, stupidité... Invoquer et utiliser les statistiques n'est pas garant d'objectivité. Et à l'inverse, la subjectivité, pour peut qu'elle soit ouverte à la transformation par itération (*feedback*), peut-être un puissant moteur d'apprentissage – et par extension de connaissance. Ce qui fit dire à John Maynard Keynes, partisan et défenseur de la probabilité subjective : « quand les faits évoluent, mon opinion évolue. Pas vous ? »⁶⁹(Bertsch McGrayne 2011).

Autoethnographie : le « je » méthodologique

L'autoethnographie est une approche singulière de recherche ethnographique qui vise à « décrire et analyser de manière systématique (*-graphie*) des expériences personnelles (*auto-*) afin de comprendre une expérience culturelle (*ethno*) » (Ellis et al. 2011). Ceci posé, il est fort probable que cette approche en marge des sciences sociales soit sujette à brûlante polémique. L'intérêt de la démarche réside dans deux points forts : l'autoethnographie reconnaît les « innombrables manières dont l'expérience personnelle influence le processus de recherche » (Ellis et al. 2011). Elle offre en somme une réhabilitation de la subjectivité, dans un cadre scientifique impliquant non un canevas personnel, tacitement enfoui et structurant le soi scientifique (Daston & Galison 2012), mais au contraire une exposition claire et explicite dans le récit du travail scientifique mené. En nous inspirant de la théorie de l'acteur réseau (Callon 2006), nous pouvons dire que l'autoethnographe transforme sa subjectivité en *agent* de la recherche, au même titre que ses enregistrements ou tableaux de contingence. Sans explicitement évoquer l'autoethnographie, Olivier de Sardan (2008) a proposé et développé le concept du « je méthodologique ». Il met sévèrement en garde contre « l'exhibitionnisme érudit » : ce dernier, en anthropologie comme ailleurs, « n'est plus seulement toléré, il devient valorisé » (p.171). Dépassant la seule condamnation, il insiste sur le fait que ce mode d'écriture ethnographique n'est qu'un élargissement de la palette des possibles (p.172), l'attention devant se porter à éviter les effets du roman (dramatisation, héroïsation, *egotrip*). Il n'est pourtant pas certain que cette conception du « je » méthodologique soit partagée par tout-tes les initia-

68 « *the primary tool in the religion of Statistics* »

69 « *when the facts change, I change my opinion. What do you do, sir ?* »

teur·trices de l'autoethnographie (Jones et al. 2016). À notre démarche autoethnographique, nous associerons ainsi cette précaution : « celui qui parle ne nous intéresse, d'un point de vue épistémologique, que dans la mesure où ce qu'il peut nous dire de sa posture personnelle est nécessaire à la compréhension de ce qu'il nous dit des autres » (Olivier de Sardan 2008, p.21).

Le « dédoublement statutaire » : position clé de cette thèse

Cette attention portée à l'usage de la subjectivité est d'autant plus importante dans le cadre de cette thèse que le choix de l'autoethnographie repose sur ce que Olivier de Sardan (2008) qualifie de « dédoublement statutaire » : situation dans laquelle le chercheur « est dès le départ un *insider*, non comme membre d'une quelconque "communauté" qui serait l'objet de l'enquête, mais comme occupant l'un des rôles qui se confrontent dans l'arène d'une opération de développement ou d'un "projet" » (p.188). Il s'agit donc non seulement de rendre compte et d'analyser la science telle que menée sur le terrain de la haute montagne, mais également de rapporter la parole d'autres acteurs, scientifiques comme non scientifiques. Pour ce faire, cette démarche d'autoethnographie s'est accompagnée d'entretiens que le sociologue Jean-Claude Kaufman a qualifiés de « compréhensifs » (Kaufmann 2004) : se rejoue ici encore l'idée que des entretiens désincarnés, distants, « objectifs », ne permettent pas d'accéder à la profondeur des paroles émises. Les entretiens auraient ainsi la particularité de « dissimuler l'essentiel dans les détours et les biais de la conversation » (p.18), vouant les techniques d'analyse des contenus à une standardisation de l'analyse. Le but n'est bien sûr pas de prétendre à la lecture quasi psychanalytique des paroles reçues, mais plutôt simplement de créer les conditions de convivialité permettant un dialogue libre et non normatif. « Le recours à la compréhension du sens ne saurait à nos yeux être en soi condamnable, propager l'illusion que l'on peut y échapper le devient » (Messu cité par Kaufmann 2004, p.19). Cette double démarche – autoethnographie et entretien compréhensif – dans le cadre d'un dédoublement statutaire donne tout son sens à la logique de la théorie ancrée (*grounded theory*) – théorie inductive, qui émerge d'expériences de terrain sans préconçu théorique fixé (Yeung 1997 ; Lee 2018 ; Gabillet et al. 2020).

Ainsi explicités, les récits autoethnographiques sont mobilisés dans le manuscrit de deux manières : (i) extensions des articles de la partie II afin de rendre compte d'une « science en action » – modèle propre à la théorie de l'acteur réseau (Latour 1987 ; Akrich et al. 2006), ; (ii)

expérimentations dans l'instauration d'une « culture du vivant » (Morizot 2021) dans les chapitres de la partie III.

Les archives comme outils de géohistoire et d'écologie historique

Cette thèse comporte des éléments historiques, mais n'est en rien une thèse de la discipline de l'Histoire. Tout un corpus méthodologique n'est pas appliqué, ni même recherché. Toutefois, une importante recherche de documents d'archives a été réalisée afin de répondre à des questionnements scientifiques relevant de la géohistoire. Cette discipline articule le temps et un contexte géographique (présentement la haute montagne) (Grataloup 2015). Fernand Braudel, inventeur du terme en 1949, la définit comme « l'étude d'une double liaison, de la nature à l'homme et de l'homme à la nature, l'étude d'une action et d'une réaction, mêlées, confondues, recommencées sans fin, dans la réalité de chaque jour », précisant que « La vie d'une société est dans la dépendance de facteurs physiques et biologiques ; elle est en contact, en symbiose avec eux, ils modèlent, aident ou gênent sa vie, donc son histoire » (Braudel *in* Ribeiro 2012). Cette définition est en avance de plusieurs décennies sur les interrogations autour des relations humains/non humains. La géohistoire a ainsi été mobilisée dans plusieurs étapes de la présente recherche :

(i) dans les chapitres 1 et 2, permettant de rendre compte de la structuration et des évolutions de la science du vivant en haute montagne ;

(ii) dans le chapitre 5, où des données botaniques historiques ont été mobilisées afin d'analyser des évolutions de communautés végétales depuis le début de l'anthropocène. Ce travail s'inscrit dans une marge du champ disciplinaire naissant qu'est l'écologie historique (Szabó 2015).

Les documents de diverses natures (iconographiques, publications scientifiques et, exceptionnellement, publication à caractère commercial) ont pu être mobilisés grâce aux archives départementales des Hautes-Alpes et de l'Isère ; aux excellents sites Gallica (gallica.bnf.fr) de la Bibliothèque nationale de France et *Biodiversity Heritage Library* (www.biodiversitylibrary.org) ; au remarquable et unique fonds documentaire du centre de documentation du Conservatoire botanique national alpin (cbn-alpin-biblio.fr) ; et enfin, grâce aux compétences d'un collègue spécialiste de la géographie historique, Felix de Montety. Les données d'archives

ainsi analysées sont explicitées dans chaque chapitre concerné.

L'art séquentiel comme méthode narrative de science ?

Le titre de cette partie cache un parfait pléonasme : le terme « art séquentiel » est la désignation de la bande dessinée proposée par l'auteur de *Comics* et théoricien Will Eisner (Groensteen 2011, p.19). De son côté, Ann Miller, universitaire britannique spécialiste de la bande dessinée franco-belge, qualifie ce même médium de « *visual narrative art* » (« art narratif visuel ») (Miller 2007, p.75). En somme, la bande dessinée est par essence narrative. Mais le pléonasme, pris comme une figure de style plutôt que comme une erreur de syntaxe, offre la vertu d'accentuer le terme qu'il nous importe de souligner : celui d'un art – le neuvième – comme partie prenante de la mise en récit de la science du vivant. Penser la bande dessinée comme un « outil », une « méthode », est devenu chose courante dans les différentes sphères de la science académique (voir le succès de l'évènement « science en bulles »⁷⁰ coorganisé par l'Université Grenoble Alpes). Nous essaierons de montrer dans le chapitre 7 que cette hybridité de l'art et de la science peut se passer de rapport de subordination : aucune des deux disciplines ne se met au service de l'autre. L'idée est de restreindre l'instrumentalisation, non pour de seuls motifs moraux, mais pour permettre aux influences respectives de l'art et de la science de s'hybrider afin de créer un récit. Cette création est ce que Daston & Galison (2012) ont appelé la « vision à quatre yeux » (p.101) et ce que la scénariste et auteure Loo Hui Phang a qualifié d'« auteur hybride »⁷¹. L'artiste, l'illustrateur·trice, n'est pas convoqué·e pour sa capacité à transcrire une explication scientifique par le dessin, mais pour son regard d'artiste sur le sujet scientifique. Comme en miroir, le regard scientifique n'est pas convoqué pour instrumentaliser le dessin, mais pour créer un récit séquentiel. La structure intrinsèque de la bande dessinée sera mobilisée, sans avoir recours à un important développement théorique, mais pour appréhender dans toute sa complexité l'émergence d'un tel récit pour la science.

⁷⁰ <https://www.univ-grenoble-alpes.fr/actualites/a-la-une/actualites-culture/sciences-en-bulles-2022-deux-doctorants-uga-a-l-honneur--965723.kjsp>

⁷¹ R. Gaitet, « Bookmakers, les écrivain·es au travail », Arte Radio, Loo Hui Phang, jeudi 24 novembre 2022

3.6 Conclusion du chapitre 3

La vie sur Terre atteint des limites physiologiques sur sa marge la plus haute de la biosphère : la haute altitude. Interroger la présence de ce vivant, la relation que notre espèce tisse avec lui, amène à interroger conjointement l'habitabilité de la planète et le régime de perception que nous en avons. Envisagée sous le prisme de la géographie des sciences et de la théorie de l'acteur réseau, la haute montagne apparaît ainsi comme agent de transformation du vivant, qu'il s'agisse de non-humains (les plantes à fleurs) ou d'humains (les scientifiques). Mais le jeu d'acteur·trices n'a de cesse de se complexifier : étudier les plantes à fleurs transforme aussi celles et ceux qui les étudient, révélant en creux la tendance prégnante de notre espèce à invisibiliser ce qui ne relève pas de l'animal (*plant blindness*). Nommer le vivant prend ainsi une autre fonction que celle visant à révéler la diversité des espèces : lutter contre la « désanimation » de vivant et contribuer à une culture de l'attention.

Trois questionnements fondamentaux ancrent ainsi ce présent manuscrit : (i) la haute montagne comme espace habité (par des non-humains) ; (ii) la science du vivant qui s'y exerce ; et (iii) de la médiation scientifique qui en émerge.

Répondre à ces trois questions implique d'explicitier les méthodes de travail mobilisées. Explicitant le processus de la production de faits, ces dernières assurent la mise en débat de la connaissance créée autant que la possibilité de la reproductibilité du processus mobilisé. La méthode est ainsi un des fondements de la science moderne. Toutefois, la mathématisation des sciences a pour partie restreint les termes des choix méthodologiques : aux mathématiciens le soin d'élaborer des méthodes d'analyses adéquates (relevant de la statistique pour ce qui est de l'écologie, incluant la botanique), aux thématiciens le soin de bien choisir au sein de ces méthodes celle(s) adéquate(s) pour analyser leurs données. Ce fonctionnement social de la science ne clôt pas les questions de méthodologie, puisqu'il existe une forme de croyance aveugle à certaines « icônes », comme la *p-value*. Mais elle permet de contenir le débat.

En sciences sociales, il semble à l'inverse que la méthode soit une question à jamais en suspens. Peu ou pas mathématisées, ces sciences ne peuvent se reposer sur l'efficacité du langage mathématique. Cette incertitude dans le processus de production de faits se retrouve dans

l'appel presque incantatoire à l'« objectivation ». Or, à la suite de certain-es auteur-es, il semble fondamental de rappeler que l'objectivation scientifique ne peut être envisagée sans expliciter la subjectivité scientifique. En l'occurrence, la subjectivité du scientifique.

Conclusion de la partie I

Cette première partie a posé les bases géohistoriques de la science du vivant en haute montagne, ainsi que des questions épistémologiques et méthodologiques dont découlera le reste de cette thèse.

La haute montagne est longtemps restée une géographie inaccessible, habitée de créatures qui en défendaient l'accès, en premier lieu desquels les dragons. Mais elle a également été, par cette même marginalité, un espace de questionnements scientifiques que l'on retrouve dans les travaux d'un savant comme Scheuchzer : les « pierres figurées » – fossiles d'animaux marins – introduisaient la notion de temps dans un monde biblique inamovible, impliquant un « avant » et un « après » déluge ; et les dragons avaient été méthodiquement recensés par enquêtes successives afin d'en comprendre les comportements. Longtemps encore, il manquera l'investissement corporel des scientifiques pour étudier sans intermédiaire cette marge terrestre du vivant. La naissance de l'alpinisme sera rapidement mobiliser comme outil d'exploration, mais dans une proportion extrêmement réduite quant aux sciences du vivant, la haute montagne étant considérée presque ontologiquement comme un désert de vie. Une personnalité comme Edward Whymper contribuera à changer cette perception. N'étant pas scientifique de formation, il n'avait pas *d'a priori* en la matière. Fils d'une Angleterre victorienne, son appétence pour la gloire et son insatiable curiosité feront de lui un remarquable récolteur d'« objets intermédiaires », qui intégreront le circuit de la connaissance scientifique grâce à l'« être médiateur » que fut Henry Bates.

Cette trajectoire de la science du vivant en haute altitude contribue grandement à forger les questions scientifiques abordées dans la suite cette thèse : (i) la haute montagne comme un espace habité, (ii) la haute montagne comme un espace d'influence de la science du vivant, et (iii) la mise en récit du vivant de cette marge terrestre comme une médiation pour créer une culture du vivant (« concernement »).

**Partie II. Recherche sur les plantes à
fleurs en haute altitude, entre temps
de l'évolution et temps de
l'Anthropocène**

Introduction

Cette seconde partie donne à voir les résultats d'une *slow science* imposée par les contraintes de la haute altitude. Elle aborde sur deux chapitres – correspondant à des articles publiés – deux temporalités du vivant : (i) celui de l'évolution biologique, lent, impliquant des centaines de milliers d'années (voire des millions), et (ii) celui de l'évolution écologique, rapide, impliquant les conséquences climatiques des impacts humains de l'Anthropocène.

Si la rigidité disciplinaire et normative des publications scientifiques nous a interdit l'écriture de véritables études interdisciplinaires mêlant ouvertement science naturelle et science sociale, nous avons enrichi chaque article (proposé tel que publié) d'une extension de sociologie des sciences, explicitant par un récit autoethnographique comment ces recherches ont été humainement conduites et influencées.

Chapitre.4 Découverte d'une diversité cryptique de plantes dans un des milieux terrestres les plus extrêmes : le toit des Alpes (article n°2)

4.1 Introduction

Cette recherche est celle par laquelle tout le travail présenté dans cette thèse a commencé, en 2010 (cf. Introduction générale). Modèle de *slow science*, ce travail de recherche sur les androsaces en haute montagne a ainsi mis onze années avant d'être publié. Deux agents fondamentaux ont été particulièrement influents : (i) la géographie de cette science : la haute montagne, sans autre mode d'accès que celle de la bipédie et de l'escalade, oblige au temps long, à la fois dans le cheminement et dans l'attention requise à une pratique engagée mentalement et corporellement ; (ii) la sociologie de cette science : la masse de données accumulées nécessitait l'émergence d'un collectif apte à analyser la complexité de cette biogéographie évolutive. Dans le cas présent, l'élément clé a été le recrutement à l'Université Grenoble Alpes de Florian Boucher, premier auteur de l'article et spécialiste des modèles d'évolution des plantes, qui est passé du statut d'étudiant en Master 2 en 2010 à celui de Maître de conférence en 2018. Au-delà de ses seules compétences, il a aussi su mobiliser un ensemble de contributeur·trices.

4.1.1 Implications dans le travail de thèse : géographie d'une science et géographie des espèces

Cet article est fondamental dans le cadre de cette thèse bien qu'excluant une approche propre aux sciences sociales. C'est là une des difficultés sur lesquelles je reviendrai au chapitre suivant : il est impossible, voire rejeté, de publier des éléments de contexte social dans un article de sciences de la nature (science « dure » : lors de la révision de cet article suite à sa soumission, certains *reviewers* nous ont explicitement demandé de retirer la seule (et maigre) ré-

férence à la pratique de l'alpinisme comme moyen d'échantillonnage, considérant cette « insertion » comme inutile, voire prétentieuse ! *Idem*, le contexte historique lié à l'observation de Saussure au col du Géant fut sujet à critique.

Quels que soient les freins à l'écriture, la taxinomie intégrative de ce travail est un des éléments centraux des recherches que nous avons mené en haute montagne : de quelle manière l'évolution a façonné une diversité biologique qui est passée inaperçue pendant des siècles et dont l'émergence n'a été rendue possible que par un agent invisible : l'ADN. La découverte d'une histoire évolutive insoupçonnée et la description de nouvelles espèces pour la science s'incarnent dans un réseau d'acteurs : des scientifiques-alpinistes allant à la rencontre de plantes-habitanes de hauts sommets alpins ; des scientifiques capables d'extraire l'ADN des feuilles récoltées sur ces sommets ; enfin, un dernier type de scientifiques capable d'inférer un cheminement évolutif à partir de la variabilité de ces échantillons d'ADN. Si cette molécule forme l'agent central de ce réseau, c'est par un changement de régime de perception (Arpin *et al.* 2015) qu'aboutit la recherche : rendre visibles des espèces. Et présentement, ce n'est pas par la médiation d'humain à humain que cette action est menée (cf. Partie III), mais par celle de l'ADN. Voilà donc un paradoxe ultime : cette « visibilité » d'espèces est rendue possible par une molécule invisible à nos yeux. Mais pour que le régime de perception change, pour que cette découverte de nouvelles espèces puisse être sociabilisée, il importe de rendre également visibles des différences géographiques et morphologiques. D'ancrer la perception dans la compréhension. Et c'est en ce sens que cette recherche a une composante fondamentalement géographique (au sens physique) : la géographie a joué sur le mécanisme de spéciation et c'est par la répartition géographique que ces espèces peuvent aussi être distinguées.

La relation au vivant mobilisée ici est descriptive, taxinomique. Mais elle implique déjà un changement de *régime de perception* des scientifiques.

4.1.2 Contexte et acteurs

Initié sans véritable budget, presque en contrebande, ce travail a trouvé de la pérennité dans l'alliance de deux institutions : le LECA et le PNE. Si Sébastien Lavergne et moi-même

avons incarné cette alliance, elle s'est aussi ramifiée et a impliqué à différents stades et/ou niveaux d'autres acteurs de ces deux organismes : Sébastien Ibanez, d'abord comme doctorant et aspirant-guide puis comme maître de conférences à l'Université Savoie Mont Blanc et guide ; un post-doctorant au LECA, Jan Smyčka ; un ingénieur d'étude du LECA, Martí Boleda ; plusieurs gardes du Parc national, en secteur comme Christophe Albert et Tommy Bulle, ou relevant du service scientifique comme Julien Charron.

Cette recherche a nécessité la pratique de l'alpinisme pour pouvoir se mener. Et cette pratique ne s'acquiert pas pour le seul intérêt de la science, mais au contraire, ainsi que nous l'avons montré au chapitre 2, précède la pratique de la science. Ce projet s'est donc construit dans la médiation d'une pratique sportive existante et d'hypothèses scientifiques déjà publiées. Onze années de marche et d'escalade ont assurément scellé une amitié autant que transformé la recherche que nous menions. D'une hypothèse « nunataks » initiale (Dentant & Lavergne 2013), les questions se sont diversifiées et ont produit de nouvelles hypothèses, dont une partie est reprise dans cette thèse : les sciences sociales, via la géographie et la sociologie des sciences, ont fini par faire intrusion.

4.1.3 Éléments synoptiques de l'article

*Titre (FR) : **Découverte d'une diversité cryptique de plantes sur le toit des Alpes**

*Revue : *Nature - Scientific Reports* (2021)

*Référence de publication : [do i: 10.1038/s41598-021-90612- w](https://doi.org/10.1038/s41598-021-90612-w)

*Contributions des auteurs : Florian Boucher, Cédric Dentant, Sébastien Ibanez et Sébastien Lavergne ont conçu les idées de cette étude. Cédric Dentant, Sébastien Ibanez et Sébastien Lavergne ont collecté la majorité des échantillons, avec les contributions de Florian Boucher, Martí Boleda, Louise Boulangeat, Jan Smyčka et Cristina Roquet. Martí Boleda a produit les données génomiques avec la contribution de Florian Boucher, Thibaut Capblancq et Sébastien Lavergne. Florian Boucher a analysé les données génomiques avec les conseils de Thibaut Capblancq et Cristina Roquet. Cédric Dentant a réalisé l'analyse taxinomique. Florian Boucher a piloté l'écriture du manuscrit avec l'aide et la contribution de tous les co-auteurs.

*Résumé (FR) : Les montagnes tempérées de haute altitude ont longtemps été considérées

comme pauvres en espèces, en raison d'un taux d'extinction élevé ou d'un faible taux de spéciation au cours du Pléistocène. Nous avons réalisé une étude phylogénétique et génomique des populations d'un clade emblématique de plantes de haute altitude (*Androsace* sect. *Are-tia*, incluant 31 espèces actuellement reconnues), sur la base de relevés de plantes effectués lors d'expéditions en haute montagne. Nous en avons déduit que ce clade est né au Miocène et a continué à se diversifier pendant les glaciations du Pléistocène, et nous avons découvert trois nouvelles espèces d'*Androsace* vivant sur différents types de substrat rocheux sur les « toits » des Alpes. Ces résultats démontrent que les hautes montagnes tempérées ont été des berceaux de diversité végétale, même au cours du Pléistocène, la spéciation *in situ* étant déterminée par l'action combinée de la géographie et de la géologie. Nos résultats ont une pertinence historique inattendue : H.-B. de Saussure a probablement observé l'une de ces espèces lors de son expédition au Mont Blanc en 1788 et nous la décrivons ici, plus de deux cents ans après sa première observation.

4.2 Article

Discovery of cryptic plant diversity in one of the harshest environments: the rooftops of the Alps

Florian C. Boucher^{1*}, Cédric Dentant^{2,3}, Sébastien Ibanez¹, Thibaut Capblancq^{4,4}, Martí Boleda¹, Louise Boulangeat¹, Jan Smyčka^{1,5}, Cristina Roquet^{1,6}, Sébastien Lavergne¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LECA, 38000 Grenoble, France

² Parc national des Écrins, Domaine de Charance, Gap, France

³ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Sciences Po Grenoble, Pacte, 38000 Grenoble, France

⁴ Department of Plant Biology, University of Vermont, Burlington, VT, USA

⁵ Center for Theoretical Study, Charles University and the Academy of Sciences of the Czech Republic, CZ-110 00 Prague, Czech Republic

⁶Systematics and Evolution of Vascular Plants (UAB) - Associated Unit to CSIC, Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Facultat de Biociències, Universitat Autònoma de Barcelona, ES-08193 Bellaterra, Spain

Abstract

High elevation temperate mountains have long been considered species poor owing to high extinction or low speciation rates during the Pleistocene. We performed a phylogenetic and population genomic investigation of an emblematic high-elevation plant clade (*Androsace* sect. *Aretia*, 31 currently recognized species), based on plant surveys conducted during alpinism expeditions. We inferred that this clade originated in the Miocene and continued diversifying through Pleistocene glaciations, and discovered three novel species of *Androsace* dwelling on different bedrock types on the rooftops of the Alps. This highlights that temperate high mountains have been cradles of plant diversity even during the Pleistocene, with in-situ speciation driven by the combined action of geography and geology. Our findings have an unexpected historical relevance: H.-B. de Saussure likely observed one of these species during his 1788 expedition to the Mont Blanc and we describe it here, over two hundred years after its first sighting.

Keywords: Alpine environments ; genomics ; plant ; speciation ; species delimitation

Introduction

Documenting incipient or recent events of speciation is of paramount importance to understand the mechanisms generating biodiversity, but also to implement adequate conservation actions based on correct species delimitation. This stake is prominent for high-elevation ecosystems (*i.e.*, those from the upper alpine and nival vegetation belts, typically above 2500m a.s.l. in the European Alps¹), whose biodiversity appears to be disproportionately threatened by ongoing climate change². In contrast to mountainous environments in general^{3,4}, high-elevation ecosystems are species poor due to extremely harsh environmental conditions^{5,6}. The fact that high-elevation environments are biological deserts is generally explained by the combination of high extinction rates during Pleistocene glaciations^{7,8} and low speciation rates caused by low ecosystem productivity⁹. In spite of their

low diversity, these environments harbor a high proportion of endemics and retain an important conservation value^{5,10}.

In this article we focus on the European Alps (hereafter, ‘the Alps’) and posit the existence of yet undescribed cryptic plant species within high-elevation ecosystems. Such cryptic diversity is probably due to the nature of the main processes responsible for speciation in the alpine flora: allopatric isolation among mountain ranges and adaptation to divergent substrates^{7,8,11,12}, which normally leave little imprint on species’ morphology. Several reasons explain why this cryptic diversity might lay unrecognized: (i) Alpine plant taxonomy has mostly been studied using morphology, which may dramatically underestimate diversity¹³; (ii) phylogenetic studies of Alpine plants have mostly relied on limited sampling within species and limited sequencing effort¹⁴, reducing our ability to identify recently diverged lineages; and (iii) high alpine environments have long remained unexplored due to their difficult access. Taking advantage of improvements on all those aspects, recent plant surveys suggest that diversity in these environments is much higher than previously assumed¹⁵. Improving species delimitation and identification of cryptic species is crucial for a better biodiversity assessment on rooftops of the Alps and to inform conservation strategies for these ecosystems, as done elsewhere and for other organisms^{16,17}. From a broader perspective, accurate species delimitations are also key for testing theories in biogeography^{18,19} or to enhance our understanding of the speciation process^{20,21}.

Here we study the genus *Androsace* (Primulaceae), which contains some of the vascular plant species dwelling at the highest elevations and the coldest places on Earth^{22,23}. We focus on one part of the genus, *Androsace* section *Aretia*, which has its center of diversity in the Alps but is distributed in all European mountains, with some additional species in North America^{24,25}. The section has diversified in the last 15 Myr, largely thanks to the emergence of a key innovation, the cushion life form²⁶, that enabled some of its species to conquer the highest elevations^{25,27}. While understanding the speciation process was our initial incentive to study *Androsace* sect. *Aretia*, we were also intrigued by the recent description of a putative new species in the Mont Blanc range²⁸. A subsequent taxonomic revision then raised the suspicion that other species may remain to be described in this group²⁹, a highly puzzling

fact after almost 300 years of study of the Alpine flora since von Haller³⁰. Relying on extensive sampling, especially in the Western Alps, and on thousands of SNPs gathered through double digest restriction site associated DNA sequencing (REF), we applied a suite of phylogenomic and population genomic tools aimed at : (i) providing a robust species-level phylogenetic hypothesis for *Androsace* section *Aretia* and (ii) testing the status of putative new species.

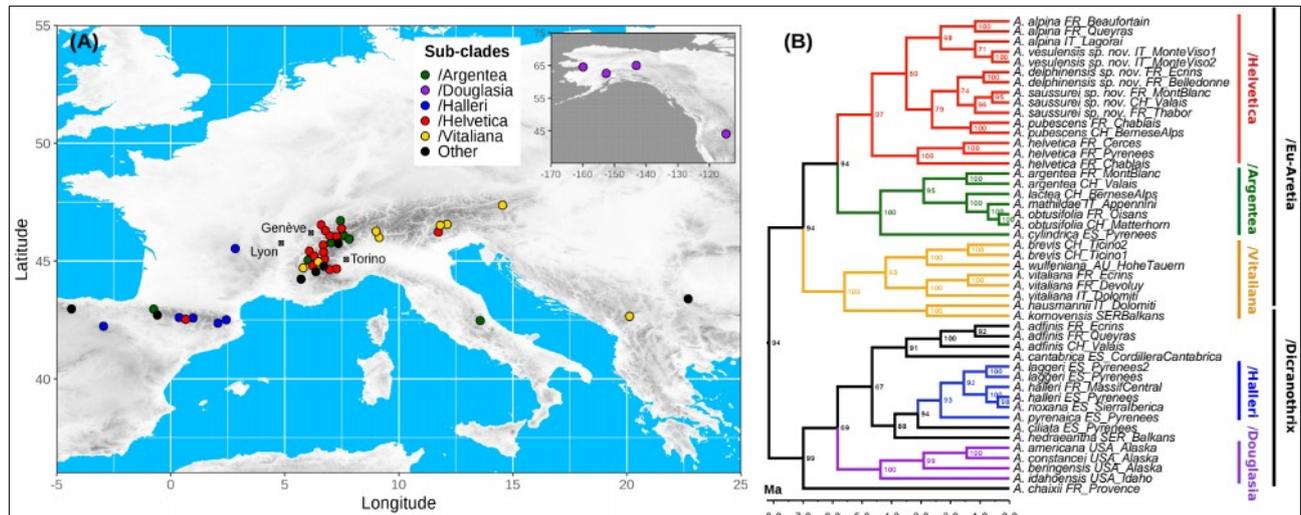


Figure 14. (a) Geographic distribution of samples used for the phylogenomic analysis of *Androsace* sect. *Aretia* (b) Maximum-likelihood phylogeny of *Androsace* sect. *Aretia* based on the concatenation of 2,700 ddRAD tags together totaling 314,363 bp, and dated using penalized likelihood with secondary calibration. Bootstrap support is displayed at nodes and time is shown on the x axis in million years.

These genomic lines of evidence were later corroborated using data on species bedrock affinities and morphology, contributing to a better understanding of diversification dynamics and of the process of speciation in the high-elevation Alpine flora.

Results

We used a large genomic dataset to improve our understanding of the systematics of *Androsace* sect. *Aretia*. We generated ddRAD-seq³¹ data for 88 individuals spanning the whole distribution of the clade (Fig. 14A) and 28 out of its 33 currently recognized species (85%), including all European ones (24 spp.). While most species were represented by one to three accessions (see Table S1), we conducted a much denser sampling for a small clade of high-elevation cushion species suspected to include cryptic taxa that was achieved through decade-spanning alpinism expeditions on most of the highest summits of the Western Alps. The resulting ddRAD tags were aligned to the reference genome of another Primulaceae species, *Primula veris* L.³². This allowed to infer a high-quality phylogeny of *Androsace* sect. *Aretia* using both maximum-likelihood (hereafter, 'ML') on the concatenation of all ddRAD tags (314,363 bp) and species tree inference using unlinked polymorphic sites only (2,461 SNPs). Both approaches were largely congruent and led to a highly supported phylogenetic hypothesis (Fig. 14B, S2, S3, SI section 2.1). They supported the split of sect. *Aretia* into two large clades. The first one included North-American and European species, mostly specialists of subalpine and alpine habitats (clade /*Dicranothrix sensu*²⁴), whereas the second one mainly consisted of cushion species from the Alps and adjacent mountain ranges that grow at the highest elevations and frequently occur in the nival zone (clade /*Eu-Aretia sensu*²⁴). Furthermore, both ML and species tree inference supported the existence of the same five subclades. One of them, /*Douglasia*, corresponds to the former genus *Douglasia* Lindley and the four others were named after their most widespread species: /*Argentea*, /*Halleri*, /*Helvetica* and /*Vitaliana*. All of these clades contain almost exclusively cushion species, except for species of the /*Halleri* clade, which are perennial rosettes. Divergence time estimation performed with penalized-likelihood on the ML phylogeny and calibrated with ages derived from a previous study of Primulaceae (*i.e.*, secondary calibration) suggested that all five subclades might have originated before the Pleistocene, possibly in the Pliocene (Fig. 14B, Fig. S2, SI section 2.2).

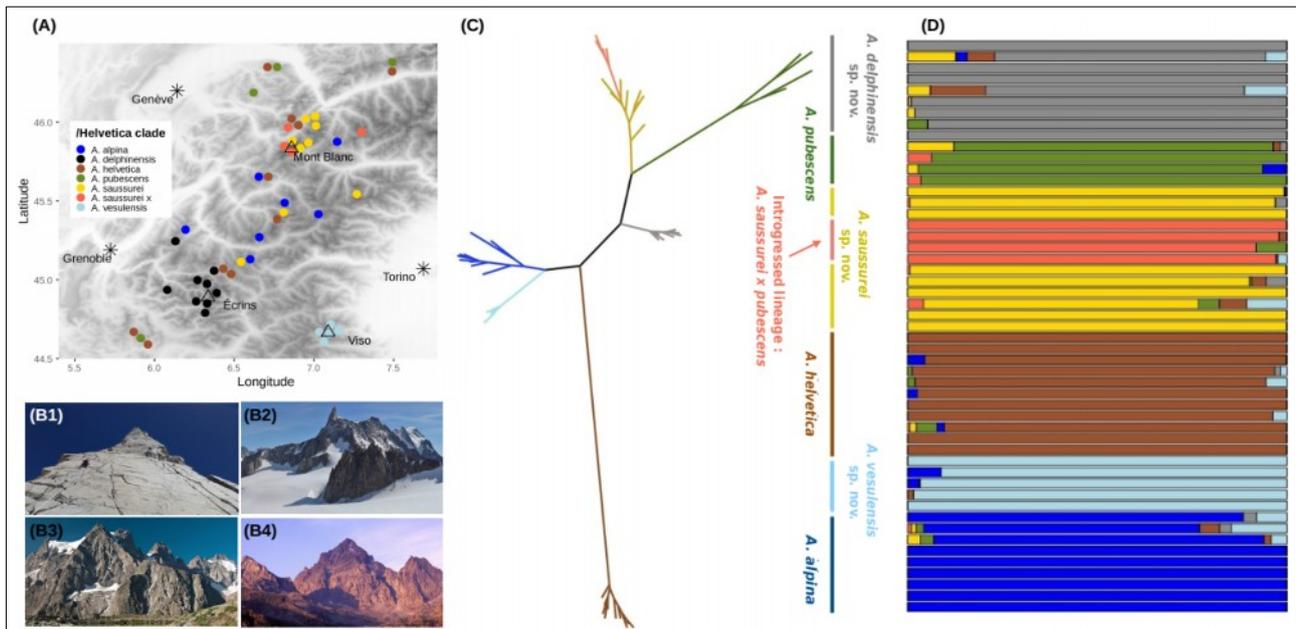


Figure 15. Genetic structure within the /Helvetica clade. (a) Distribution of study samples within the western Alps, spanning the three formerly described species and the three new species described in this study. Individuals of *A. saussurei* introgressed by *A. pubescens* are labeled as ‘*A. saussurei* x’. (b) Pictures depicting the typical high elevation cliff habitats that have been explored for the present study (b1), and the three main mountain ranges where putative novel species occur, namely Mont Blanc (b2), Ecrins (b3), and Monte Viso (b4). (c) Phylogenetic relationships between the 51 individuals of /Helvetica, inferred using ML on a concatenation of 23,780 loci (276,745 bp). (d) Assignment of the same individuals to seven genetic clusters³³ as identified based on a strict selection of 381 unlinked SNPs.

Based on a denser sampling (Fig. 15A), we then focused on the /Helvetica clade, which was estimated to have originated at 5.8 Ma (95% HPD: 2.5-8.3 Ma). This clade contains three currently recognized cushion species, all of which grow at high elevations, *A. alpina*, *A. helvetica*, and *A. pubescens*, as well as putative new taxa, which is the reason why we investigated its systematics further. We first used a constrained clustering method³³ to delimit genetic groups without *a priori* taxonomic assignment. Results supported an optimal number of $K=7$ clusters, which almost perfectly aligned with the phylogeny of these 51 individuals (Fig. 15C, 15D). All individuals of *A. helvetica* were assigned to the same cluster. In contrast, individuals morphologically assigned to *A. alpina* were split into two distinct clusters (Fig. 15D): one comprising individuals growing on ophiolites of Monte Viso (hereafter, *A. vesulensis* sp. nov.) and another one comprising all other individuals (hereafter, *A. alpina*). Individuals morphologically assigned to *A. pubescens* were split into three clusters (Fig. 15D): one including all individuals growing on limestone (hereafter, *A. pubescens*), one including individuals growing on siliceous substrates in the Mont Blanc and neighboring ranges (hereafter, *A. saussurei* sp. nov.) and the last one including individuals growing on siliceous

substrates in the Central French Alps (hereafter, *A. delphinensis sp. nov.*). Finally, further analyses showed that the last cluster (Fig. 15D), which comprised four individuals with an intriguing morphology, resulted from introgression between *A. pubescens* and *A. saussurei sp. nov.* (SI section 3.2).

The taxonomic status of the genetic clusters that did not align with currently recognized species (*i.e.*, *A. saussurei sp. nov.*, *A. delphinensis sp. nov.* and *A. vesulensis sp. nov.*) was tested using multiple lines of evidence. We first conducted molecular species delimitation, which identifies species as independent evolutionary lineages that do not exchange genes anymore^{34,35}. Bayes Factor Delimitation³⁶ indicated decisive support for a scenario in which *A. alpina* and *A. vesulensis sp. nov.* would be considered different species rather than forming a single one (Bayes Factor, hereafter BF = 1,052 – support for a given scenario is considered decisive when for BF > 150, Table S2). Using the same approach, we also found decisive support for considering *A. pubescens*, *A. saussurei sp. nov.* and *A. delphinensis sp. nov.* as distinct species, rather than lumping *A. saussurei sp. nov.* and *A. delphinensis sp. nov.* together (BF = 690, Table S2), or even lumping the three clusters into a single species, as assumed by current taxonomy (BF = 1,698). Genetic PCAs confirmed that the three new species are discrete genetic groups and not arbitrary portions of a larger genomic cline (SI section 3.3, Fig. S11-S12). F_{ST} between newly described species and their close relatives range from 0.08 to 0.3, and are thus of the same order of magnitude as the ones measured between recognized species like *A. alpina* and *A. pubescens* ($F_{ST}=0.12$) or *A. pubescens* and *A. helvetica* ($F_{ST}=0.17$, SI section 3.3). In addition, mantel correlograms show that the genetic structure that we interpret as evidence for two distinct species is not merely due to isolation by distance (Fig. S13). While a hybrid origin of *A. saussurei sp. nov.* and *A. delphinensis sp. nov.* was ruled out by Approximate Bayesian Computation analyses³⁷, we cannot exclude the possibility that *A. vesulensis sp. nov.* emerged as a hybrid species between *A. alpina* and *A. pubescens* (SI section 3.4).

In addition to molecular delimitation, we used ecological data to confirm the status of these putative species. Based on our extensive prospecting we first refined the chorology and bedrock preferences of these new species and found that they have largely allopatric

distributions compared to their close relatives (Fig. 15A, Fig. S16). Contrary to the closely related *A. alpina*, which grows on schist or other siliceous rock crevices, *A. vesulensis* sp. nov. grows on more stable rock crevices or cliffs, always on ophiolites. Our new circumscription of *A. pubescens* restricts this species to limestone crevices or cliffs (contrary to previous descriptions which treated it as a bedrock generalist), while the closely related *A. saussurei* sp. nov. and *A. delphinensis* sp. nov. also grow on rock crevices or cliffs, but exclusively on siliceous bedrocks (e.g., granite, quartzite, gneiss, or sandstone). These geographic and edaphic differences add support to give species rank to each of the three taxa newly described in this study.

Voucher samples were later examined to look for morphological criteria that could serve for species diagnosis. We found only subtle differences, mostly in the morphology of leaves and peduncles trichomes, which are described in the taxonomic treatment below (see also Fig. 16B). These morphological differences themselves do not allow distinguishing all six species, but when combined to geographic and edaphic information they can serve to do so (see *Determination key* in SI section 5.). Finally, we inferred a species tree for the six newly circumscribed species of /*Helvetica* using the program SNAPP³⁸. All phylogenetic relationships were strongly supported except for the most basal divergence between *A. helvetica* and the rest of the clade (Fig. 16A, SI section 3.5). Using a prior on the crown age of /*Helvetica* derived from the dated phylogeny of *Androsace* sect. *Aretia* obtained above, we found that the three newly described species likely originated within the last million years (Fig. S15). These multiple lines of evidence lead us to recognize three new species in *Androsace* sect. *Aretia*: *A. delphinensis*, *A. saussurei* and *A. vesulensis*, which we typify and formally describe at the end of the manuscript.

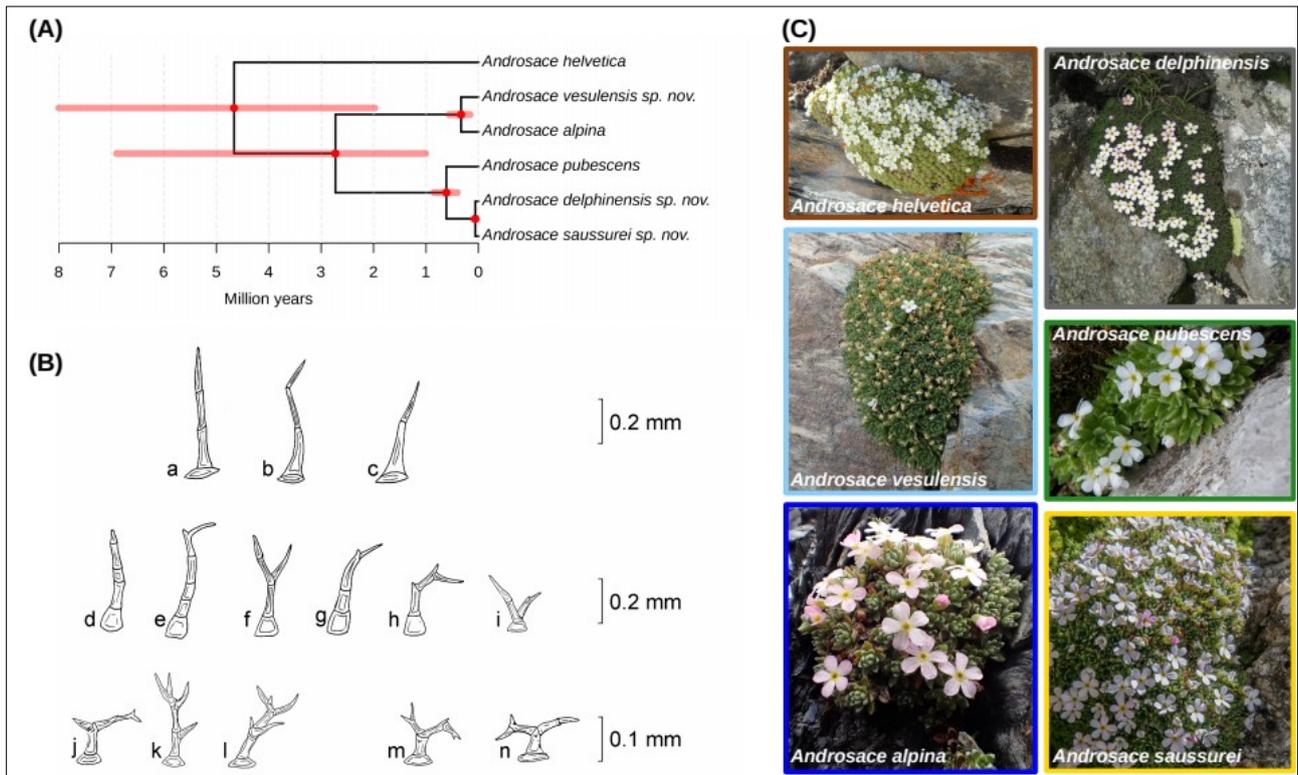


Figure 16. Genetic and morphological delimitations of species within the /Helvetica clade. (A) Species tree inferred from a strict selection of 381 unlinked SNPs, all nodes received a posterior probability of 1.00 except for the most basal one which was supported with 0.45 posterior probability. (B) Drawings of the different trichome morphologies characterizing species of the /Helvetica clade. a-c : *A. pubescens* and *A. helvetica* ; d-i : *A. saussurei* sp. nov. and *A. delphinensis* sp. nov. (d, e, g leaves only; i peduncles only; f, h both leaves and peduncles) ; j-l : *A. vesulensis* sp. nov. ; m-n : *A. alpina*. All drawings from C. Dentant (C) Pictures depicting the overall morphology of different species delimited within the /Helvetica clade. Pictures from N. Bartalucci, L. Boulangeat, S. Ibanez, and S. Lavergne.

Discussion

New species are still being frequently described from under-explored regions or under-studied taxonomic groups but it is extremely rare to discover novel angiosperm species in a region with a long floristic tradition, such as the European Alps. Against all odds, here we describe three new species of *Androsace* that grow on three of the most emblematic mountain ranges of the Alps (Fig. 15B): the one that Romans believed was the highest of the world during antiquity, Monte Viso (3,841m a.s.l.); one of the wildest ones, the Écrins (4,102m a.s.l.); and the rooftop of Europe, Mont Blanc (4,810m a.s.l.). Tribute must be paid to H.-B. de Saussure, who in 1788, during a journey on the Glacier du Géant (3,350 m a.s.l, Mont Blanc

range), found only one flowering plant species “*sometimes white, sometimes purplish*”³⁹ and made the first observation of what we just described as *Androsace saussurei* sp. nov., more than two hundred years later. An important result of our study is that these new species are cryptic (Fig. 16C), which might explain why they had been overlooked until now. We did find some subtle morphological differences between species, though, as highlighted above and summarized in the taxonomic treatment. As we describe in alpine *Androsace* here, and as found earlier in arctic species of the genus *Draba*¹³, cryptic species may have recently arisen within arctico-alpine floras. While other studies of rapid species diversification have often highlighted morphological diversification^{40,41}, our study adds to mounting evidence that rapid species diversification can also be decoupled from morphological differentiation^{42,43}. The *Androsace* species we describe here perhaps result from rather ephemeral speciation processes⁴⁴ due to Pleistocene climatic fluctuations that have generated morphologically cryptic but genetically distinct lineages. Our results thus suggest that plant species diversity may have been underestimated in high-elevation ecosystems, in particular nival ones, due to limited sequencing and sampling effort of plants dwelling in extreme high alpine environments.

Our study first provides an improved understanding of phylogenetic relationships in *Androsace* sect. *Aretia*. Using thousands of genetic *loci* obtained through ddRAD sequencing along with multiple accessions for the majority of species and mapping these *loci* to a reference genome yields a major improvement in our understanding of the evolutionary history of the whole *Androsace* sect. *Aretia*. It first establishes that geographic structure is marked within the section (Fig. 14), with one clade of North-American species (clade /*Douglasia*), another one largely confined to Western Europe (clade /*Halleri*), a clade widespread in European high mountains (clade /*Vitaliana*), and two clades with most of their diversity in the Central and Western Alps (clades /*Argentea* and /*Helvetica*). Species bearing the cushion life form, an adaptation to cold and dry environments that has appeared more than a hundred times across angiosperms⁴⁵, are found in all major subclades of *Androsace* sect. *Aretia*. Finally, we find that all subclades cited above originated during the Pliocene and continued diversifying throughout the Pleistocene, a period marked by accelerated erosion rates due to global cooling and later glaciations which led to an increase in relief^{46,47}. The

formation of deep valleys separating the habitats occupied by species of section *Aretia* might thus have favored its diversification. The precise dating of these events should be taken cautiously since it relies on secondary calibration, but, if anything, these ages are overestimated given that the original study had obtained rather old divergence times compared to other studies of Primulaceae⁷.

We provide evidence for recent plant species origination in some of the most extreme environments on Earth. High-elevation habitats in the Alps host relatively little plant life^{5,22} and have thus been long viewed as historical sinks of diversity (cite again refs 7,8,9), due to low speciation owing to harsh climatic conditions and to high extinction driven by Pleistocene glaciations. Instead, we show that the number of species recognized in the /*Helvetica* clade should be raised from three to six, and that three speciation events likely took place during the Pleistocene, a period during which the Alps were largely covered by glaciers. The occurrence of Pleistocene speciation, together with the distribution of species in the interior of the Alps (Fig. 14), suggests that plants of the /*Helvetica* clade may have survived in nunataks located above glaciers and diversified during glacial periods⁴⁸. This is a plausible scenario given that these plants frequently grow on high-elevation cliffs above glaciers today. For species of /*Helvetica* it has even been suggested that these refugia might have been located both in the center and at the periphery of the Alps⁴⁹. More generally, the origin of major subclades within *Androsace* sect. *Aretia* in the Pliocene and the occurrence of several speciation events during the Pleistocene supports the idea that mountain floras worldwide are the result of fast and recent evolutionary radiations⁵⁰.

Our work employs the unified species concept of de Queiroz, which identifies species as independently evolving metapopulation-level lineages³⁴. The operational criteria that we use to delimit species include three sources of evidence: genomic divergence (coming from both phylogenetic and genetic clustering analyses), morphological differentiation (although subtle), and ecological differentiation (mainly through bedrock affinities). Our approach thus embraces the emerging paradigm of integrative taxonomy^{51,52}. The new species described in this study have allopatric distributions with their closest relatives (Fig. 15). This supports the

prominent role of allopatric speciation in the flora of the European Alpine System, which can be conceived as an archipelago of ‘sky islands’ among which gene flow is probably very limited^{7,8,53}. But the other striking observation is that these new species grow on distinct substrates compared to their close relatives. While *A. pubescens* exclusively grows on limestone, its sister clade, which is formed of *A. saussurei* sp. nov. and *A. delphinensis* sp. nov. is found on siliceous rocks. Similarly, the widespread *A. alpina* is restricted to siliceous rocks whereas its sister species *A. vesulensis* grows on mafic or ultramafic ophiolites. Substrate is known to have played an important role in the phylogeography of the Alpine flora⁵⁴ and has also been proposed as a driver of speciation^{7,11,12}. This is likely because of the trade-offs required for adaptation to alternative soil chemistries, but also because bedrock type is typically uniform across spatial scales of a few kilometers in the Alps and because it has remained constant during the whole geological history of the Alps, except for the erosion of some sedimentary rocks capping nowadays exposed igneous ones⁵⁵. This illustrates that allopatric and ecological speciation are intertwined rather than mutually-exclusive mechanisms. In contrast, climate doesn’t seem to be an axis of niche divergence in the Alpine flora⁷, probably because it varies over short distances along elevational gradients and because it has varied drastically over timescales of a few thousand years following glacial cycles. In /Helvetica, the spatial separation and temporal constancy of bedrock types would have triggered ecological speciation, leaving enough time for different plant lineages to adapt to different substrates, while the same may not have been possible for climate. Plants of the /Helvetica clade would be especially prone to substrate specialization given that they live on cracks or screes of the bedrock and are thus directly affected by its properties. Importantly, reproductive isolation does not seem to be complete between species. This is suggested by the existence of wild hybrids between *A. pubescens* and *A. helvetica*⁴⁹ and of wild hybrids between *A. pubescens* and *A. saussurei* sp. nov. that we have documented here. Furthermore, the possibility that *A. vesulensis* sp. nov. originated through hybrid speciation, even though it deserves further investigation, would also support the incompleteness of reproductive barriers in /Helvetica. This could be the result of allopatric divergence, during which intrinsic reproductive barriers are not selected and thus evolve rather slowly⁵⁶. Field-based measures of gene flow between these taxa would be needed to determine the strength of these reproductive barriers.

This systematic study of one of the plant clades found in the coldest environments on Earth bears importance for implementing appropriate conservation strategies in ecosystems at stake with the issue of climate change. We just unraveled the existence of cryptic species of high elevation *Androsace* using molecular data, but further scrutiny of fine morphological characters allowed proposing diagnostic traits for these new species. Despite the seemingly good news of this finding, the newly identified *A. delphinensis* sp. nov., *A. saussurei* sp. nov., and *A. vesulensis* sp. nov. are already facing important threats. Until a proper threat assessment is performed, these novel species inherit the protection status of the species they were previously included in (that is, *A. pubescens* and *A. alpina*) and are thus automatically protected in France, Italy, and Switzerland. But, given their restricted range sizes (Fig. 15) and the important risk they may face from climate change, either directly² or possibly due to increased competition with colonizers from lower elevations⁵⁷, there is little doubt that these novel species will require species-specific protection plans. Here we have only investigated the systematics of one clade, but high-elevation ecosystems probably harbor more unknown species that may disappear before ever being described. It is thus time to change our perception of these ecosystems, which are much more deserts of knowledge than deserts of life.

Methods

Samples used in this study were collected during a decade of botanical expeditions spanning large elevation gradients on over 90 of the highest summits and passes of the Western Alps, most of the time requiring the means of alpinism techniques. For most of these high elevation sites, no botanical data had ever been recorded. This study used 88 individuals sampled throughout European mountains (Fig. 14a), including 1-3 individuals of all 24 European species of *Androsace* sect. *Aretia*, and a denser coverage of *A. alpina* (L.) Lam. (14 individuals, including one suspected new taxon), *A. helvetica* (L.) All. (11 individuals), and *A. pubescens* DC. (26 individuals, including two suspected new taxa). We also included one sample of four of the nine North-American species of the section, plus three outgroups (Table S1).

Total DNA from all samples was extracted using a DNeasy Plant Mini Kit (Quiagen, Germany). A double digest restriction site associated DNA experiment (hereafter, ddRAD-seq) was conducted using a modified version of the original protocol (³¹, see SI section 1.1 for details) with PstI and MspI as restriction enzymes. The four libraries that we generated were sequenced on half a lane of Illumina Hi-Seq 2500 2x125 (Fasteris SA, Switzerland), generating more than 275 million reads of 2 x 125bp. Rather than relying on *de novo* assembly of these loci, we preferred to align them on the reference genome of another species from the Primulaceae family: *Primula veris* L.³² and then call SNPs. This was done using the program ipyrad (REF). We however verified that a dataset containing both loci aligned to the reference genome and *de novo* assembly of loci that did not align to the reference genome provided qualitatively similar results (see below). We also checked that technical replicates of our four ddRAD-seq libraries and sequencing runs produced comparable data prior to combining them for further analyses (Fig. S1). While some phylogenetic analyses used either all DNA base pairs sequenced or all SNPs that were called, for some other analyses we selected unlinked SNPs that were either located on different contigs of the reference genome or located on the same contig but >10,000 bp apart.

Phylogenetic relationships within *Androsace* sect. *Aretia* were inferred using two different approaches: ML inference of all ddRADseq tags concatenated (314,363 bp) using IQ-TREE⁵⁸ and species tree inference from 2,461 unlinked SNPs using SVDquartets⁵⁹. In both cases, clade support was measured using bootstrap and trees were rooted thanks to the inclusion of three outgroup taxa from the Primulaceae family, located at increasing phylogenetic distances from our ingroup: *A. septentrionalis* L., *Primula hirsuta* All., and *Lysimachia nummularia* L. (SI section 2.1). We then dated the phylogram obtained from concatenation using penalized likelihood⁶⁰. We calibrated two nodes of the phylogeny using median ages estimates from a previous study of Primulaceae⁷: the crown node of *Androsace* sect. *Aretia* (8.16 Ma) and the divergence between the genera *Androsace* and *Primula* (33.3 Ma). In an effort to reduce computing time, we only retained 2 to 3 individuals for each species of the /Helvetica clade for these phylogenetic analyses. These individuals were chosen as to maximize coverage of each species' geographic range.

In order to revise the systematics of *A. Helvetica* and to test the putative species status of newly discovered taxa, we used an integrative taxonomic approach combining genomics, geography, and habitat characterization. We started by doing a different SNP calling for the 51 individuals of the *A. Helvetica* clade using the same pipeline as described above, which resulted in 23,780 loci aligned to the reference genome, containing a total of 276,745 bp and 7,806 SNPs. In order to use population genetic measures on this recently diverged clade, we strictly filtered this initial SNP dataset: we only kept biallelic SNPs that had less than 40% missing data, that had minor allele frequencies >4%, and that were unlinked (*i.e.*, located on different contigs of the reference genome or >10,000 bp apart on the same contig), yielding a final dataset of 381 SNPs. This number is rather low but we preferred working with these high-quality SNPs only rather than relying on *de novo* assembly of ddRADseq tags, which gave similar results (SI sections 3.1 and 3.2, Fig. S5 and S6, Fig. S8 and S9). Genetic clusters were then inferred with no *a priori* grouping using the sNMF algorithm, which aims at estimating individual ancestry³³. We tested numbers of genetic clusters *K* ranging from 1 to 10 and the optimal number of clusters was chosen based on the cross-entropy of the best run for each value of *K*³³. We tested the species status of the five clusters that did not correspond to already recognized species using Bayes factor delimitation³⁶. This method relies on comparing the marginal likelihood of alternative species delimitation scenarios using under the multispecies coalescent model to identify evolutionary lineages that do not exchange genes anymore, *i.e.* species under the general species concept^{34,35}. For each genetic cluster, alternative species delimitation scenarios in which the cluster would have species rank or not were statistically compared (Fig. S10). We note that for *A. pubescens* only four individuals were included in species delimitation analyses, which is less than generally recommended for SNAPP to perform well (*i.e.* less than five samples per species; Bryant et al., 2012; Leaché et al., 2014). The geographic distribution and bedrock affinities of all species were determined thanks to field data collected during our own sampling campaigns, in combination to data obtained from an online citizen-science project dedicated to the digitization and geo-referencing of herbarium records of the genus *Androsace* (<http://lesherbonautes.mnhn.fr/missions/13798338>). We also scrutinized 139 plant samples and coded a number of morphological characters, in order to provide morphological

diagnosis criteria to differentiate study taxa. Once we had confirmed that these six taxa deserved species status, we inferred their phylogenetic relationships using species tree inference from unlinked SNPs with the program SNAPP³⁸. Four independent chains of 500,000 steps were combined to produce a maximum clade credibility tree, which was calibrated to absolute time using the estimation of the crown age of *Helvetica* obtained above. Finally, we tested possible hybrid origins of the three newly described species from *A. alpina* and *A. pubescens* as parent species using the diyABC software³⁷ with 5 million simulations in each case.

Taxonomic treatment: description of three novel *Androsace* species

***Androsace delphinensis* Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanez sp. nov.**

[=*Androsace pubescens* auct. non DC.]

Holotypus (designated here) : France, Hautes-Alpes, Ecrins, Pic Coolidge (3,775m a.s.l.), close to the summit, in south-facing crevices in granite, [6,358341°/44,909247°], 3,758m a.s.l., 2019/08/13. Coll. : Dentant. GRM[MHNGr.2020.46703]!

Etymology: Named after the region of Dauphiné, in the southern French Alps.

Species description:

Perennial plant forming a creeping cushion, sometimes compact, up to 5(10) cm high, 3–20 cm in diameter, made of loose to slightly compact rosettes. Leaves lanceolate, 7–10 × 1–1.5 mm, hairy on both sides. Hairs persistent, simple (proportion (0)25% to 75(100)%) bifurcated or branched (at least 3 branches), slightly curved, 0.2–0.5 mm long, composed of (3)4–6(8) cells. Hairs often branched with a short branch at the top, sometimes broken. Pedicel with hairs exclusively bifurcated or branched. Corolla always white, 7–8 mm in diameter. Flowering: June to August. Habitat: rock crevices on gneiss, granite, sandstone, flysch. Elevation: 2,400m to 3,850m a.s.l.. Chorology : Southwestern Alps (Écrins, Grandes Rousses, Belledonne).

***Androsace vesulensis* Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanez sp. nov.**

[=*Androsace pubescens* auct. non DC.; =*Androsace alpina* auct. non Lam.]

Holotypus (designated here): Italy, Piedmont, Monte Viso (3,841m a.s.l.), close to the summit from the normal route, in south-facing crevices in ophiolite, [7,08978°/44,66756°], 3,750m a.s.l., 2017/07/18. Coll. : Lavergne & Smyčka. GRM[MHNGr.2020.46704]!

Etymology: Named after Monte Viso, in the southwestern Italian Alps.

Species description:

Perennial plant forming a creeping cushion, sometimes compact, up to 5(8) cm high, 3–10 cm in diameter, made of loose to slightly compact rosettes. Leaves lanceolate, 5–6.3 × 1–2.2 mm, hairy (mainly on edges). Hairs persistent, deer-antler-shaped, 0.1–0.2 mm long, composed of 3–4(7) cells. Corolla always white, 7 mm in diameter. Flowering: June to August. Habitat: rock crevices on ophiolite (basalt, gabbro, serpentine). Elevation : 2,800m to 3,800m a.s.l.. Chorology: endemic of Monte Viso and neighboring ophiolite summits (Italy and France).

***Androsace saussurei* Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanez sp. nov.**

[=*Androsace pubescens* auct. non DC. ; =*Androsace alpina* auct. non Lam.]

Holotypus (designated here): France, Haute-Savoie, Mont Blanc (4,810m a.s.l.), southern ridge of the *Rocher de l'Heureux Retour*, in crevices on granite [6,857218°/45,858224°], 3,500m a.s.l., 2020/06/03. Coll. : Lavergne, Bartalucci, Carlson & Dentant. GRM[MHNGr.2020.46705]!

Etymology: Named after the Genevan scholar Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799), first promoter of science in high mountains.

Species description:

Perennial plant forming a creeping cushion, sometimes compact, up to 5(8) cm high, 3–10 cm in diameter, made of loose to slightly compact rosettes, 4.7–8.1 mm in diameter. Leaves lanceolate, 4.5–6(9.5) × 1.1–1.7 mm, hairy on both surfaces, often reddish at the tips (higher anthocyanin concentration). Hairs persistent, simple (proportion (0)25% to 75(100)%), bifurcated or branched (at least 3 branches), 0.2–0.5 mm long, composed of 3–5(8) cells. Pedicel with hairs exclusively bifurcated or branched. Corolla white to purplish, 7 mm in diameter. Buds often purplish. Flowering: June to August. Habitat: rock crevices on protogine and granite. Elevation: 2,000m to 4,070m a.s.l. – (highest elevation known for a vascular plant in Italy, observed by Brad Carlson in the south face of Mont Blanc, Italy). Chorology: Western Alps (Mont-Blanc, Gran Paradiso. Valais, Vanoise, Thabor).

Acknowledgements

We thank all people who contributed to sampling: Ch. Albert, N. Bartalucci, T. Bulle, J. Charron, B. Carlson, R. Douzet, P. Dufour, S. Eggenberg, L. Gallien, L. Garraud, E. Hustache, S. Julien, M. Kolářová, P. Koutecký, S. Latzin, A. Moehl, J. Pilátová, D. Požárová, P. Saccone, P. Schönswetter, G. Schneeweiss, M. Smyčková, J. Van Es, J.-C. Villaret, and S. Wipf. P. Saccone and C. H. Albert participated in the early stage of this project. The ALA and ID herbaria kindly provided material for North American species, J. Renaud helped with designing the sampling, C. Kebaili and S. Sherpa provided guidance on genomic analyses. Two anonymous reviewers made insightful comments on an earlier version of this manuscript. The research was funded by the ANR project Origin-Alps (ANR-16-CE93-0004). Some samples of this study were collected as part of the PhyloAlps project. The sampling campaign in the Balkans region was supported by Bourse de Terrain of the French Ecological Society to J. Smyčka. This study was performed with all necessary authorizations from the following French departments, Savoie (n°2017-985), HauteSavoie (n°2017-1423), Hautes-Alpes (n°[05-2017-07-21-001](#)), Isère (n°[38-2017-07-20-003](#)), AlpesMaritimes (n°[06-2017-07-18](#)), along with relevant research authorizations from protected natural areas. The authors are extremely grateful to the many virtual botanists that have contributed to the *Herbonautes* citizen science project called "[Les Androsaces, des primulacées d'elevation](#)" managed by the National Museum of Natural History, Paris, and to M. Lefebvre, curator of the herbarium of the Natural History Museum of Grenoble (GRM).

References

1. Ozenda, P. La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon* **54**, 66–67 (1985).
2. Engler, R. *et al.* 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Glob. Chang. Biol.* **17**, 2330–2341 (2011).
3. Spehn, E. M. & Körner, C. A global assessment of mountain biodiversity and its function. *Glob. Chang. Mt. Reg.* 393–400 (2005).
4. Rahbek, C. *et al.* Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science (80-.)*. **365**, 1108–1113 (2019).
5. Aeschimann, D., Rasolofoa, N. & Theurillat, J. Analyse de la flore des Alpes. 3: biologie et phénologie. *Candollea* **67**, 3–22 (2012).
6. McCain, C. M. & Grytnes, J.-A. Elevational Gradients in Species Richness. *Encyclopedia of Life Sciences* (2010).
7. Boucher, F. C., Zimmermann, N. E. & Conti, E. Allopatric speciation with little niche divergence is common among alpine Primulaceae. *J. Biogeogr.* **43**, 591–602 (2016).
8. Kadereit, J. W., Griebeler, E. M. & Comes, H. P. Quaternary diversification in European alpine plants: pattern and process. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* **359**, 265–274 (2004).
9. Körner, C. *Alpine Plant Life*. (Springer, 1999).
10. Smyčka, J. *et al.* Disentangling drivers of plant endemism and diversification in the European Alps – A phylogenetic and spatially explicit approach. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **28**, 19–27 (2017).
11. Conti, E., Soltis, D. E., Hardig, T. M. & Schneider, J. Phylogenetic relationships of the silver saxifrages (*Saxifraga*, sect. *Ligulatae* haworth): implications for the evolution of substrate specificity, life histories, and biogeography. *Mol. Phylogenet. Evol.* **13**, 536–555 (1999).
12. Moore, A. J. & Kadereit, J. W. The evolution of substrate differentiation in *Minuartia* series *Laricifoliae* (Caryophyllaceae) in the European Alps: In situ origin or repeated colonization? *Am. J. Bot.* **100**, 2412–2425 (2013).

13. Grundt, H. H., Kjølner, S., Borgen, L., Rieseberg, L. H. & Brochmann, C. High biological species diversity in the arctic flora. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **103**, 972–975 (2006).
14. Kadereit, J. W. The role of in situ species diversification for the evolution of high vascular plant species diversity in the European Alps—A review and interpretation of phylogenetic studies of the endemic flora of the Alps. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **26**, 28–38 (2017).
15. Marx, H. E. *et al.* 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. *J. Biogeogr.* **44**, 2618–2630 (2017).
16. Hebert, P. D. N., Penton, E. H., Burns, J. M., Janzen, D. H. & Hallwachs, W. Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astraptes fulgerator*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **101**, 14812 LP – 14817 (2004).
17. Vieites, D. R. *et al.* Vast underestimation of Madagascar's biodiversity evidenced by an integrative amphibian inventory. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **106**, 8267 LP – 8272 (2009).
18. Bálint, M. *et al.* Cryptic biodiversity loss linked to global climate change. *Nat. Clim. Chang.* **1**, 313–318 (2011).
19. Gill, B. A. *et al.* Cryptic species diversity reveals biogeographic support for the 'mountain passes are higher in the tropics' hypothesis. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **283**, 20160553 (2016).
20. Moritz, C. *et al.* Identification and dynamics of a cryptic suture zone in tropical rainforest. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **276**, 1235–1244 (2009).
21. Struck, T. H. *et al.* Finding Evolutionary Processes Hidden in Cryptic Species. *Trends Ecol. Evol.* **33**, 153–163 (2018).
22. Körner, C. Coldest places on earth with angiosperm plant life. *Alp. Bot.* **121**, 11–22 (2011).
23. Dentant, C. The highest vascular plants on Earth. *Alp. Bot.* (2018). doi:10.1007/s00035-018-0208-3
24. Schneeweiss, G., Schönswetter, P., Kelso, S. & Niklfeld, H. Complex biogeographic patterns in *Androsace* (Primulaceae) and related genera: evidence from phylogenetic analyses of nuclear internal transcribed spacer and plastid trnL-F sequences. *Syst. Biol.* **53**, 856–876 (2004).
25. Boucher, F. C. *et al.* Reconstructing the origins of high-alpine niches and cushion life form in the genus *Androsace* s.l. (Primulaceae). *Evolution (N. Y.)* **66**, 1255–1268 (2012).

26. Aubert, S., Boucher, F., Lavergne, S., Renaud, J. & Choler, P. 1914-2014: A revised worldwide catalogue of cushion plants 100 years after Hauri and Schröter. *Alp. Bot.* **124**, 59–70 (2014).
27. Roquet, C., Boucher, F. C., Thuiller, W. & Lavergne, S. Replicated radiations of the alpine genus *Androsace* (Primulaceae) driven by range expansion and convergent key innovations. *J. Biogeogr.* **40**, 1874–1886 (2013).
28. Jordan, D. *La flore rare ou menacée de Haute-Savoie*. (Naturalia publications, 2015).
29. Dentant, C., Lavergne, S. & Malécot, V. Taxonomic revision of West-Alpine cushion plant species belonging to *Androsace* subsect. *Aretia*. *Bot. Lett.* **165**, 337–351 (2018).
30. von Haller, A. *Enumeratio methodica stirpium Helvetiae indigenarum*. (1742).
31. Peterson, B. K., Weber, J. N., Kay, E. H., Fisher, H. S. & Hoekstra, H. E. Double Digest RADseq: An Inexpensive Method for De Novo SNP Discovery and Genotyping in Model and Non-Model Species. *PLoS One* **7**, e37135 (2012).
32. Nowak, M. D. *et al.* The draft genome of *Primula veris* yields insights into the molecular basis of heterostyly. *Genome Biol.* **16**, 12 (2015).
33. Frichot, E., Mathieu, F., Trouillon, T., Bouchard, G. & François, O. Fast and Efficient Estimation of Individual Ancestry Coefficients. *Genetics* **196**, 973 LP – 983 (2014).
34. De Queiroz, K. Species Concepts and Species Delimitation. *Syst. Biol.* **56**, 879–886 (2007).
35. Fujita, M. K., Leaché, A. D., Burbrink, F. T., McGuire, J. A. & Moritz, C. Coalescent-based species delimitation in an integrative taxonomy. *Trends Ecol. Evol.* **27**, 480–488 (2012).
36. Leaché, A. D., Fujita, M. K., Minin, V. N. & Bouckaert, R. R. Species delimitation using genome-wide SNP data. *Syst. Biol.* **63**, 534–542 (2014).
37. Cornuet, J.-M. *et al.* DIYABC v2.0: a software to make approximate Bayesian computation inferences about population history using single nucleotide polymorphism, DNA sequence and microsatellite data. *Bioinformatics* **30**, 1187–1189 (2014).
38. Bryant, D., Bouckaert, R., Felsenstein, J., Rosenberg, N. A. & RoyChoudhury, A. Inferring species trees directly from biallelic genetic markers: bypassing gene trees in a full coalescent analysis. *Mol. Biol. Evol.* **29**, 1917–1932 (2012).

39. de Saussure, H.-B. *Voyage dans les Alpes - tomes I, II, III et IV*. (Samuel Fauche (tome I); Barde, Manget & Compagnie (tome II); Louis Fauche-Borel (tomes III&IV), 1780).
40. Hughes, C. & Eastwood, R. Island radiation on a continental scale: exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **103**, 10334–10339 (2006).
41. Glor, R. E. Phylogenetic Insights on Adaptive Radiation. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **41**, 251–270 (2010).
42. Van Bocxlaer, B. & Hunt, G. Morphological stasis in an ongoing gastropod radiation from Lake Malawi. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **110**, 13892 LP – 13897 (2013).
43. Czekanski-Moir, J. E. & Rundell, R. J. The Ecology of Nonecological Speciation and Nonadaptive Radiations. *Trends Ecol. Evol.* **34**, 400–415 (2019).
44. Cutter, A. D. & Gray, J. C. Ephemeral ecological speciation and the latitudinal biodiversity gradient. *Evolution (N. Y.)*. **70**, 2171–2185 (2016).
45. Boucher, F. C., Lavergne, S., Basile, M., Choler, P. & Aubert, S. Evolution and biogeography of the cushion life form in angiosperms. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **20**, 22–31 (2016).
46. Valla, P. G., Shuster, D. L. & Van Der Beek, P. A. Significant increase in relief of the European Alps during mid-Pleistocene glaciations. *Nat. Geosci.* **4**, 688–692 (2011).
47. Herman, F. *et al.* Worldwide acceleration of mountain erosion under a cooling climate. *Nature* **504**, 423–426 (2013).
48. Schneeweiss, G. M. & Schönswetter, P. A re-appraisal of nunatak survival in arctic-alpine phylogeography. *Mol. Ecol.* **20**, 190–192 (2011).
49. Schneeweiss, G. M., Winkler, M. & Schönswetter, P. Secondary contact after divergence in allopatry explains current lack of ecogeographical isolation in two hybridizing alpine plant species. *J. Biogeogr.* **44**, 2575–2584 (2017).
50. Hughes, C. E. & Atchison, G. W. The ubiquity of alpine plant radiations: from the Andes to the Hengduan Mountains. *New Phytol.* **207**, 275–282 (2015).
51. Dayrat, B. Towards integrative taxonomy. *Biol. J. Linn. Soc.* **85**, 407–415 (2005).
52. Carstens, B. C., Pelletier, T. A., Reid, N. M. & Satler, J. D. How to fail at species delimitation. *Mol. Ecol.* **22**, 4369–4383 (2013).
53. Ozenda, P. L'endémisme au niveau de l'ensemble du Système alpin. *Acta Bot. Gall.* **142**, 753–762 (1995).

54. Alvarez, N. *et al.* History or ecology? Substrate type as a major driver of spatial genetic structure in Alpine plants. *Ecol. Lett.* **12**, 632–640 (2009).
55. Glotzbach, C., Beek, P. & Spiegel, C. Episodic exhumation and relief growth in the Mont Blanc massif, Western Alps from numerical modelling of thermochronology data. *Earth Planet. Sci. Lett.* **304**, 417–430 (2011).
56. Nosil, P. *Ecological speciation*. (Oxford University Press, 2012).
57. Steinbauer, M. J. *et al.* Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature* **556**, 231–234 (2018).
58. Nguyen, L.-T., Schmidt, H. A., von Haeseler, A. & Minh, B. Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Mol. Biol. Evol.* **32**, 268–274 (2015).
59. Chifman, J. & Kubatko, L. Quartet Inference from SNP Data Under the Coalescent Model. *Bioinformatics* **30**, 3317–3324 (2014).
60. Sanderson, M. J. Estimating Absolute Rates of Molecular Evolution and Divergence Time s: A Penalized Likelihood Approach. *Mol. Biol. Evol.* **19**, 101–109 (2002).

Matériel supplémentaire

Toutes les tables et figures du matériel supplémentaire de l'article sont en annexe I (p.313).

4.3 Conclusion du chapitre 4

La description d'espèces nouvelles pour la science ne porte pas en tant que telle une quelconque originalité scientifique. Ce qui confère à ce travail de long terme une forte originalité dans la connaissance est la transformation de paradigme qu'il implique : historiquement envisagée comme un désert (cf. 3.1.2), nous avons démontré que la haute altitude est non seulement un espace habité par des êtres vivants pluricellulaires (plantes à fleurs), mais qu'il est en outre un espace de diversification biologique. Totalement contre-intuitif, ce constat montre l'influence profonde de la géographie sur l'exercice de la science : investir physiquement les lieux considérés comme « hostiles » dans une démarche de recherche scientifique permet de préciser les termes du paradigme : l'« hostilité » proclamée concerne l'espèce humaine et n'est en rien un fait scientifique. Elle est une perception du milieu qui influence encore le regard qu'on lui porte. Investie par un regard scientifique, la haute montagne s'avère être une niche écologique remarquable pour nombre d'espèces végétales. Un espace géographique qui offre une approche neuve sur la diversification du vivant aux marges de la biosphère.

Chapitre.5 Les trajectoires des communautés de plantes des nunataks du Mont-Blanc dans l'Anthropocène (article n°3)

5.1 Introduction et implications dans le travail de thèse : botanique historique des marges

Au temps long de l'évolution biologique de la partie précédente, ce travail repose sur un temps historique, d'à peine plus d'un siècle et demi, pourtant « énorme » à l'échelle de nos vies. Ce temps historique se concentre sur cette ère nouvelle du changement global définie par Crutzen et Stoermer (2000) : l'Anthropocène. La recherche en haute montagne que nous avons menée a assuré la récolte de centaines d'échantillons de tissus vivants pour les reconstructions phylogénétiques et les analyses taxinomiques. Et dans un même élan, elle a permis d'établir un nombre encore plus élevé de données d'occurrences d'espèces végétales à travers les Alpes. Or, si la phylogénie est une pratique récente, relever la présence d'espèces dans des lieux géographiques donnés est beaucoup plus ancien. Et c'est en explorant ces données historiques que nous avons pu mener une étude originale sur un des espaces les plus emblématiques de l'alpinisme : le massif du Mont-Blanc.

La découverte des travaux de Venance Payot (1826-1902) – botaniste, guide, cristallier et accessoirement maire de Chamonix de 1863 à 1864 et de 1881 à 1882 – s'est produite en deux étapes : une première fois en 2010, dans un article sur le jardin de Talèfre paru dans la revue botanique *Le Monde des Plantes* (Jordan 2010), où étaient égrainées toutes les espèces découvertes depuis la première liste publiée par Payot en 1854 (Payot 1854). Puis une seconde fois, dans le très esthétique ouvrage *Mer de Glace* (Edytem 2012), où Payot apparaît être la première personne à mesurer le recul du front du glacier des Bois (et à en rendre compte via des publications). En cherchant plus avant dans les publications de ce savant alpiniste, précieusement conservées dans le centre de documentation du Conservatoire botanique national alpin, je découvre une synthèse hors norme : une « Florule de la vallée de la Mer de Glace » (Payot

1868), dans lequel il évoque pour la première fois des « îlots » de végétation isolés au sein des glaciers, et sur lesquels il reviendra pendant plusieurs décennies afin d'en réaliser l'inventaire botanique exhaustif. Il en donne une définition explicite dans un article ultérieur (Payot 1880) :

« J'appelle îlots ces colonies de plantes qui, de même que celles des îles des Océans, sont séparés du reste du monde végétal, avec cette seule différence que l'eau qui les isole se trouve à l'état de glace ou de neige, au lieu d'être liquide. »

Dans cette florule de 1868, Payot décrit minutieusement cinq îlots au sein de la Mer de glace, dont quatre étaient en 2020 encore clairement délimités : Talèfre, Leschaux, Couvercle et Tacul (le cinquième, nommé Entre-les-Portes, est aussi peu clair que mal délimité de la zone du Montenvers – en somme, ne forme plus d'isolat par rapport au reste de la végétation de la vallée de Chamonix). À ces inventaires de la Mer de glace, Payot avait fait celui des Grands Mulets, en 1861, profitant de l'expédition scientifique du Dr Pitschner dans laquelle il avait été recruté comme guide (Payot 1862). Ce cinquième îlot, en dehors de la Mer de glace, présente une singularité géohistorique : celle d'être sur le cheminement des pionniers de l'ascension du mont Blanc et ainsi de présenter d'autres potentielles observations botaniques. Payot cite ainsi l'inventaire réalisé en 1846 par Charles Martins, directeur du jardin botanique de Montpellier et excellent naturaliste (notamment descripteur du campagnol des neiges sous le nom *Arvicola nivalis*). Il s'avère que Martins est également l'auteur du toponyme « aiguille de Saussure » pour désigner un monolithe détaché de la face nord-ouest du Mont Blanc du Tacul. Il le publia en ces termes : « Nous avons ainsi nommé l'aiguille sans nom la plus voisine de la cime du Mont Blanc : elle porte le numéro 55 dans le dessin de la chaîne du Mont-Blanc vue du Breven que donne l'Itinéraire en Suisse de M. Adolphe Joanne » (Martins 1865).

Ces différentes données liées aux Grands Mulets me poussèrent à revisiter les écrits de Horace Bénédicte de Saussure (1779-1796). C'est ainsi qu'émergea un sixième îlot, en amont des Grands Mulets : le Rocher de l'Heureux Retour. Cet îlot rocheux doit en effet son nom à Saussure lui-même qui y fit un bivouac salvateur au retour de son ascension du 3 août 1787. Il prit

même le temps d’y faire une observation botanique (p.258) :

« La plante parfaite, ou à fleurs distinctes, que j’ai rencontrée à la plus grande élévation, c’est le *silene acaulis* ou carnillet moussier. J’en trouvai une touffe fleurie dans une fente du rocher auprès duquel je couchai à mon retour, environ à dix-sept cent quatre-vingts toises au-dessus de la mer⁷² ».

La découverte et l’analyse de ces données d’archives se sont faites au fil des années, de 2010 à 2018. Or s’il est une chose d’ambitionner de retourner sur les pas de Saussure, Payot et Martins, il en est une autre de trouver les conditions favorables. Car pour ne citer que l’exemple des Grands Mulets, les passages de ces trois illustres aînés, tous réalisés au mois d’août, sont aujourd’hui impraticables à une telle période de l’année, sauf prise de risque inconsidérée (crevasses béantes, séracs instables, absence de regel, etc.) Si les Grands Mulets sont encore largement prisés pour réaliser le Mont Blanc à ski, la période propice (mars à début juin) à cette pratique ne l’est pas pour l’observation des plantes, encore largement recouverte par la neige. La difficulté est donc de trouver un compromis entre praticabilité de la montagne et détectabilité des espèces végétales. À cette difficulté notable se combinera celle de vivre à quatre heures de route de Chamonix, rendant la réactivité aux évolutions des conditions assez médiocres. Loin d’être anodine, ces deux paramètres m’obligeront à ajourner le projet de revisite plusieurs années durant. Un changement majeur va s’opérer lorsque ce projet personnel va se transformer en projet collectif. Ainsi, l’ensemble des auteurs de cet article a formé un réseau d’acteurs dont l’assemblage et le fonctionnement social sont précisés sous la forme d’un récit d’expédition dans l’extension de l’article (cf. §5.3).

5.1.1 Éléments synoptiques de l’article

*Titre (FR) : **Trajectoires durant l’Anthropocène des végétations de haute altitude des nunataks du Mont Blanc**

*Revue : *Botany Letters* (2023)

⁷² environ 3380 m a.s.l. m a.s.l.

*Référence de publication : doi.org/10.1080/23818107.2023.2231503

*Contributions des auteurs : Cédric Dentant a eu l'idée originale de cette recherche. Cédric Dentant, Brad Z. Carlson et Sébastien Lavergne ont défini les contours et modalités de l'étude. Nicolas Bartalucci, Sébastien Lavergne and Cédric Dentant ont réalisé les analyses statistiques. Brad Z. Carlson et Arthur Bayle ont réalisé les analyses de télédétection. Cédric Dentant, Brad Z. Carlson et Sébastien Lavergne ont écrit les premières versions du manuscrit. Cédric Dentant, Brad Z. Carlson, Nicolas Bartalucci et Sébastien Lavergne ont réalisé les échantillonnages de terrain. Cédric Dentant a réalisé le travail taxinomique, coordonné et monté l'herbier de référence. L'ensemble du projet a été coordonné par Cédric Dentant et Sébastien Lavergne.

*Résumé (FR) : Le réchauffement climatique entraîne un recul spectaculaire des glaciers et d'intenses changements de végétation dans les régions alpines. Les nunataks de haute altitude, c'est-à-dire des îlots rocheux émergeant des glaciers et abritant les plantes à fleurs très élevées en terme topographique, ne font pas exception à la règle. Pourtant, les conséquences du changement climatique sur la végétation des nunataks restent relativement inexplorées. Nous présentons ici les résultats d'une nouvelle visite d'études historiques sur les plantes sur six nunataks situés entre 2180 m et 3509 m d'altitude, au milieu des glaciers du massif du Mont-Blanc (France). Nous avons comparé les relevés de végétation effectués en 2020 à ceux réalisés 150 ans auparavant, et avons effectué des analyses de télédétection pour décrire les changements dans la productivité de la végétation au cours des dernières décennies. Nous avons constaté une augmentation de la richesse en espèces végétales pour les nunataks les plus bas et les moins isolés, phénomène qui a contribué à un signal fort de verdissement de la végétation au cours des 35 dernières années. Cette tendance est due à la migration vers le haut des espèces compétitives, mais aussi à la colonisation de microsites récemment déglacés par des espèces provenant de zones voisines. Nous soulignons également des trajectoires écologiques frappantes qui ont été peu discutées jusqu'à présent, telles que la stabilité de la composition des nunataks les plus élevés et les plus isolés, une augmentation des espèces végétales associées à la couverture neigeuse non permanente et à l'écoulement de l'eau, et enfin un accroissement des graminoides à basse altitude et des phanérophytes à plus haute altitude.

Nous soutenons que les changements de la végétation des nunataks ne sont pas dus à la seule migration vers le haut d'espèces compétitives, et que le suivi des changements écologiques sur de larges gradients d'altitude est nécessaire pour mieux comprendre la transformation rapide des paysages alpins.

5.2 Article

Anthropocene trajectories of high alpine vegetation on Mont-Blanc nunataks

Cédric Dentant^{1,2}, Brad Z. Carlson³, Nicolas Bartalucci⁴, Arthur Bayle⁵ & Sébastien Lavergne^{5,6}

¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Sciences Po Grenoble, Pacte, 38000 Grenoble, France

² Parc national des Écrins, Domaine de Charance, 05000 Gap, France

³ Centre de Recherches sur les Écosystèmes d'Altitude (CREA), 74000 Chamonix, France

⁴ 25 deuxième impasse des Garennes, 63800 Cournon d'Auvergne, France

⁵ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LECA, 38000 Grenoble, France

⁶ Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, LTSER France, Zone Atelier Alpes, 38000 Grenoble, France

Abstract

Climate warming causes dramatic glacier retreat and intense vegetation changes in alpine regions. High-elevation nunataks, that is bedrock islands protruding from glaciers with uppermost flowering plants, are no exception. Yet the consequences of climate change on nunatak vegetation remain relatively unexplored. Here we report findings from a re-visit of

historical plant surveys carried out on six nunataks situated between 2180 m a.s.l. and 3509 m a.s.l. amidst the glaciers of the Mont-Blanc range (France). We compared vegetation surveys conducted in 2020 to those made 150 years before, and performed remote sensing analyses to depict changes in vegetation productivity during recent decades. We report an increase in plant species richness for the lowest and least isolated nunataks, which contributed to a strong signal of vegetation greening over the last 35 years. This trend was due to the upward migration of competitive species, but also due to species colonization from neighboring high alpine areas into recently unglaciated microsites. We also highlight striking ecological trajectories that have been little discussed so far, such as stable vegetation composition in the highest and most isolated nunataks, an increase of plant species associated with non-permanent snow-cover and water run-off, an increase of graminoids at lower elevations, and of phanerophytes at higher elevations. We argue that high alpine vegetation changes are not driven by the sole upward migration of lowland competitive species, and that careful monitoring of ongoing ecological changes over broad elevation gradients is necessary to better understand the rapid transformation of high alpine landscapes.

Keywords : historical botany, high alpine sky-islands, extreme environments, colonization-extinction dynamics, range shifts, Mont-Blanc range

Introduction

The accelerating retreat of glaciers at the global scale is a spectacular illustration of Anthropocene impacts on mountain environments, with an estimated 50% decline in glacier extent in the French Alps since the end of the Little Ice Age in the mid-19th century (Gardent et al. 2014). However, our understanding of the responses of high mountain vegetation to Anthropocene warming remains limited and much less documented than the effects on the cryosphere. High alpine vegetation changes can be investigated through the study of high

elevation nunataks (e.g. Vittoz et al. 2008). These isolated bedrock islands protruding from glaciers constitute well delimited geomorphological features that are typical of polar and alpine regions. They harbor the most extreme environments where angiosperm plants can thrive (Pauli & Halloy 2019; Marx et al. 2017; Dentant 2018), particularly at the uppermost elevations of the European Alps (Körner 2011; Boucher et al. 2021). Unsurprisingly, global warming has been impacting the vegetation of temperate mountains with many reported consequences, including: (i) upward colonization of lower elevated thermophilous species (Gottfried et al. 2012), (ii) increasing species richness on summits (Steinbauer et al. 2018), and (iii) increasing vegetation productivity and biomass (Carlson et al. 2017; Choler et al. 2021; Rumpf et al. 2022). These changes are expected to become particularly intense towards higher elevations where climate change is the most pronounced (Steinbauer et al. 2018), particularly in regions where warming is amplified towards greater elevations (Wang et al. 2014; Mountain Research Initiative EDW Working Group 2015).

Despite the complexity highlighted by numerous authors regarding the response of alpine vegetation to climatic changes (Kammer et al. 2007; Choler 2018; Mamantov et al. 2021), the hypothesis of a generalized upward migration of plants due to increasing temperatures has been broadly championed in both the scientific literature and by the press. This Anthropocene upward migration hypothesis has become widely accepted mostly due to its intuitiveness to a large audience, rendering other plausible hypotheses less audible, including: (i) the re-colonization of plants from neighboring summits following the Little Ice Age (Kammer et al. 2007) through dispersal of local species onto other nunataks or recently deglaciated areas, and (ii) the influence of microclimatic refugia and available substrate on plant persistence through time due to dramatic hillside effects (Randin et al. 2009; Patsiou et al. 2014; Kulonen et al. 2018), which preserve suitable micro-habitats and mimic pre-Anthropocene climates across short distances. It is important to note that these two potential mechanisms are not mutually exclusive and imply dispersal between areas of equivalent or even higher elevations, and not only from lower elevations.

Determining which ecological mechanisms drive high alpine vegetation changes at local scale is not easy. These changes indeed depend on how local habitat heterogeneity is being transformed by geomorphological changes due to glacier retreat, soil formation, water runoff, and local snow dynamics (Campbell 2019; Rahbek et al. 2019; Khedim et al. 2020;

Muhlfeld et al. 2020). The examination of species traits can help unravel these rather complex processes of vegetation changes (Choler 2005). In temperate high alpine areas, some studies have indeed documented an increased dominance of woody and graminoid plants, as well as species with strategies of rapid resource acquisition and with animal-dependent dispersal (Rumpf et al. 2018; Matteodo et al. 2013). Some of these patterns may be consistent with the expected upward migration of lowland adapted species, and with the increased productivity of high alpine vegetation (i.e. so-called “greening”) as captured by satellite imagery (Carlson et al. 2017; Choler et al. 2021; Rumpf et al. 2022; Bayle et al. 2023). However, we also hypothesize that the local diversification of micro-scale ecological niches may drive patterns of increased plant diversity at high elevations, for instance due to the emergence and persistence of moist or snow-beds habitats (Muhlfeld et al. 2020).

Enabled by the efforts of botanists during years past, re-surveying historical observations today provides a straightforward and informative approach for monitoring vegetation changes over time, and to investigate the processes underlying these changes, such as upward migration and/or re-colonization. In a seminal piece of work, Wipf et al. (2013) compiled available botanical records beginning in 1835, and carried out repeated surveys during recent years, in order to demonstrate an acceleration in the accumulation of plant species on a Swiss mountain top (Piz Linard) above 3000 m since the 1990s, a temporal pattern now demonstrated across European mountains (Steinbauer et al. 2018). In addition to elucidating the response of plant species to environmental changes, this “historical ecology” approach provides continuity between botanists and plant ecologists today and their predecessors, both in terms of fundamental questions and methodology (Stöckli et al. 2012). This continuity is also a powerful source of motivation for ecologists today to continue carrying out challenging fieldwork in remote areas, even if sources of inspiration are seldom acknowledged in the scientific literature (Gabillet et al. 2020).

Here, we present the results of a historical botany study conducted in the Mont-Blanc massif near Chamonix, France. In order to compare present-day plant communities with botanical data published about 150 years ago (from 1854 to 1868) by the naturalist Venance Payot, we resurveyed the vegetation growing on six nunataks located among Mont-Blanc’s

glaciers and distributed along an elevation gradient from 2160 m a.s.l. to 3509 m a.s.l. (Figure 17; Payot 1854, 1862, 1868). We applied a historical botany approach to quantify long-term trajectories of high mountain plant assemblages by comparing vegetation surveys on these nunataks between 1868 and 2020. We quantified changes in species occurrences and biological traits: (i) Raunkiaer's life forms in order to seek a signal of upward migration of shrubs and/or trees, (ii) Grime's ecological strategies to test whether "winners" were more likely to be competitors (C strategy) rather than stress tolerant species (S strategy), and (iii) dispersal traits to assess whether particular dispersal mechanisms were predominantly influencing vegetation changes.

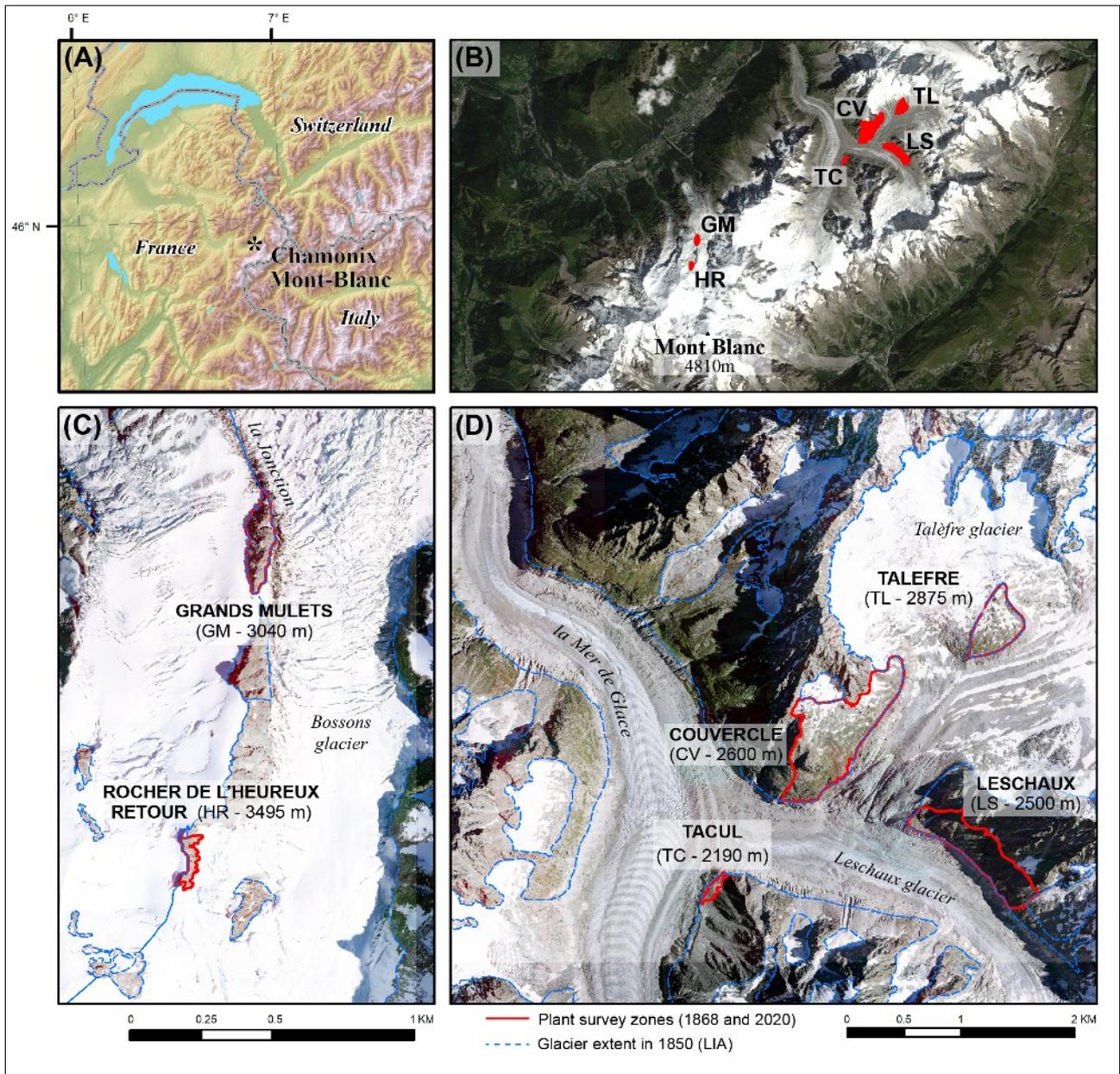


Figure 17. Map of study nunataks (red line contours) with Little Ice Age glacier extent (dashed blue line contours), within the Mont Blanc range. Given elevation for each site is the median. We chose to focus on the locations visited in 1868 and excluded recent surfaces freed up by glacier retreat, to avoid biases in the comparison of vegetation composition between the study dates.

In order to complement floristic surveys and connect long-term (1868-2020) plant trajectories with more recent changes in vegetation productivity, we also utilized the available Landsat satellite archive to test whether observed changes in vegetation structure (i.e. species richness, beta diversity, composition) are reflected by increases in the Normalized Difference

Vegetation Index (NDVI), i.e. vegetation greening on study nunataks, measured between 1985 and 2020. We hypothesized that correlations between long-term floristic changes over the last 150 years and greening trends observed during the past 35 years could suggest a recent acceleration in vegetation changes occurring in association with accelerated climate warming. We also hypothesized that observed greening trends would be particularly strong in the context of snowbed habitats characterized by the presence of permanent summer snow fields in aerial photographs from the 1980s, when high elevation sites in the French Alps were characterized by both colder air temperatures and longer lasting snow cover duration (Dedieu et al. 2016).

Material and methods

Sites

The study nunataks are six islets of rock and vegetation protruding from glaciers (Figure 17), namely: Tacul (TC, 2190 m a.s.l.); Leschaux (LS, 2500 m a.s.l.); Couvercle (CV, 2600 m a.s.l.); Talèfre (TL, 2785 m a.s.l.); Grands Mulets (GM, 3040 m a.s.l.) and Rocher de l'Heureux Retour (HR, 3495 m a.s.l.) (given elevations are the median values). In the following work, we will sometimes make a distinction between higher nunataks (TL, GM, HR) and lower ones (TC, LS, CV), as our field experience suggests that these two groups experience distinct vegetation dynamics (Figure 17.C, 17.D). All study nunataks are dominated by granite or gneiss bedrock, except TL, which is a former glacial lake (Figure 18), and is now made of moraine material (locally derived from the erosion of granite) and includes layers of kame. Overall slope aspect, in addition to micro-topographic heterogeneity, for the study nunataks is variable (south for CV, north for GM) but all sites are characterized by long-lasting seasonal snow cover and abrupt nearby topography limiting sun exposure.



Figure 18. Geomorphological changes of the Tacul nunatak (TC) through the Anthropocene. View from the CV nunatak painted in 1820 by Jean Antoine Linck (left) and picture taken in 2020 during our expedition (photo C. Dentant). This nunatak has evolved from a glacial lake, with relatively easy access, to an alpine lawn and heath atop a high, unstable moraine.

Glacier retreat has dramatically changed the access to all nunataks since the end of the Little Ice Age (LIA). While the access to the GM and HR already required alpinism techniques in the 1860s to safely cross crevasses, reaching the four sites in the Mer de Glace glacier (TC, CV, LS, TL) have become substantially more challenging over recent years (Mourey & Ravanel 2017): hundreds of meters of steep ladders or unstable moraine, and increasing rock debris on glacier surfaces. Also due to recent glacier retreat, study nunataks, especially below 3000 m a.s.l., have increased in land area. The comparison of historical surveys to contemporary ones is subject to many pitfalls and comparison biases, including potential mismatch between historical and contemporary survey locations (Stöckli et al. 2012; Moret et al. 2019). To limit such bias, we used all available geographical information provided by Payot in his field reports and compiled his published sources to delineate the estimated surfaces of the nunataks in the 1860's (Payot 1854, 1862, 1868; Figure 17.D). We also included the spatial delimitation of glacier extent during the end of the LIA produced by Gardent (2014). We thoroughly re-surveyed these areas in 2020, with some adjacent, recently unglaciated areas which were surveyed in addition (blue dashed lines, Figure 17.D). However, we did not include these additional data

in the statistical analysis to maintain strict geographical comparison with Payot's explorations.

Floristic data and analysis (1868-2020)

Plant field surveys

Historical data consisted of plant species lists established by the naturalist and mountain guide Venance Payot between 1854 and 1868, when he published his last synthesis entitled “*îlots de la Mer de Glace*” (i.e. « Islets of the Mer de Glace »; Payot 1854, 1868). For the GM nunatak, Payot published a single list in 1862, combining his 1861 survey performed during William Pitchner's expedition for the Prussian emperor with another species list established by Charles Martins in 1846 (Payot 1862). For the HR nunatak, we only had the observation made by Horace Bénédict de Saussure following his ascent of Mont Blanc in 1787 (Saussure 1779-1796). Given the lack of subsequent observations during Payot's period of activity, we decided to combine this 1787 observation with Payot's 1868 list, thereby assuming that the HR did not change in its botanical composition between 1787 and 1868. We consider this choice to be acceptable considering the period being included in the LIA, with persistently cold climatic conditions limiting plant colonization (Protin et al. 2019).

Payot listed both vascular and non-vascular plants, but we decided to focus our study on tracheophytes, yielding a list of 144 taxa recorded in 1868. This list was harmonized in light of the numerous advances in plant taxonomy since the nineteenth century (see Table Sx1) for a complete species list). We returned to the GM and HR nunataks on June 2nd and 3rd, 2020, and to the CV, LS, TL and TC nunataks from July 20th to 24th, 2020. We – four observers – spent at least 6 hours of investigation on each nunatak, stopping our relevés after more than 1 hour without any new species to be listed, thereby ensuring near-exhaustivity. Plant specimens were collected for potential further taxonomic verifications as well as for herbarium records, i.e. field proofs (see Table Sx2 for herbarium samples). A total of 186 taxa were recorded during the 2020 campaign, giving an overall dataset of 201 taxa for both dates.

We generated lists of observed species for each nunatak and also carried out 65 geolocalized vegetation surveys across the different sites in order to facilitate future resurveying efforts.

Our sampling strategy clearly differs from Payot's approach: each of our exhaustive surveys lasted up to 12 hours on each nunatak, while by contrast Payot synthesized over 20 years of botanical observations made during various excursions, mostly carried out alone. His observations certainly resulted from locally exhaustive surveys but also perhaps sometimes from punctual observations. It is important to note that given the objective risks resulting from rapid climate change, glacier retreat and meteorological uncertainty in our study area, some nunataks can only be visited during a very narrow time-window each year and cannot be visited several times. Also, safety constraints in high mountain environments do not allow different observers to perform separate vegetation surveys and to use these as distinct sets of observations, as suggested by some authors (e.g. Stöckli et al. 2012). Nevertheless, as both our approach and the one of Payot enable an exhaustive picture of predominantly long-lived perennial high alpine vegetation (only a couple of plant species are annual), we consider that our modern surveys can be safely compared to Payot's observations.

Changes in vegetation composition

As Payot's data did not provide any indications of local species abundance, our reference dataset consisted of 201 distinct taxa, which were coded as present (1) or absent (0) for each nunatak (TC, LS, CV, TL, GM, HR) and for each date (1868, 2020). This coding allowed the definition of three types of trajectories between study dates: "winners", for species gaining at least one nunatak; "stable", for species occupying the same number of nunataks; and "losers", for species losing at least one nunatak. To highlight and analyze species showing particularly strong colonization trends, we defined and listed "grand winners" as species that have colonized at least three nunataks from 1868 to 2020. There is no equivalence for losers (i.e. « grand losers ») because no species disappeared from more than two nunataks: 25 disappeared from one nunatak and only two species disappeared from two nunataks.

We tested whether plant species richness occurring on each nunatak increased between 1868 and 2020. As our data could not be assumed to be normally distributed, we performed a one-tailed Wilcoxon signed-rank test to assess whether species richness remained constant (H_0) over the study period or increased (H_1). It is important to note that recent literature on the evolution of summit flora (e.g. Steinbauer et al. 2018) strongly motivates the expectation that species richness should also increase in our study nunataks; hence we applied a one-tailed test.

We also quantified turnover in vegetation composition for each nunatak by estimating the temporal beta diversity of species composition between 1868 and 2020. To do so, we used the approach of Baselga (2010, 2013), which enables partitioning beta diversity between its two components *nestedness* and *turnover*. The *nestedness* component corresponds to species loss or colonization within a nunatak, whereby vegetation composition for one date is nested within the composition of the other date. In contrast, the *turnover* component describes the process of species replacement within a single nunatak between the two study dates. This analysis was performed using the ‘betapart’ package in R (Baselga & Orme 2012).

Plant functional traits

We extracted functional trait values for listed taxa using the ANDROSACE database (<https://originalps.osug.fr/>), which is based on a combination of *in situ* trait measurements throughout the French Alps and trait values extracted from the literature. We selected the following traits: (i) Raunkiaer’s life form (5 categories: *therophyte*, *phanerophyte*, *hemicryptophyte*, *geophyte*, *chamaephyte*), (ii) Grime’s ecological strategies (CRS split into 4 categories: *CC*, *RR*, *SS*, *CRS*); (iii) dispersal agent (5 categories: *wind*, *water*, *vertebrates*, *mechanic*, *ants*). We subsequently tested whether these traits drove species dynamics across study nunataks between 1868 and 2020. To do so, we performed Fisher exact tests on contingency tables, considering species temporal dynamics (winner, stable, loser) as columns and trait categories as rows. Since several trait values were sometimes possible for certain species, all analyses were bootstrapped 999 times by randomly drawing traits for the species having several possible trait values. We report the mean p-values in the results below.

Remote sensing analysis (1985-2020)

Landsat imagery and greening trend estimation

We downloaded images from the Landsat Collection 1 (<https://earthexplorer.usgs.gov>) for all available dates from 1985 to 2020 between June 1st and August 31st at surface reflectance level for the following satellites: Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper + (ETM+) and Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). We utilized only images with less than 80% of cloud cover and high geolocation accuracy (geolocation error < 12 m). To enable robust comparison across dates and sensors, we corrected for inter-sensor calibration issues and Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) effects using the methods described in Roy et al. (2016a) and Roy et al. (2016b), respectively. We corrected for slope and aspect effects on reflectance using the Sun-Canopy-Sensor + C model (Soenen et al. 2005) following parameter recommendations from Sola et al. (2016). Slope and aspect were derived from the 25 m EU-DEM resampled to the 30 m Landsat resolution. Clouds and cloud shadows were removed using the Mountainous Fmask (MFmask) version 4.0 (Qiu et al. 2019), which is essential in high elevation studies where soil temperature tends to be similar to cloud temperature thus limiting the performance of broadly used cloud masks. In addition, we manually masked a small portion of the GM site as it was exposed to shadows shown by a very high-resolution image captured at the same hour as Landsat scenes (around 9:45 a.m.).

For each scene, we computed the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) based on the red and near infra-red bands (Tucker 1979). We computed the annual maximum NDVI (NDVImax) for each year and pixel as a proxy of plant canopy productivity and quantified temporal trends in NDVImax for each site (Table Sx3). As shown by Berner et al. (2020), it is challenging to reliably estimate annual NDVImax using Landsat since these estimates are sensitive to the number of cloud- and snow-free observations acquired each summer. The annual number of usable summer observations increased from 1984 to 2020, with typically few usable summer observations during the 1980s and 1990s (Zhang et al.

2022). This bias results in a systematic underestimation of NDVImax when few observations are available (Figure Sx1), leading to spurious trends throughout the Landsat period. Nonetheless, estimates of NDVImax increase asymptotically with little to new differences with more than 3 observations (Figure Sx2). To limit the bias impact, we first identified years with detected vegetation based on common threshold (Bayle et al. 2023). Then we removed years with vegetation and less than three observations from the greening trends estimation as they tend to be unreliable (Figure Sx1).

We computed linear models based on Theil-Sen single median slope regression using the ‘mblm’ R package (Komsta & Komsta 2013). The Theil-Sen estimator of the linear trend is much less sensitive to outliers than the least squares estimator. We used the non-parametric, rank based, Mann-Kendall (MK) monotonic test to assess the significance of NDVImax time-series trends using the ‘trend’ R package (Pohlert 2018).

Greening in snowbed habitats

We downloaded a scanned version of an aerial photograph covering the Mer de Glace portion of the study area from the French National Institute of Geographic and Forest Information data portal (<https://www.geoportail.gouv.fr/>), acquired on September 3rd, 1980. After orthorectifying the photograph using spline transformation in ArcGIS version 10.3.1, the resulting image had a ground resolution of 50 cm. We proceeded to digitize snowfields present within nunatak boundaries based on visual photo interpretation. We restricted our analysis to isolated snowfields surrounded by rocky and vegetated areas in the 1980 photograph, and did not include large continuous snowfields or glaciers present at the summit of the Couvercle and Talèfre nunataks. The resulting dataset of 94 polygons allowed us to subsequently test for differences between overall greening trends for each nunatak and greening trends within former snowfields, using a non-parametric Kruskal-Wallis test.

Results

Changes in vegetation composition

Overall we observed a significant increase in plant species richness occurring on study nunataks in 2020 compared to 1868 (Wilcoxon signed-rank test, $p < 0.01$; Figure 19).

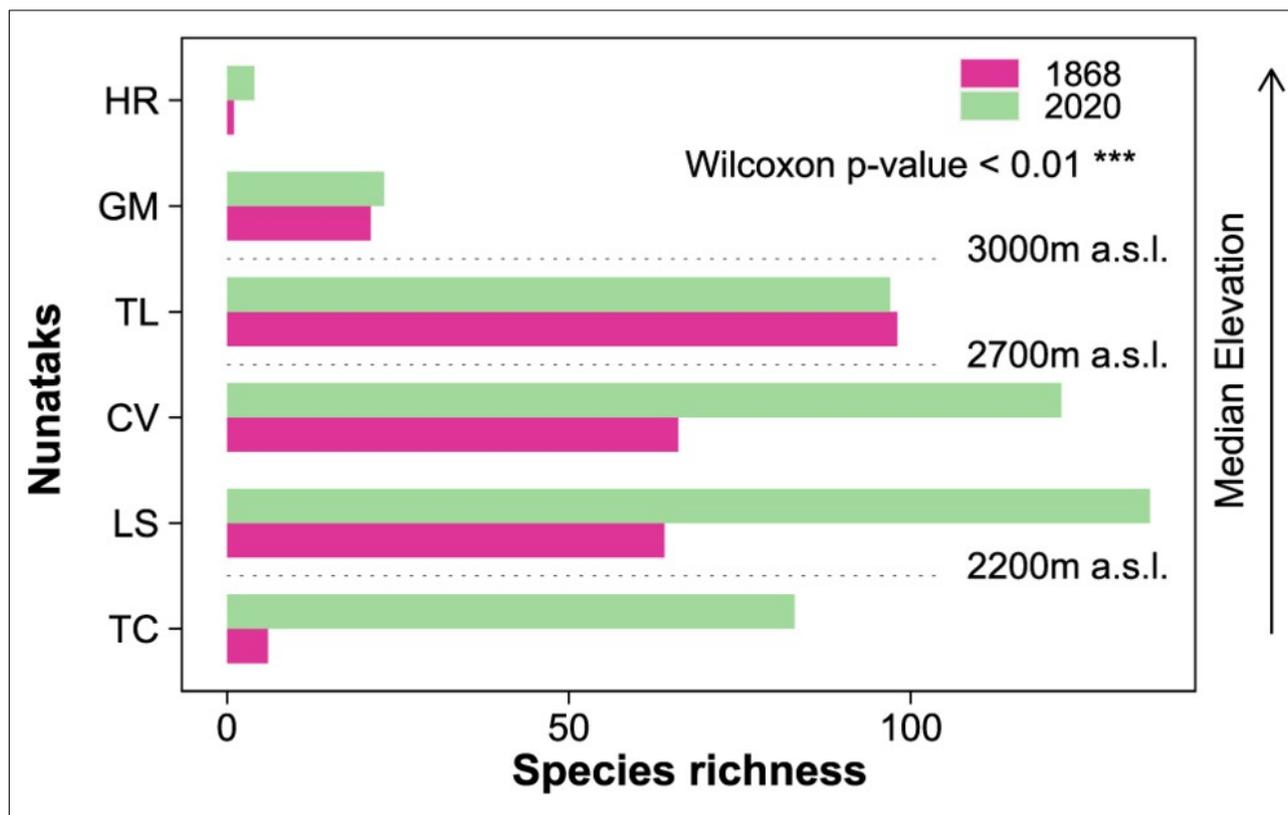


Figure 19. Observed changes in plant species richness in all study nunataks. Nunataks are ordered from the lowest elevation (TC, at the bottom) to the uppermost elevation (HR, at the top).

In terms of species-specific temporal dynamics, we found that the “grand winners” consisted of 20 species gaining three or more nunataks (Figure 20), among which five different groups emerge: (i) two *Vaccinium* species which showed a signal of massive colonization, increasing from zero (or one) to four nunataks (*V. myrtillus*, *V. uliginosum microphyllum*, respectively) during the study period; (ii) three fern species (*Dryopteris filix-mas*, *Athyrium distentifolium*, *Cryptogramma crispera*); (iii) three phanerophytes (*Salix helvetica*, *Salix appendiculata*, *Juniperus communis nana*) which were either absent in 1868

(*Salix* spp.) or present only in LS (*Juniperus*), and colonized the 3 surrounding nunataks over the study period (TC, CV and TL). *Juniperus communis nana* currently forms extensive heaths over large surfaces in CV; (iv) *Salix herbacea*, which shows a similar increase in frequency than *Juniperus communis nana* and aforementioned *Salix* spp., but in a completely different context, i.e. concave snowbed topography; (v) graminoid species typical of alpine grasslands, such as *Agrostis schraderiana*, *Carex sempervirens* or *Phleum alpinum*, which also drastically increased across study nunataks.

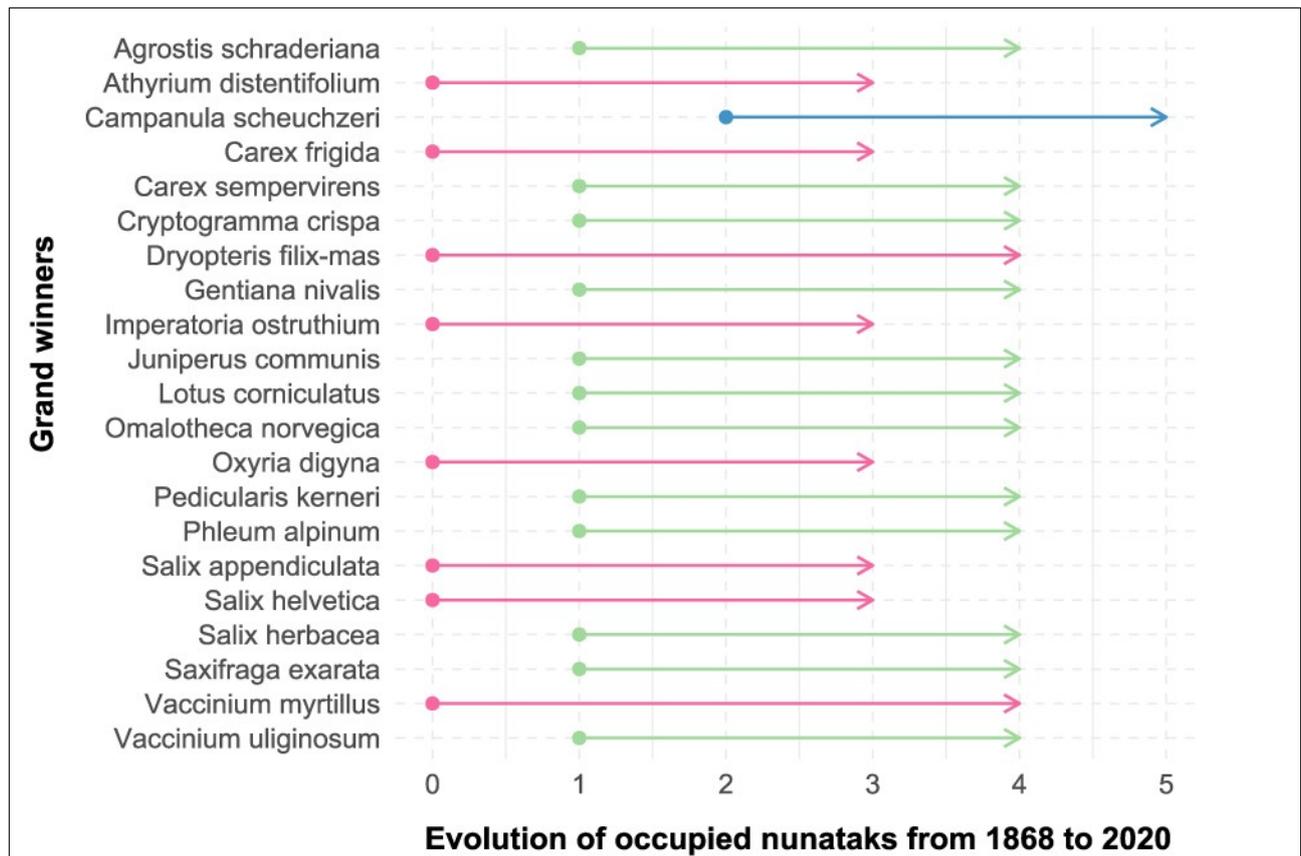


Figure 20. Species showing the most striking increasing trends among study nunataks (“grand winners”), that is species absent or rare in 1868 that have colonized more than three nunataks in 2020.

When focusing on the 32 initially frequent species in 1868 (i.e. initially occupying at least 3 nunataks, Table Sx1), we found that their occurrence frequencies generally increased, even slightly. While only three of these species decreased in frequency, twelve and eight species now occur on four and five nunataks, respectively. *Silene acaulis bryoides* constitutes a very unique case in our data: it was the only species present in all nunataks during the entire study period.

The different nunataks showed highly divergent temporal changes in vegetation composition, as captured by estimates of temporal beta diversity that are presented in Table 1. The TC nunatak, which is the lowest study site and a former glacial lake (Figure 18), showed a massive shift in plant composition due to the strongest temporal species turnover among all study sites, while GM showed the most stable plant assemblage over time. The temporal beta diversity of the HR nunatak was mostly linked to nestedness dynamics, due to the mere colonization of three species in addition to the only one present in the 1868 survey (i.e. *Silene acaulis bryoides*). Contrary to HR, the TL nunatak showed very stable species richness between 1868 and 2020 (97 vs 98 species), though with temporal beta diversity driven by species turnover, due to many species replacements between the two study dates: 23 species disappeared since 1868 while 22 new species were recorded at this nunatak in 2020. Finally, the LS and CV nunataks had comparable and balanced turnover and nestedness components, yielding overall moderate temporal beta diversity estimates.

Nunatak	Turnover	Nestedness	Total beta diversity
HR	0.00	0.75	0.75
GM	0.09	0.076	0.17
TC	0.38	0.00	0.38
CV	0.31	0.29	0.59
LS	0.32	0.33	0.65
TL	0.67	0.30	0.97

Table 1. Estimators of temporal beta diversity, i.e. plant diversity turnover between 1868 and 2020, for each study nunatak. Estimates of beta diversity were partitioned between species turnover (species replacement) and species nestedness (local colonization or local extinction).

Plant trait analysis

Life form

The hemicryptophyte life form was by far the most dominant life form in all study sites, followed by chamaephytes, geophytes, phanerophytes and therophytes. We found that hemicryptophytes tended to be over-represented among winner species relative to other

temporal dynamics categories in the lower nunataks TC, LS and CV (Figure 21.A1). However, hemicryptophytes tended to be more stable or declining species in the upper nunataks TL, GM and HR (Figure 21.A2). Another significant trend concerned phanerophytes and geophytes that were over-represented among winners in the three uppermost nunataks (Figure 21.A2).

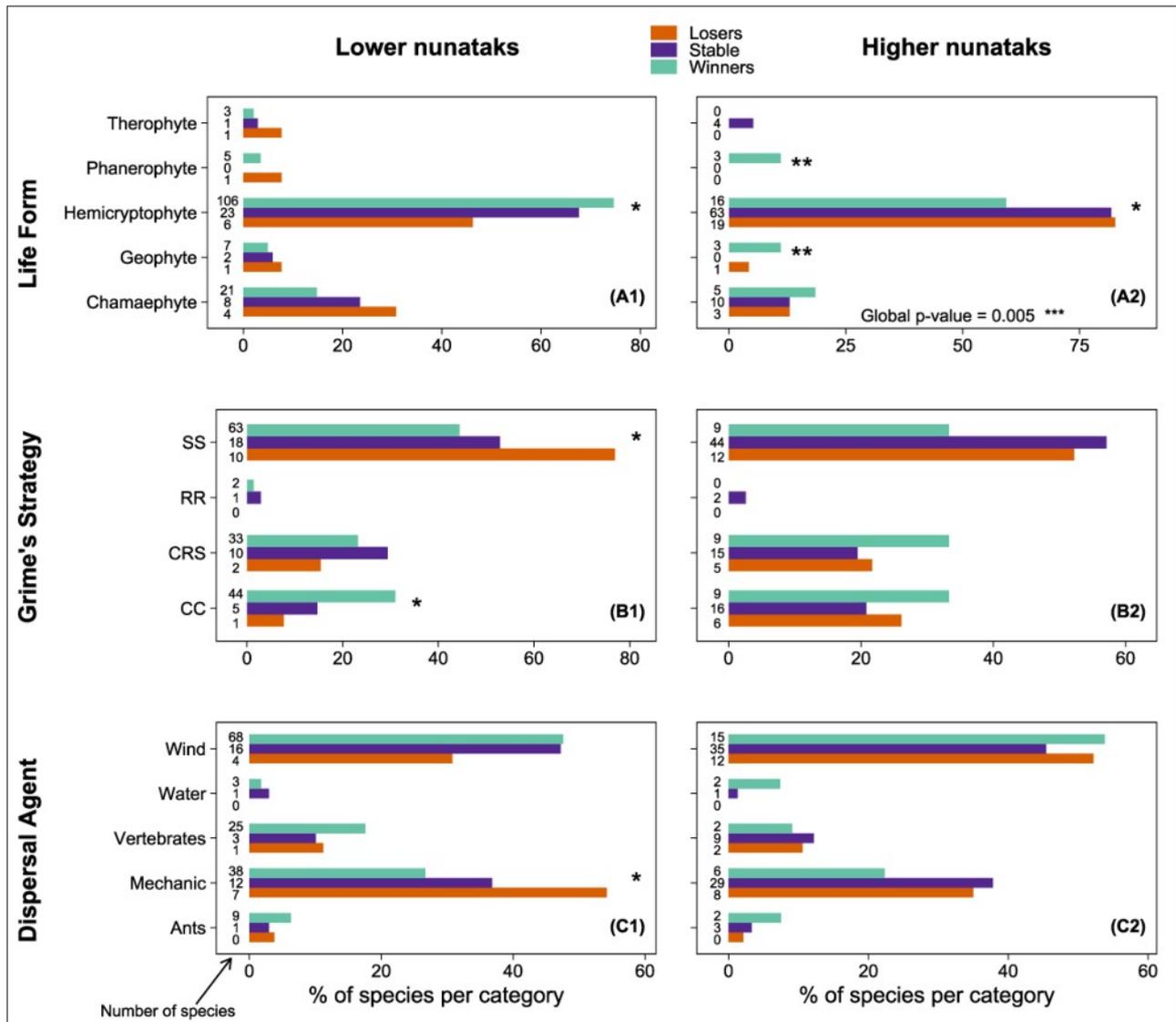


Figure 21. Contingency tables of species traits and classes of temporal dynamics, for lower nunataks (A1, B1, C1) and upper nunataks (A2, B2, C2). P-values from Fisher exact tests are reported when significant (p-value<0.1 *, p-value<0.05 **).

Grime's strategies

As expected, most study species were classified as stress-tolerant (SS), followed by the ones with mixed or competitor strategies (CRS, CC, respectively), while ruderal species (RR) were very rare. We detected that stress-tolerant species (SS) were over-represented among declining species (Figure 21.B1), while competitive species (CC) tend to be colonizing, two trends that were particularly significant for lower nunataks (Figure 21.B1). Note that the decline of stress tolerant species was also found to be significant when all nunataks were analyzed together (p-value = 0.017, Figure Sx3.B). The vegetation composition of higher nunataks regarding Grime's strategies remained significantly unchanged from 1868 to 2020 (Figure 21.B2).

Dispersal mechanisms

Across all study sites, vegetation composition was dominated by species with propagules showing adaptation for wind or mechanical dispersal, while vertebrate-, ant- and water-dispersed vectors were less common. We found that species which declined over the study period tended to be dispersed mechanically, a trend that was confirmed for all nunataks (p-value = 0.037, Figure Sx3.C) but particularly salient in the case of lower nunataks (Figure 21.C1, C2). Winner species displayed a wide range of dispersal strategies.

Greening trends on nunataks

Observed greening trends were strongly structured by the elevation gradient of studied nunataks, with the highest initial plant cover and fastest greening occurring at the low elevation site (TC; Figures Sx4, Sx5). Although the CV, LS and TL nunataks were already characterized by important plant cover in 1985 (with mean NDVI_{max} values ranging from 0.15 to 0.25), we observed pronounced greening in these sites over the last 35 years with significant positive slope values with respect to the Mann-Kendall test (Figures Sx4, Sx5). Landsat pixels covering the GM and HR sites did not detect plant cover either in 1985 or 2020, with NDVI_{max} values close to zero and no significant observed greening trend.

We observed particularly strong greening dynamics in the context of summer snowfield habitats as compared to overall greening observed at the scale of nunataks (Figure 22). Me-

dian greening for pixels outside of snowfields for TC, LS, CV and TL nunataks was $0.0020 \text{ NDVI}_{\text{max}} \text{ year}^{-1}$, compared to 0.0028 for pixels covering summer snowfields identified in 1980. The difference in greening slope values between snowbed ($N = 77$) and non-snowbed pixels ($N = 1167$) was highly significant (Kruskal-Wallis chi-squared value = 18.04, p -value < 0.0001).

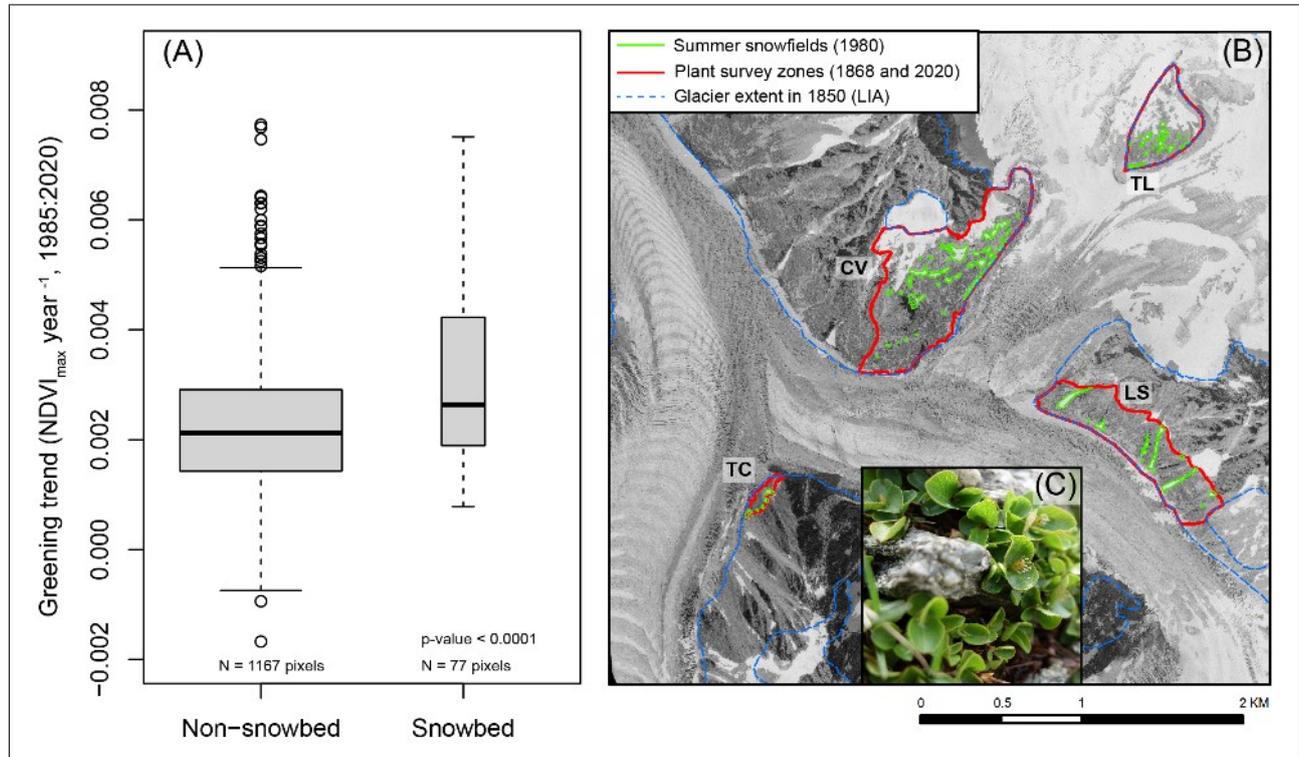


Figure 22. (A) Boxplots of greening trend values extracted for 30x30 m Landsat pixels within identified snowbed habitats ("Snowbed") and for the pixels covering non-snowbed habitat within nunataks ("Non-snowbed"). The width of boxplots is proportional to the number of pixels available for each class. (B) An aerial photograph acquired on September 3rd, 1980, which was used to identify the spatial distribution of summer snowfields (shown in green). The observed greening trend in these contexts suggests that some of these snowfields have receded and melted since the 1980s, and have since been colonized by snowbed vegetation. (C) A photograph of dwarf willow (*Salix herbacea*), which is a dominant snowbed species structuring these emerging plant communities (photo : C. Dentant).

When crossing floristic data with remote sensing observations, we unraveled an interesting pattern: the study nunataks where recent greening has been the most intense were also the ones where vegetation has experienced the largest increases in species richness (Figure 23A) and composition turnover between 1868 and 2020 (Figure 23B). Overall, we found noticeable correlations between greening observed during the last 35 years and longer-term changes in vegetation composition observed during the last 150 years.

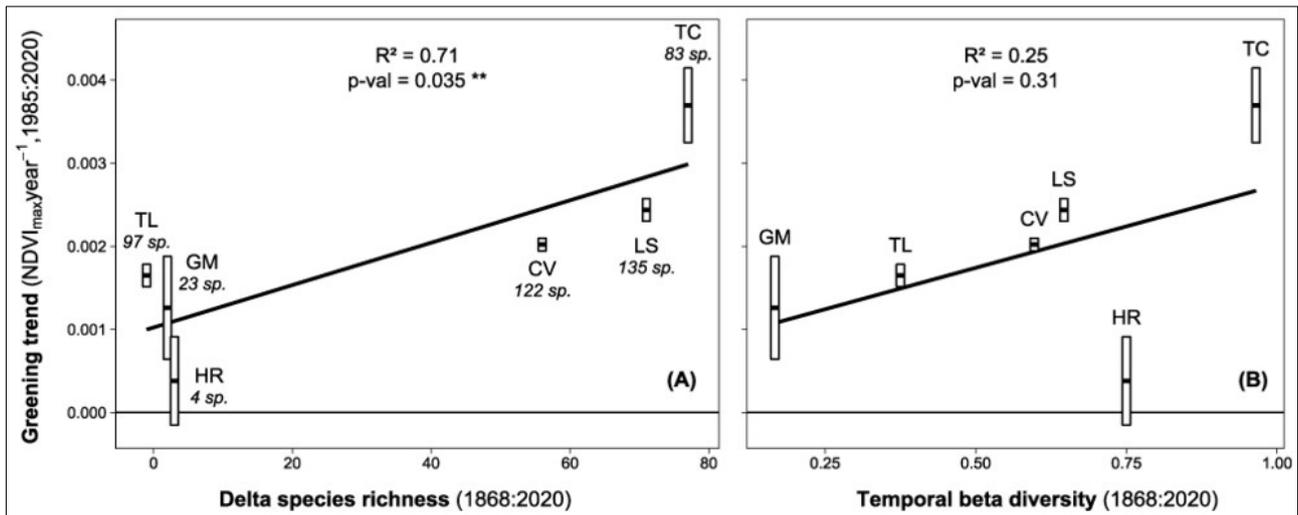


Figure 23. Greening trend ($\Delta\text{NDVI}>0$) vs Δ species richness (A) and temporal beta diversity (B) ($p\text{-value}<0.1$ *, $p\text{-value}<0.05$ **). The species richness in 2020 is given for each nunatak.

Discussion

Studies of historical botany in high alpine environments remain relatively rare and absent from most mountain ranges of the world. With the notable exception of Steinbauer et al. (2018), most published studies (Kammer et al. 2007; Wipf et al. 2013; Sklenář et al. 2021) did not use sophisticated statistical analyses because of the low number of available study sites. With six nunataks to compare, we encountered similar constraints, but despite this limitation, our study proposes a novel combination of remote sensing and quantitative vegetation ecology. Well aware that inferring changes in species abundance from comparing diachronic surveys can be biased by uneven sampling effort between study dates (Lavergne et al. 2006), we consider that our data allows us to draw firm conclusions regarding the temporal dynamics of particular species by comparing their prevalence across study nunataks between 1868 and 2020. Our results provide compelling evidence of vegetation changes occurring in some of the highest vegetated sites in Europe, and corroborate vegetation dynamics that have been highlighted in other mountain environments. Furthermore, our findings show that local sites may have experienced very heterogeneous ecological dynamics since the beginning of the Anthropocene (mid-1800s) and that upward plant migration is not the only process underlying contemporary vegetation changes at high elevation.

Species enrichment and greening of nunataks

A remarkable trajectory is the significant increase in species richness and vegetation cover contributing to alpine “greening” (Figure 23A) with plant communities experiencing both species turnover and colonization. It is important to note that this trend was mostly driven by the lower nunataks (TC, LS and CV), which showed the largest increases of both species richness over the past 150 years and vegetation NDVI_{max} over the past 35 years. This trend of increasing vegetation diversity and productivity was driven by (i) species already occupying at least two nunataks in 1868, which have spread to new nunataks in 2020 (Table Sx1), and also by (ii) species originally absent from the study area, which have colonized three or more nunataks since 1868 (Figure 20). The strong trend of increased species enrichment that we observed here aligns with observations carried out on other mountain tops throughout the European Alps (Wipf et al. 2013; Steinbauer et al. 2018). We attribute the spectacular increase in species richness to a combination of upward migration and colonization from surrounding high elevation habitats.

Our results show that observed vegetation dynamics may be linked to particular species groups. The statistically significant increase of many species characterized as competitive species appears as a primary driver of vegetation greening, as these species typically have larger rates of biomass production. Some of these species are “grand winners”, that is are largely distributed across high-alpine nunataks nowadays, in our study sites but also elsewhere (Vittoz et al. 2008): *Salix helvetica*, *Salix appendiculata*, *Juniperus communis nana*, *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium uliginosum microphyllum*. Among the many increasing competitive shrubs and trees, we found only one deciduous tree species in the whole study area (*Betula pendula*). This species occurs in one of the lower nunataks (CV), and suggests an increasingly favorable habitat even for larger woody species. Although anecdotal, this observation could indicate a potential trend that should be monitored over the next decades. Upward migration of many competitive species is thus congruent with the overall climate warming trend documented since the end of the Little Ice Age (Rubel et al. 2017). Study sites that were previously dominated by mineral surfaces (snow, ice or rocks) have turned “green” since then, due to encroachment of several species as observed elsewhere (Carlson et al. 2017; Choler et al. 2021).

It is noteworthy that among competitive species, *Salix* and *Juniperus* species are thermo-

philous shrubs, and were observed with high abundance in lower nunataks in 2020. Some of these species are already known to be present on cliffs up to 3000 m a.s.l. in the French Alps (Dentant & Lavergne 2013). Therefore, their dynamics of range expansion across study nunataks may be understood as a spread due to increasingly favorable conditions as discussed by Kammer et al. (2007) and Carlson et al. (2017), but not necessarily due to migration from lower elevations. Similar range expansion dynamics appear to be underway for competitive fern species: *Dryopteris filix-mas* and *Athyrium distentifolium*. Both species are also amongst the “grand winners”: they were never observed on Mont-Blanc nunataks between 1854 and 1868, but have colonized more than three nunataks since then and were locally frequent in some nunataks in 2020 (data not shown). In addition, it is interesting to note that contrary to our expectations and previous studies (Vittoz et al. 2009), no long distance dispersal agent appears to have favored species colonization, suggesting that many of the winner species may have colonized study sites from nearby locations. Species classified as competitive thus appear to have a strong effect on species enrichment and related greening trends, and may have spread through two possible and non-mutually exclusive migration scenarios: (i) upward migration from lower elevation and (ii) re-colonization from surrounding areas.

Finally, species classified as stress-tolerant are disproportionately represented among species identified as “losers” by our analyses. In the context of warming, stress-tolerant species may indeed face increased competition from species that are less adapted to cold environments (Choler et al. 2021). Some of these high alpine stress-tolerant species, especially the ones forming cushion life-forms, may in addition facilitate some newly colonizing species, essentially ruderal or competitive species (Losapio et al. 2018). For example, we repeatedly observed that *Gentiana nivalis*, an annual species typically growing at lower elevations, was constantly growing in cushions of *Silene acaulis bryoides*. This illustrates that some stress-tolerant nurse species may facilitate certain newly colonizing species that may later outcompete other stress tolerant species. The biotic stress due to new coming species may be cumulative with the obvious physiological stress caused by increasingly hot summer temperatures, which are known to cause die-off events and decline of similar stress-tolerant species in sub-antarctic environments (Le Roux et al. 2005; Bonanomi et al. 2023). The overall significant trend of declining stress-tolerant species across our study nunataks suggests that many of these spe-

cies may run the high risk of local extinction in the coming decades.

Vegetation stability and slow greening at high elevations

Our observation of rapid greening dynamics on nunataks situated below 3000 m a.s.l. is in accordance with analysis of greening trends at the scale of the European Alps, reporting widespread increases in remotely-sensed plant productivity in above treeline habitats since 2000 (Choler et al. 2021). Vegetation index signals, even from Landsat satellites at 30 m resolution, are typically quite weak above 3000 m a.s.l. in association with sparse plant cover in otherwise rocky and snowy high mountain habitats. Our results reflect these methodological limitations, as we detected little to no greening for the two highest nunataks (GM and HR, Figure Sx4). Both sites are spatially isolated and characterized by extremely harsh climate conditions, thus allowing the local long-term persistence of only nival and high alpine plant species despite recent climate warming. The weak greening signals observed for sites above 3000 m a.s.l. were correlated with relatively stable vegetation composition over the 150 year study period, a result which converged strongly with the findings of Vittoz et al. (2009). High mountain plant habitats thus clearly show spatially variable responses and sensitivity to overall changes in climate, and as warming continues it will be important to quantify the upward shift in this “greening line” where climate amelioration can be utilized by plants. Given the magnitude of predicted warming in the coming decades, we expect that even high mountain “sanctuary” nunataks above 3000 m a.s.l. will experience pronounced greening trends in the years ahead as glaciers and permafrost continue to decay throughout the uppermost elevations of the Alps (Huss et al. 2017).

A recent study based on historical botany in the tropical Andes (Sklenář et al. 2021) reported shifts in the elevation ranges of species without any significant increase in species richness. This observation on one of the highest mountains in South America (Chimborazo, 6263 m a.s.l.) is congruent with one of the uppermost and isolated Mont-Blanc nunataks: the GM nunatak harbors a strikingly stable plant composition over the study period, both in terms of species richness and species composition. The location and harsh conditions of this site explain this strong stability: surrounded by massive glaciers below Mont Blanc’s north face, this nunatak (and HR) is much more isolated than sites located around the Mer de Glace basin.

This stability of vegetation composition at high elevation is perfectly illustrated by the cushion species *Silene acaulis bryoides*, which is also the first plant ever observed on the rooftop of the European Alps (on the HR nunatak), during Saussure's expedition on Mont Blanc in 1787 (Saussure 1779-1796).

Singular and undocumented ecological trajectories

One study site showed a remarkable trajectory: vegetation occurring on the TL nunatak remained particularly stable in terms of species richness, while undergoing pronounced species turnover due to a massive species replacement between 1868 and 2020. Indeed, about 25% of species have changed over the 150-year study period, and the underlying ecological processes of this change seem to largely mirror the ones highlighted above. A large portion of the 22 newcomer species were classified as competitors (ca. 41%) while most of the 23 species that disappeared were stress-tolerant (ca. 57%). In addition, some species that are now commonly found on TL indicate other ecological changes and even a pattern of local scale niche disparity.

Despite an overall decline in the occurrence of stress-tolerant species across all nunataks, certain stress-tolerant species were paradoxically “grand winners”, such as *Salix herbacea*, *Oxyria digyna*, *Carex frigida* and *Gentiana nivalis*. The striking spread of certain of these species, sometimes over extensive areas, is symptomatic of profound changes in snow and water dynamics that occurred in our study nunataks during the study period. First, the melting of permanent glaciers and snowfields on some study nunataks converted former permanently ice-covered areas into seasonally snow covered zones, thus allowing the development of snowbed plant communities, typically dominated by *Salix herbacea*. Remote-sensing analyses of satellite images through the last 35 years highlights particularly rapid greening dynamics in areas covered by permanent snowfields in the 1980s that have since become seasonally snow-free snowbed habitats (Figure 22). Second, the same melting of permanent snow cover, enhanced by warmer spring and fall temperatures, generates water runoff, even of low intensity, which in turn favors wet-habitat specialists such as *Carex frigida*, but also *Molinia caerulea* or *Betula pendula* in lower and warmer locations. A third type of ecological trajectory concerns

plant species occurring on the opposite side of the gradient of snow cover tolerance. We observed a well-structured communities dominated by *Carex myosuroides* in the LS nunatak, which is a clear indicator of sites characterized by very cold and early snow melt-out such as alpine ridges. These extensive ecological changes highlight the importance of local topography for maintaining alpine plant diversity: species with opposite micro-climatic requirements can both be winners under global warming thanks to local scale environmental heterogeneity (Patsiou et al. 2014). In the context of recent observed expansion of cold-adapted and snow-bed specialist species, an important question arises: up to what temperature and snow cover duration thresholds can such dynamics be sustained?

The increased vegetation productivity demonstrated by remote sensing analyses was also clearly driven by an extensive spread of two particular plant life forms. First, we found a statistically significant increase of hemicryptophyte species, in particular graminoid species such as *Agrostis schraderiana*, *Carex sempervirens* or *Phleum alpinum*, which were among the “grand winners” in lower nunataks. Given the key structuring role of these species in alpine grasslands, their increased frequency across study nunataks indicates an extensive spread of grasslands driving increased vegetation NDVI. Second, phanerophyte occurrence also increased significantly, which was particularly noticeable at elevations as high as 3000 m a.s.l.. This case constitutes another relevant example of “upward migration”, which was certainly facilitated by the long distance dispersal potential of some of these increasing phanerophytes, such as *Salix helvetica* and *Salix appendiculata*.

In addition to the statistically significant and spatially extensive ecological changes discussed above, some particular species occurrences deserve to be highlighted because they shed light on subtle but relevant ecological dynamics which may require further investigation. This is the case of two thermophilous species found in the lower nunataks: the hemicryptophyte *Kernera saxatilis*, which was observed on a cliff, quite far away from its usual habitat (i.e. low-elevation, sun-exposed limestone cliffs), and the chamaephyte *Arctostaphylos uva-ursi*, which was found on a south-facing mound on the TC nunatak at 2200 m a.s.l.. These singular presences may imply local dry and hot conditions on nunataks, and thus be indicative of increasing moisture limitation even at high elevation sites on the slopes of Mont Blanc (Figure 18). Our observation that some new coming species in high alpine sites are tolerant of warm and dry conditions clearly echoes the observation made on the Isla Persa nunatak, where *A. uva-*

ursi was also found to strongly increase over the last 100 years (Vittoz et al. 2008). Soil moisture limitation may indeed curb greening trends in the coming decades and influence future shifts in alpine vegetation composition, and in our view represents a key parameter for future monitoring of vegetation shifts on Mont-Blanc nunataks.

Conclusion

We observed highly varied responses of high-elevation vegetation to ongoing climate changes since the mid-1800s in one of Europe's largest glacier basins. Our study confirms plant dynamics already documented elsewhere, including: (i) species enrichment in the lowest and least isolated nunataks (TC, LS, CV), (ii) “winning” trajectory of competitive species, supporting upward migration and (iii) local re-colonization, which we linked to a significant greening effect for the past 35 years. However, our results also highlight trajectories that, to our knowledge, have been little discussed in literature: (i) stability in terms of species richness and species compositions in higher and isolated sites but important species turnover dynamics at low and mid-elevation sites (up to 2800 m a.s.l.), (ii) increase of plant species associated with shifts from annual to seasonal snow-cover (snow-beds, wet habitats), a trend that was confirmed by both vegetation surveys and remote sensing analysis, (iii) increase of hemi-cryptophyte species, mainly graminoids, at lower elevations, and increase of phanerophytes at higher elevations. This complex set of vegetation responses underscores the need to not only focus on general vegetation trends such as upward migration, but also to promote field ecology at a fine spatial scale. Ongoing monitoring of ecological shifts in high mountain environments in the years ahead will be of the utmost importance in order to understand and anticipate future trajectories of both plant diversity and alpine landscapes in the context of accelerating climate change.

In 1810, Alexander von Humboldt, the inventor of biogeography, declared the following about high mountain expeditions: "*These painful excursions, whose stories generally excite the interest of the public, offer only a very small number of results useful to the progress of science*". Rather, our study of high elevation biodiversity during the Anthropocene led us to agree with Edward Whymper's response to Humboldt: "*High-mountain explorations, al-*

though perhaps of little interest to the general public, are of great value to Science” (Whymper 1892).

Acknowledgments

The authors are grateful to Colin van Reeth, for his participation and help during the expedition to the Mer de Glace basin. CD acknowledges the Ecrins National Park for supporting original research outside its territory. The authors thank Matthieu Lefebvre, curator of the Herbarium of the Grenoble Museum of Natural History (GRM), and Rebecca Bilon, its director, for the reception and conservation of all herbarium samples of the present study. The authors are also grateful for assistance provided by the caretakers of the Grands Mulets, Couvercle and Leschaux huts.

Disclosure statement

No potential competing interest was reported by the authors.

Funding

This work was supported by the long-term research site Zone Atelier Alpes, a member of the LTSER network. The project participants were paid by the CREA Mont-Blanc (BZC), the CNRS (SL), the UGA (AB, CD) and the PNE (CD).

References

- Baselga A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Glob Ecol Biogeogr.* 19(1):134–143.
- Baselga A, Orme CDL. 2012. betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods Ecol Evol.* 3(5):808–812. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>
- Baselga A. 2013. Separating the two components of abundance-based dissimilarity: Balanced changes in abundance vs. abundance gradients. *Methods Ecol Evol.* 4(6):552–557.
- Bayle A, Carlson BZ, Zimmer A, Vallée S, Rabatel A, Cremonese E, Filippa G, Dentant C, Randin C, Mainetti A, et al. 2023. Local environmental context drives heterogeneity of early

succession dynamics in alpine glacier forefields. *Biogeosciences* 20(8):1649–1669.

<https://bg.copernicus.org/articles/20/1649/2023/>

Berner LT, Massey R, Jantz P, Forbes BC, Macias-Fauria M, Myers-Smith I, Kumpula T, Gauthier G, Andreu-Hayles L, Gaglioti B V., et al. 2020. Summer warming explains widespread but not uniform greening in the Arctic tundra biome. *Nat Commun.* 11(1): 1–12. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-18479-5>

Bonanomi G, Idbella M, Allegrrezza M, Tesei G. 2023. Dieback of the cushion plant *Silene acaulis* at its southern limit of distribution in the Apennines. *Alp Bot.*

<https://doi.org/10.1007/s00035-023-00292-7>

Boucher F, Dentant C, Ibanez S, Capblancq T, Boleda M, Boulangeat L, Smyčka J, Roquet C, Lavergne S. 2021. Discovery of cryptic plant diversity on the rooftops of the Alps. *Sci Rep .* 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90612-w>

Campbell DR. 2019. Early snowmelt projected to cause population decline in a subalpine plant. *Proc Natl Acad Sci.* 116(26):12901–12906. <https://www.pnas.org/content/116/26/12901>

Carlson BZ, Corona MC, Dentant C, Bonet R, Thuiller W, Choler P. 2017. Observed long-term greening of alpine vegetation - A case study in the French Alps. *Environ Res Lett.* 12(114006):1–12.

Choler P. 2005. Consistent Shifts in Alpine Plant Traits along a Mesotopographical Gradient. *Consistent Shifts in Alpine Plant Traits along a Mesotopographical Gradient. Arct Antarct Alp Res.* 37(4):444–453.

Choler P. 2018. Winter soil temperature dependence of alpine plant distribution : Implications for anticipating vegetation changes under a warming climate. *Perspect Plant Ecol Evol Syst.* 30:6–15. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2017.11.002>

Choler P, Bayle A, Carlson BZ, Randin C, Filippa G, Cremonese E. 2021. The tempo of greening in the European Alps: Spatial variations on a common theme. *Glob Chang Biol.* 27(21):5614–5628. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.15820>

Corlett RT. 2015. The Anthropocene concept in ecology and conservation. *Trends Ecol Evol.* 30(1):36–41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.007>

Dedieu JP, Carlson BZ, Bigot S, Sirguey P, Vionnet V, Choler P. 2016. On the Importance of High-Resolution Time Series of Optical Imagery for Quantifying the Effects of Snow Cover Duration on Alpine Plant Habitat. *Remote Sens.* 8(6):481. <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/6/481/htm>

- Dentant C. 2018. The highest vascular plants on Earth. *Alp Bot.* 128(2):97–106.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00035-018-0208-3>
- 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.* 64:83–98.
- Gabillet M, Arpin I, Prévot AC. 2020. Between hope and boredom: Attending to long-term related emotions in participatory environmental monitoring programmes. *Biol Conserv.* 246.
- Gardent M. 2014. Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Age Glaciaire. <https://www.theses.fr/2014GRENA008>
- Gardent M, Rabatel A, Dedieu JP, Deline P. 2014. Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s. *Glob Planet Change.* 120:24–37.
- Gottfried M, Pauli H, Futschik A, Akhalkatsi M, Barančok P, Benito Alonso JL, Coldea G, Dick J, Erschbamer B, Fernández Calzado MR, et al. 2012. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nat Clim Chang.* 2(2):111–115.
- Huss M, Bookhagen B, Huggel C, Jacobsen D, Bradley RS, Clague JJ, Vuille M, Buytaert W, Cayan DR, Greenwood G, et al. 2017. Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Futur.* 5(5):418–435. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016EF000514>
- Kammer PM, Schöb C, Choler P. 2007. Increasing species richness on mountain summits: Upward migration due to anthropogenic climate change or re-colonisation? *J Veg Sci.* 18(2):301–306. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02541.x>
- Khedim N, Cécillon L, Poulenard J, Barré P, Baudin F, Marta S, Rabatel A, Dentant C, Cauvy-Fraunié S, Anthelme F, et al. 2020. Topsoil organic matter build-up in glacier forelands around the world. *Glob Chang Biol.*:0–2.
- Komsta L, Komsta ML. 2013. Package « mblm ». <https://cran.pau.edu.tr/web/packages/mblm/mblm.pdf>.
- Körner C. 2011. Coldest places on earth with angiosperm plant life. *Alp Bot.* 121(1):11–22.
- Kulonen A, Imboden RA, Rixen C, Maier SB, Wipf S. 2018. Enough space in a warmer world? Microhabitat diversity and small-scale distribution of alpine plants on mountain summits. *Diversity and Distributions.* 24: 252–261.
- Lavergne S, Molina J, Debussche M. 2006. Fingerprints of environmental change on the rare mediterranean flora: A 115-year study. *Glob Chang Biol.* 12(8):1466–1478.
- Losapio G, de la Cruz M, Escudero A, Schmid B, Schöb C. 2018. The assembly of a plant network in alpine vegetation. *J Veg Sci.* 29(6):999–1006.

- Mamantov MA, Gibson-Reinemer DK, Linck EB, Sheldon KS. 2021. Climate-driven range shifts of montane species vary with elevation. *Glob Ecol Biogeogr.*(December 2019):784–794.
- Maris V. 2018. *La part sauvage du monde - Penser la nature dans l'Anthropocène*. Éditions du Seuil, editor.
- Marx HE, Dentant C, Renaud J, Delunel R, Tank DC, Lavergne S. 2017. 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. *J Biogeogr.* 44(11):2618–2630.
- Matteodo M, Wipf S, Stöckli V, Rixen C, Vittoz P. 2013. Elevation gradient of successful plant traits for colonizing alpine summits under climate change. *Environ Res Lett.* 8(2).
- Moret P, Muriel P, Jaramillo R, Dangles O. 2019. Humboldt's *Tableau Physique* revisited. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 116(26):12889–12894.
- Mountain Research Initiative EDW Working Group (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Clim Change.* 5: 424–430.
- Mourey J, Ravanel L. 2017. Évolution des itinéraires d'accès aux refuges du bassin de la Mer de Glace (massif du Mont Blanc, France). *Rev géographie Alp.*(105–4):0–16.
- Muhlfeld CC, Cline TJ, Giersch JJ, Peitzsch E, Florentine C, Jacobsen D, Hotaling S. 2020. Specialized meltwater biodiversity persists despite widespread deglaciation. *Proc Natl Acad Sci USA.* 117(22):12208–12214. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32424087>
- Patsiou TS, Conti E, Zimmermann NE, Theodoridis S, Randin CF. 2014. Topo-climatic microrefugia explain the persistence of a rare endemic plant in the Alps during the last 21 millennia. *Glob Chang Biol.* 20(7):2286–2300.
- Pauli H, Halloy SRP. 2019. *High Mountain Ecosystems Under Climate Change*. Oxford Research Encyclopedia. DOI: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.764
- Payot V. 1854. *Guide du botaniste au Jardin de la Mer de glace*. Geneva.
- Payot V. 1862. *Végétation de la région des neiges, ou Flore des Grands-Mulets (Mont-Blanc)*. *Ann Soc impériale d'agriculture Lyon.*:215–222.
- Payot V. 1868. *Note sur la végétation de la région des neiges, ou Florule de la vallée de la mer de glace au centre du massif du Mont-Blanc*. *Mém Acad impériale des Sci B-lett arts Lyon.*
- Pohlert T. 2018. Package « trend ». <https://cran.microsoft.com/snapshot/2018-01-12/web/packages/trend/trend.pdf>
- Protin M, Schimmelpfennig I, Mugnier JL, Ravanel L, Le Roy M, Deline P, Favier V, Buoncristiani JF, Aumaître G, Bourlès DL, Keddadouche K. 2019. Climatic reconstruction for

- the Younger Dryas/Early Holocene transition and the Little Ice Age based on paleo-extents of Argentière glacier (French Alps). *Quat Sci Rev.* 221:105863.
- Qiu S, Zhu Z, He B. 2019. Fmask 4.0: Improved cloud and cloud shadow detection in Landsats 4–8 and Sentinel-2 imagery. *Remote Sens Environ.* 231:111205.
- Rahbek C, Borregaard MK, Colwell RK, Dalgaard B, Holt BG, Morueta-Holme N, Nogues-Bravo D, Whittaker RJ, Fjeldså J. 2019. Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science* 365(6458):1108–1113.
- Randin C, Engler R, Normand S, Zimmermann NE. 2009. Climate change and plant distribution: local models predict high-elevation persistence. *Glob Chang Biol.* (15):1557–1569.
- Le Roux PC, McGeoch MA, Nyakatyia MJ, Chown SL. 2005. Effects of a short-term climate change experiment on a sub-Antarctic keystone plant species. *Glob Chang Biol.* 11(10):1628–1639. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2486.2005.001022.x>
- Roy DP, Kovalsky V, Zhang HK, Vermote EF, Yan L, Kumar SS, Egorov A. 2016. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sens Environ.* 185:57–70.
- Roy DP, Zhang HK, Ju J, Gomez-Dans JL, Lewis PE, Schaaf CB, Sun Q, Li J, Huang H, Kovalsky V. 2016. A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sens Environ.* 176:255–271.
- Rubel F, Brugger K, Haslinger K, Auer I. 2017. The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. *Meteorol Zeitschrift.* 26(2):115–125.
- Ruddiman WF. 2013. The anthropocene. *Annu Rev Earth Planet Sci.* 41:45–68.
- Rumpf S, Hülber K, Klöner G, Moser D, Schütz M, Wessely J, Willner W, Zimmermann NE, Dullinger S. 2018. Range dynamics of mountain plants decrease with elevation. *Proc Natl Acad Sci.* <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1713936115>
- Rumpf SB, Gravey M, Brönnimann O, Luoto M, Cianfrani C, Mariethoz G, Guisan A. 2022. From white to green: Snow cover loss and increased vegetation productivity in the European Alps. *Science* 376:1119–1122.
- Saussure (de) H-B (1779–1796). *Voyage dans les Alpes*. Samuel Fauche (tome I), Geneva; Barde, Manget & Compagnie (tome II), Geneva; Louis Fauche-Borel (tomes III and IV), Geneva
- Schneeweiss GM, Schönswetter P. 2011. A re-appraisal of nunatak survival in arctic-alpine phylogeography. *Mol Ecol.* 20(2):190–192.

- Sklenář P, Romoleroux K, Muriel P, Jaramillo R, Bernardi A, Diazgranados M, Moret P. 2021. Distribution changes in páramo plants from the equatorial high Andes in response to increasing temperature and humidity variation since 1880. *Alp Bot.* 131(2):201–212.
- Soenen SA, Peddle DR, Coburn CA. 2005. SCS+C: A modified sun-canopy-sensor topographic correction in forested terrain. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 43(9):2148–2159.
- Sola I, González-Audícana M, Álvarez-Mozos J. 2016. Multi-criteria evaluation of topographic correction methods. *Remote Sens Environ.* 184:247–262.
- Steinbauer MJ, Grytnes J-A, Jurasinski G, Kulonen A, Lenoir J, Pauli H, Rixen C, Winkler M, Bardy-Durchhalter M, Barni E, et al. 2018. Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature* 556(7700):231–234.
<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0005-6>
- Stöckli V, Wipf S, Nilsson C, Rixen C. 2012. Using historical plant surveys to track biodiversity on mountain summits. *Plant Ecol Divers.* 4(4):415–425.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17550874.2011.651504>
- Tucker CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens Environ.* 8(2):127–150.
- Vittoz P, Bodin J, Ungricht S, Burga CA, Walther GR. 2008. One century of vegetation change on Isla Persa, a nunatak in the Bernina massif in the Swiss Alps. *Journal of Vegetation Science*, 19(5):671–680.
- Vittoz P, Dussex N, Wassefa J, Guisan A. 2009. Diaspore traits discriminate good from weak colonisers on high-elevation summits. *Basic and Applied Ecology.* 10: 508–515.
- Wang Q, Fan X, Wang M. 2014. Recent warming amplification over high elevation regions across the globe. *Clim Dyn.* 43(1–2):87–101. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-013-1889-3>
- Whymper E. 1892. *Travels amongst the Great Andes of the Equator.*
- Wipf S, Stöckli V, Herz K, Rixen C. 2013. The oldest monitoring site of the Alps revisited: Accelerated increase in plant species richness on Piz Linard summit since 1835. *Plant Ecol Divers.* 6(3–4):447–455.
- Zhang Y, Woodcock CE, Arévalo P, Olofsson P, Tang X, Stanimirova R, Bullock E, Tarrío KR, Zhu Z, Friedl MA. 2022. A Global Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Usable Landsat Observations at the Pixel Scale. *Front Remote Sens.* 3.

Matériel supplémentaire

Toutes les tables et figures du matériel supplémentaire de l'article sont en annexe II (p.353).

5.3 Extension

5.3.1 Contexte et acteurs

Après la rencontre des publications de Payot, c'est celle avec un Brad Carlson, en 2012, qui va s'avérer décisive. Doctorant en écologie à l'Université Grenoble Alpes, Brad s'intéresse en profondeur à son sujet de modélisation : les plantes d'altitude. Nous partageons rapidement l'enthousiasme pour cette botanique des marges et grimpons ensemble animés de cet esprit des pionniers. La revisite de ce que nous appelons rapidement les « îlots Payot » devient un projet commun, avec une étape décisive fin 2016 : son recrutement au Centre d'étude des écosystèmes d'altitude (CREA Mont-Blanc), basé à Chamonix. Ainsi, Brad accède aux premières loges pour repérer les conditions optimales nécessaires à la revisite des îlots, et ce d'autant plus qu'il parcourt la montagne avec régularité pour passer son diplôme d'État de guide de haute montagne.

À cette date, cela fait six ans déjà que l'idée de la revisite des îlots Payot est née. Trois ans se passent encore avant que fin 2019, je propose à Brad et Sébastien Lavergne de déposer un projet de financement à la Zone Atelier Alpes (ZAA). Non que les sommes sollicitées soient énormes, mais l'idée est de créer des conditions « d'engagement », afin d'endiguer les incessantes priorités professionnelles ou personnelles qui renvoient systématiquement ce projet au second plan. Je sollicite d'abord Sébastien en tant que prêt-nom, car le dépôt de financement nécessite qu'un des dépositaires de la demande soit membre d'un laboratoire impliqué dans la ZAA. Mais Sébastien, dans sa vision holistique de la science, ne voit pas les choses ainsi : c'est un projet qu'il investit immédiatement avec détermination. Je n'avais pas pensé l'impliquer, car je pensais que ce sujet de botanique historique ne l'intéresserait pas. Si je peux affirmer

bien le connaître, ce n'était pas le cas sur un tel sujet : la qualité du travail publié doit énormément à ses connaissances scientifiques autant qu'à la finesse de sa vision du monde de la recherche (et des figures imposées de la rédaction). Il a été un puissant « être médiateur » (cf. chapitre 2).

Le financement du projet est accepté par la ZAA début 2020. Une importante étape est ainsi passée : celle de l'engagement à au moins « tenter » l'expédition. Terminant, en 2020, son stage de Master 2 à mes côtés, Nicolas Bartalucci, scientifique inclassable et guide de haute montagne, vient étoffer l'équipe. Le projet d'« expédition des îlots Payot » prend pour la première fois littéralement corps – quatre précisément – auxquels se couple la matérialité d'un appui financier. Nous sommes fin février 2020. Il ne nous reste qu'à attendre d'hypothétiques conditions favorables pour réussir le terrain – les Grands Mulets et le Rocher de l'heureux retour restant les îlots les plus critiques.

5.3.2 Du global au local : le covid-19 et l'expédition des « îlots Payot »

Après dix ans de report successif, c'est un évènement imprévisible à l'échelle mondiale qui vient impacter notre projet local : la pandémie du covid-19 et son premier confinement. Rappel et chronologie des faits :

Dimanche 15 mars 2020 - fermeture de tous les lieux publics, suivie le mardi 17 mars par l'interdiction de se mouvoir à plus d'un kilomètre de son domicile. Dans les jours qui suivent, en montagne, le PGHM intervient dans les refuges pour verbaliser les contrevenants, encore persuadés d'être aussi intouchables qu'indétectables. De chez moi, au pied de Céüse, j'observe la même situation : évacuation des grimpeurs de la falaise et verbalisation des voitures stationnées à son pied. Cette situation nous fige : quelle que soit l'évolution favorable des conditions, nous ne pourrions resquiller (surtout dans un cadre professionnel). Notre projet d'expédition scientifique prend l'eau.

Lundi 11 mai 2020 - Il devient possible, à cette date, de se déplacer jusqu'à 100 kilomètres de chez soi. C'est la phase 1 du déconfinement. Sébastien essaie d'avoir une dérogation auprès de

la préfecture de Haute-Savoie pour ne pas rater le créneau qui s'annonce propice : peu d'enneigement cet hiver, adéquat pour l'expression de la végétation, et malgré tout suffisant pour cheminer en sécurité sur la fameuse « jonction », zone du glacier des Bossons particulièrement crevassée et exposée aux chutes de séracs. Mais semaine après semaine, la réponse reste intraitable : la science n'est pas un argument d'exception. Chamonix et les Grands Mulets restent lointains.

Lundi 1 juin 2020 – Nous allons entrer dans la phase 2 du déconfinement : dès le lendemain (mardi 2 juin), ce sera la fin des restrictions de distance dans les déplacements. Brad confirme que les conditions semblent optimales. Nous décidons de rejoindre Chamonix le soir même, considérant que les contrôles auront perdu de leur fermeté. Nous serons ainsi fins prêts dès l'aube du premier jour de levée des restrictions. Les remontées mécaniques restent fermées, et c'est avec une joie enfantine que nous prévoyons de monter à pied jusqu'aux Grands Mulets, dans les pas de la caravane de Saussure de 1787.

5.3.2.1 Autoethnographie de l'expédition des « îlots Payot » – phase 1

Mardi 2 juin – 6 h

Les Grands Mulets (îlot n°1)

Nous arrivons aux Houches, prêts à gravir la « Montagne de la côte » et les 2000 mètres de dénivelé qui nous séparent des Grands Mulets. La météo s'annonçait clémente pour trois jours, mais nous comprenons rapidement que nous n'en aurons que deux : des orages violents sont annoncés dès le 4 au matin. L'ambiance « caravane » se transforme en marche forcée : le temps est compté. Arrivés aux Grands Mulets, nous explorons jusqu'au soir l'îlot des Grands Mulets. Le refuge est parfaitement vide, sans alpinistes ni gardiens.

Mercredi 3 juin – 4 h

Le rocher de l'Heureux Retour (îlot n°2)

Nous partons du refuge, direction le rocher de l'Heureux Retour, quelques cinq cents mètres de dénivelé plus haut. La motivation est pour ma part énorme, car je n'ai pas trouvé la moindre donnée ou publication relative à un inventaire naturaliste depuis le passage de Saussure. C'est la seule fois que je ressens avec autant d'intensité ce que voulait signifier Newton par l'expression « se jucher sur les épaules des géants » : nous marchons littéralement dans les

pas de Saussure, 233 ans après lui. De plus, l'inventaire de ce second îlot lie de manière singulière les travaux présentés au chapitre précédent : sur ce même rocher, nommé par Saussure, nous trouvons une importante population de la nouvelle androsace que nous sommes en train de décrire et qui occupe une large partie des hauts sommets des Alpes du Nord. Cette même androsace que le savant genevois avait décrite, en 1788, au col du Géant. Nous décidons ainsi de faire du rocher de l'Heureux Retour le locus classicus de cette nouvelle espèce, à savoir sa localisation de référence, et de la nommer « androsace de Saussure » (*Androsace saussurei* Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanez). Le « carnillet moussier » (*Silene acaulis* subsp. *bryoides*) est également observé. Peu de chance que ce soit le même coussin qu'en 1787, mais la présence de cette espèce crée une passerelle entre deux époques. Une unité dans la production scientifique.

5.3.2.2 *Autoethnographie de l'expédition des « îlots Payot » – phase 2*

Cette seconde phase s'est déroulée du 20 au 23 juillet 2020. Colin Van Reeth, entomologiste et scientifique au CREA, se joint à nous. Nous prévoyons d'être en autonomie complète, car le refuge du Couvercle est fermé pour travaux et la gardienne de Leschaux est redescendue en vallée pour cause d'absence de client et de réservation.

Lundi 20 juillet – 8 h

Le Couvercle (îlot n°3)

C'est donc relativement chargés que nous prenons le premier train pour le Montenvers. Il est à cette date encore possible de descendre les échelles jusqu'à la Mer de glace. Puis nous la remontons jusqu'aux échelles des Égralets, passage déconseillé pour cause de moraine instable, mais le plus rapide pour accéder à l'îlot du Couvercle. Le site est particulièrement riche en espèces et l'inventaire assez long à mener. Nous n'installons notre bivouac que tardivement. La météo s'annonce mauvaise dès le lendemain matin. Nous décidons de partir tôt pour le prochain îlot – le jardin de Talèfre – facilement observable depuis le couvercle.

Mardi 21 juillet 2020 – 5 h

Le jardin de Talèfre (îlot n°4)

Nous nous mettons en route. Le jardin de Talèfre semble à côté, mais le cheminement pour y accéder est de plus en plus délicat : des ponts de glace qui changent d'une année sur l'autre ; de raides polis glaciaires qui ne cessent d'apparaître à mesure que l'épaisseur du glacier s'amenuise ; ou encore des éboulis parfaitement instables. La moraine basale de l'îlot de Talèfre est elle-même de plus en plus haute et de moins en moins stable. L'inventaire à cinq personnes est heureusement particulièrement efficace. Nous trouvons de nouveau de l'androsace de Saussure, au point le plus haut de l'îlot (mais qui ne sera pas comptabilisée dans l'analyse qui suit, car présente sur un rocher manifestement déglacé suite aux visites de Payot (cf. 1.1/Material and Methods/Sites)). Le temps se maintient et nous permet de mener à bien la complétude de la revisite. Nous rejoignons l'îlot de Leschaux par le glacier de Talèfre, et en commençons l'inventaire. Nous arrivons en milieu d'après-midi au refuge éponyme, sous une pluie cette fois battante. Brad a eu la gardienne au téléphone, qui nous communique amicalement la cachette des clés pour que nous puissions accéder à l'ensemble du refuge (et au stock de bières).

Mercredi 22 juillet 2020 – 8 h

Leschaux (îlot n°5)

La nuit a été particulièrement orageuse et pluvieuse. Le début de matinée n'est guère encourageant en terme météorologique, mais une importante éclaircie se profile vers 11 h . Nous partons immédiatement poursuivre l'inventaire. En fin de journée, l'ensemble de l'îlot aura été parcouru par au moins l'un d'entre nous. Au refuge, nous partageons photos et échantillons pour valider nos observations.

La nuit de mercredi à jeudi est à nouveau très pluvieuse. Nous savons que le glacier de Leschaux, que nous allons rejoindre, sera rendu glissant et ralentira notre progression vers l'ultime îlot : le Tacul.

Jeudi 22 juillet – 6 h

Le Tacul (îlot n°6)

Départ de Leschaux et descente par les échelles sous le refuge. Brad accompagne Colin qui doit redescendre en vallée. Pour eux, direction le Montenvers. Nous ne serons plus que trois pour le dernier îlot, mais sa surface semble assez restreinte.

L'accès est relativement pénible : rochers instables et moraines menaçantes. Les vingt derniers mètres sont les plus dangereux, car la moraine est extrêmement compacte tout en étant percluse d'énormes blocs saillants dont le poids semblerait amplement suffisant pour les faire choir sur nos crânes. L'îlot du Tacul est assurément un des plus remarquables en matière de transformation : il correspond à un ancien lac glaciaire répertorié dans toutes les premières cartes de la Mer de glace (cf. Edytem (coll.) 2012, pp.153, 156 et 164) sous le nom « Lac du Tacul ». En 2020, nous y découvrons une pelouse à nard raide (*Nardus stricta*) piquetée de saules helvétiques (*Salix helvetica*). En somme, un écosystème n'ayant plus rien à voir avec des conditions lacustres et l'agréable bivouac où là encore Saussure campa, alors en chemin pour le col du Géant, le 2 juillet 1788. Cet îlot est ainsi de loin celui s'étant le plus métamorphosé pendant l'Anthropocène. La figure 24 montre que ces transformations sont encore en cours, voire en phase d'accélération : entre 2008 et 2020, une partie importante de l'îlot s'est effondrée. Et selon des chercheurs en géomorphologie (Ravanel com. pers. 2020), l'îlot du Tacul est voué à disparaître plus ou moins rapidement sous les effets de cette érosion gravitaire.



Figure 24. A gauche, photo prise en 2008 (R. Fontaine), à droite en 2020 (C. Dentant). Les extrémités des segments et leur point de jonction sont rigoureusement les mêmes sur les deux photos – seul l'angle de prise de vue diffère. La zone entre la ligne médiane et la ligne inférieure sur la photo montre en 2008 une zone de pelouse et rochers presque intégralement disparus en 2020. La flèche blanche, en 2020, indique les marques horizontales de sédimentation lacustre (kame).

5.4 Conclusion du chapitre 5

La botanique historique mobilisée dans ce chapitre met en évidence deux composantes constitutives de l'Antropocène : (i) la transformation du modelé géomorphologique terrestre (présentement les effondrements et/ou apparitions de moraines ; disparition ou apparition de lac) couplé (ii) au réagencement spatial du vivant. Si la fonte des glaciers est le phénomène « phare » de l'Antropocène en haute montagne, il s'accompagne d'une diversité remarquable de dynamiques végétales : certaines sont contre-intuitives (la densification d'espèces chionophiles – e.g. *Salix herbacea*) ; d'autres, peu documentées (l'extension de la myrtille (*Vaccinium myrtillus*)) ; certaines, enfin, attendues (colonisation spatiale par d'espèces de plus basse altitude). Le bassin de la Mer de glace illustre ainsi une haute montagne couplant deux trajectoires contraires : contraction de la cryosphère et extension de la zone critique.

Conclusion de la partie II

La haute montagne est le lieu de transformation du vivant selon deux modalités temporelles : (i) celle du temps de l'évolution des espèces, plurimillénaire, et (ii) celle du temps historique de l'espèce humaine, de quelques décennies à quelques siècles. La découverte de nouvelles espèces végétales en haute altitude, dans les Alpes, bouscule le régime de perception de cet espace : les humains n'étant pas capables de l'occuper à demeure, il est perçu comme un désert. Nos travaux montrent au contraire qu'il est le lieu de naissance d'espèces nouvelles, ayant acquis au cours de l'évolution les capacités de vivre et se diversifier aux limites de la vie terrestre. Elles forment ainsi l'étalon des conditions les plus extrêmes que peuvent affronter des plantes à fleurs, et par là même, des formes complexes d'êtres vivants.

Cet espace est également le lieu de transformation d'écosystèmes, d'une part singulière de la zone critique en pleine mutation depuis l'entrée de la planète Terre dans l'ère de l'Anthropocène. Mesurer ces évolutions nécessite une pratique de terrain de la science, une forme d'exploration corporelle qui investit les lieux et ne les tient pas à distance. Une pratique qui influence les scientifiques dans leur compréhension des changements.

La partie suivante interroge comment diffuser, partager, rendre collectif cette connaissance du vivant et les émotions qu'elles suscitent.

**Partie III. Médiation scientifique et
concernement : le difficile dialogue
des humains et des plantes**

Introduction

Cette partie III s'intéresse aux médiations et récits scientifiques. Après avoir analysé la construction d'une science du vivant en haute altitude, puis sa production contemporaine, l'objectif est ici d'analyser comment sortir ces connaissances d'un cadre académique relativement formalisé et de les mettre à contribution dans le débat grandissant sur la relation des humains au reste du vivant. Cette approche performative fait le pari de l'extension des objectifs de protection d'un établissement public comme le Parc national des Écrins : protéger le vivant par la promotion d'une « culture du vivant ».

Chapitre.6 Ethnobotanique de l'invisible : médiation(s) pour un nouveau régime de perception des plantes de haute altitude

6.1 Introduction

6.1.1 L'hybride institutionnel : un parc national et un laboratoire de recherche

Couvrant au sein d'un Parc national, la question de la diffusion des résultats de recherches présentés dans la partie II s'est rapidement posée. Au fait d'être un territoire géographique avec une réglementation, un Parc national est aussi un établissement public qui se veut ancré dans ce territoire, avec pour missions sociales et sociétales de diffuser la science qui s'y exerce auprès des habitants, des scolaires et plus largement du grand public. La géographie de la connaissance définit de tels espaces comme « ceux où se construisent les connaissances [...] et ceux où ces connaissances sont diffusées » (Mao 2021, p.30). Ma position était ainsi hybride entre une science produite avec des chercheurs académiques et la transmission de ces travaux à des publics souvent éloignés de cette science.

Ce serait toutefois réécrire l'histoire de cette recherche et de cette médiation scientifique que de poser le problème du seul point de vue institutionnel (tout hybride soit-il). La pratique même de cette recherche a impliqué l'usage de refuges, le parcours de voies et autres chemine-ments de haute montagne empruntés par d'autres alpinistes. Elle a également été émaillée de nombreuses sollicitations médiatiques. Cette science « en train de se faire » nous a donc ainsi conduits, avant de quelconques résultats publiables sur un plan scientifique, à nous « frotter » à d'autres acteurs de la montagne, à d'autres « modes d'existence » (Latour 2012) que le scien-

tifique. Ces années de « frottement » ont ainsi largement contribué à faire émerger trois catégories non exclusives, mais requérant une médiation différenciée : (i) les locaux (habitants à l'année sur le territoire du Parc), (ii) les touristes et (iii) les professionnels de la montagne (guides, accompagnateur·trices, gardien·nes de refuge, gardes-moniteur·trices du Parc national). Les premières approches de médiation ont ainsi pris diverses formes, pour s'adresser aux différentes catégories : conférences sur le territoire en dehors des périodes de vacances (locaux) ; conférences en refuges (professionnels de la montagne et touristes) ; réalisation d'un documentaire scientifique (« Sur les îles du ciel »⁷³ d'Olivier Alexandre – diffusé dans les différentes maisons d'accueil du Parc sur tout le territoire et toute l'année, autant pour les locaux que pour les touristes) ; des articles de presses spécialisées et généralistes ; etc. Toute une gamme d'approches a été dans un premier temps déployée. Une évolution vers un caractère plus structuré de cette médiation scientifique a reposé sur la concordance de trois éléments : un cadrage stratégique (stratégie scientifique du Parc national des Écrins – document interne 2013), un programme financier (« Villages d'alpiniste », POIA FEDER) et un dispositif de recherche transdisciplinaire (Refuges Sentinelles⁷⁴/IUGA et PNE).

Ce triptyque permet de cadrer la médiation scientifique envisagée en trois points :

(i) la stratégie scientifique du Parc national des Écrins préconise l'exercice d'une « science partenariale » – et non « participative », la différence se voulant que la première ne concerne que des professionnels (de la montagne), alors que la seconde est ouverte à tout public ;

(ii) les guides de haute montagne et les gardien·nes de refuge sont des partenaires ciblés du dispositif scientifique Refuges Sentinelles. Ce dernier implique différentes recherches académiques ayant en commun le refuge comme base de travail. Dans ce cadre, l'implication des guides de haute montagne a été poussée du fait qu'ils-elles sont les individus les plus aptes à contribuer à des observations scientifiques pouvant enrichir nos travaux (ils-elles passent énormément de temps en haute altitude tout en parcourant une grande diversité de sommets) ;

(iii) un financement a été mobilisé par l'Agence de développement des Hautes-Alpes pour promouvoir l'alpinisme auprès d'un jeune public tout en voulant avoir des actions de sensibili-

⁷³ <https://vimeo.com/156186762>

⁷⁴ <http://refuges-sentinelles.org/>

sation et de prise en compte de la dimension écologique (programme « Villages d'alpinisme »).

Ainsi, la combinaison des rencontres humaines sur le terrain de notre recherche et des opportunités institutionnelles a mis la focale sur un acteur alors largement absent des questions relatives aux non humains : les guides de haute montagne.

6.1.2 La haute montagne, les plantes et les guides

Dans les Alpes européennes, les premiers à se faire guides sont des paysans, chasseurs de chamois et cristalliers, convertis à la manne financière liée au tourisme britannique. Puis les guides occasionnels sont devenus guides à plein de temps. Puis l'économie de ce tourisme a fini par donner naissance à une profession : guides de haute montagne (Bourdeau & Corneloup 2015).

L'origine paysanne et locale des guides peut expliquer pour partie une certaine attention, initiale, à la flore des montagnes. La gentiane est la plus marquante, avec son bleu intense. C'est la dernière – parfois la seule aussi – que beaucoup aperçoivent avant de chausser les crampons ou de s'encorder pour escalader. Elle a ainsi une forte valeur symbolique dans ce corps de métier : une gentiane est dessinée sur les écussons de la compagnie des guides Écrins/Oisans, du PGHM de Chamonix et des CRS de haute montagne (figure 25.a-c). C'est l'autre plante totem des montagnes européennes, l'edelweiss, qui est présente sur l'écusson de l'UIMLA (*Union of international mountain leader association - f.e*). A ma connaissance, une seule compagnie de guides associe à son image une plante endémique, chargée de toute une symbolique identitaire : il s'agit de la compagnie des *guide alpine di Madonna di campiglio* (Tretino, dolomites italiennes) laquelle a pour symbole *Physoplexis comosa* (figure 25.f), localement appelée raiponce de roche ou « griffe du diable » (figure 26). Enfin, bien que le blason de la ville de Chamonix porte l'épicéa et l'edelweiss, l'écusson de la compagnie des guides de Chamonix est le seul cas « purement minéral » de notre échantillon (figure 25.d).



Figure 25. Sigles d'organisations de secours et de compagnies de guides. Plantes symboliques : gentiane (a-c); edelweiss (e); raiponce de roche (f).



Figure 26. Raiponce de roche (*Physoplexis comosa*), espèce endémique des Alpes orientales (Dolomites italiennes et autrichiennes, alpes slovènes).

Toutefois, force est de constater que dans le parcours de formation des guides français, à l'École nationale de ski et d'alpinisme (ENSA), pas une seule journée de formation n'est dédiée à la connaissance du vivant en montagne. Ainsi, sans que cela soit explicité, le guide moderne n'a pas à connaître et faire connaître les autres êtres vivants de la montagne. Sa vocation est de maîtriser les techniques de l'alpinisme et les éléments de sécurité en haute montagne. L'accompagnateur en moyenne montagne, diplôme historiquement plus récent, est censé compenser cette lacune, par une entrée plus naturaliste. Ces derniers n'ont toutefois pas les mêmes prérogatives que les guides de haute montagne, et ne peuvent exercer que sur des terrains pour lesquels la progression ne requière pas de techniques d'alpinisme. Le constat est ainsi univoque : la haute montagne a sciemment été envisagée comme un désert biologique et un « terrain de jeu » technique.

Cette situation, qui légitime plus encore le travail de médiation scientifique engagée, n'est pourtant pas consubstantielle à la nature du métier de guides. Une rupture de la transmission s'est opérée. Et un renouveau de médiation est en cours.

6.1.3 Ethnobotanique des sommets : la rupture d'une transmission

L'ethnobotanique, en tant que champ disciplinaire liant la recherche en sciences sociales et l'étude du végétal, semble vouée à l'étude de relations « formelles » entre une société humaine et le végétal (cf. §3.2.5.2) : description des usages, symboliques ou pratiques, que les humains ont établis avec ces non humains. Toutefois, nous formulons l'hypothèse que l'absence de relation peut aussi être une source d'information sur notre société au même titre que celle issue des usages que l'ethnobotanique traditionnelle a relatés au cours du siècle précédent (Portères 1966) : elle est la traduction d'un état de notre société moderne qui a rompu le lien avec les plantes, au point de les avoir exclus, dans certaines situations, de leur *régime de perception*. Cette situation n'a pas une trajectoire linéaire, mais le fruit d'une évolution géohistorique liant sociétés humaines et plantes des montagnes.

6.1.3.1 *Les gens des hauts avant l'or blanc*

Aux débuts des années 2000, Delcour (2004) a recueilli les témoignages d'habitant-es du Briançonnais et de Vallouise (Hautes-Alpes) quant à leur relation aux plantes médicinales natives de leurs montagnes. Né-es avant la deuxième guerre mondiale, donc avant l'essor des stations de ski et du tourisme de montagne (1960-1970), les enquêté-es ont grandi dans une économie de subsistance, sans recourt à la médecine moderne : « [...] *avant, si on ne savait pas les plantes, on crevait. Il fallait apprendre.* » (p.39).

Ce travail ethnobotanique illustre à quel point la relation au végétal était ancrée dans la société montagnarde. Si la perte d'un savoir porte en elle le risque de l'idéalisation et du célèbre adage « c'était mieux avant », l'objectif de cette partie n'est assurément pas de sublimer un passé révolu, mais de comprendre la rupture de la transmission d'un savoir, et par là même celle d'une relation profonde avec le végétal. De comprendre la nature d'une *médiation* passée avec des non-humains pour mieux penser les tenants de ce que pourrait être une nouvelle « alliance » (Morizot 2021).

Lorsque Delcour (2004) a rencontré pour la première fois les personnes enquêté-es, elle a essuyé plusieurs fois un même type de réponse fataliste :

« Vous voulez savoir les plantes ? Mais plus personne ne s'intéresse à ça, c'est du passé. Même nos enfants ne savent pas cela, on n'ose même pas leur dire, on se fait prendre pour des vieux fous, et puis ça ne les intéresse plus. » (p.29)

« Oh, les plantes, maintenant, à quoi bon, pour en faire quoi ? Personne ne s'intéresse à ça maintenant, vous allez perdre votre temps. » (p.29)

« Plus rien ou presque de ce qu'on faisait n'existe encore. » (p.49)

Bien sûr, le désintérêt d'il y a 20 ans n'a pas raison de l'être encore aujourd'hui. Mais comme le précise l'auteure au sujet des informateur-trices : « En 2003 [...] la moyenne d'âge est de 74 ans pour les femmes, 84 ans pour les hommes ». Nombre d'entre eux-elles ont disparu avant même la parution de l'enquête (p.16). Il est donc possible de considérer, au vu de la perception même des intéressé-es sur le devenir de leur savoir, qu'il y a eu une rupture très rapide de médiation vis-à-vis du végétal. Cette génération a vu de son vivant son savoir relégué au rang de folklore désuet et dénué d'intérêt. Ainsi, si de rares exceptions comme le génépi⁷⁵ ont survécu à l'oubli, c'est uniquement sous une forme de marketing de la montagne, au même titre que les raclettes et charcuteries. Delcour (2004) précise ce que représentait autrefois le génépi : c'est le grand "guérisseur" des populations alpines aux prises avec un froid pas comme les autres » (p.129). Et de citer un informateur :

« quand c'est sérieux la poitrine, on prenait bien du génépi, c'est du sérieux cette plante. [...] ça peut rendre très malade si on en abuse, il faut prendre que quand c'est nécessaire car c'est très fort. »

Ces propos sont ainsi très éloignés de l'approche mercantile et tintée de folklorisme qui entoure l'alcool fait à base de cette plante. Même une plante rescapée ne peut traduire la rupture de la médiation avec le végétal et de la transmission des connaissances sur la pharmacopée traditionnelle.

75 Sous le terme de « génépi » s'agrègent plusieurs espèces botaniques, toutes appartenant au genre *Artemisia* et toutes ayant peu ou prou des qualités gustatives une fois macérée en alcool.

L'essor du tourisme en montagne dans les années 1960-1970, hiver comme été, a apporté une manne financière sans commune mesure sur ces territoires (Bouneau 2007). L'accès à la médecine et aux médicaments modernes s'est également démocratisé, renvoyant les savoirs liés aux plantes à des reliques :

« Il y a des gens qui disent que ce sont des remèdes de femmes, des remèdes de sorcières. Et puis on se moque de nous, de ce que nos parents nous ont appris. » (Delcour 2004, p.48).

Ce changement de régime de perception du végétal a ainsi été drastique. Même s'il s'est accompagné des marques classiques des conflits générationnels :

« Les jeunes maintenant, ils ne savent pas reconnaître l'armoise ou l'épinard, ils ne savent rien regarder, tout va vite avec eux. » (Delcour 2004, p.64)

« la précipitation [des] jeunes à la pharmacie : ils ne savent qu'avaler des pastilles, sans même savoir ce qu'il y a dedans. Pourvu que ça sorte d'une boîte, c'est bon. » (Delcour 2004, p.46).

Il n'en demeure pas moins une rupture avec l'attention portée au végétal. Arpin et al. (2015) souligne ce qui semble un paradoxe : « Si la perception de l'environnement renvoie à un processus d'éducation de l'attention, on peut peut-être attribuer également un caractère actif à la non-perception ». Cette rupture de la connaissance des plantes en montagne, considérée comme marqueur du passé, peut ainsi être perçue comme un « caractère actif à la non-perception » du végétal : d'après les enquêtées de Delcour, il y a bien eu de la part des « jeunes », une volonté de ne plus savoir :

« les jeunes ils ne veulent plus savoir, ils ne demandent pas, ça ne les intéresse pas [...] » (p.39)

« les plantes on n'en parle plus, on oublie tout maintenant. » (p.40).

Ce processus d'inattention active ne doit pas aveugler sur le fait qu'« il existe le mythe de *avant ils savaient des choses* » (Delcour 2004, p.41). Le but ici n'est pas de juger, mais de rendre compte d'un changement de régime de perception impliquant une rupture de médiation avec le végétal de haute montagne.

6.1.3.2 *De l'inattention à l'invisibilisation*

Depuis les années 1960-70, la sociologie des montagnards s'est ainsi grandement transformée. Nombre d'habitant·es et professionnel·les de la montagne sont des nouveaux venus, sans filiation avec le territoire, contribuant ainsi à recomposer la culture commune et le tissu social (Mao et al. 2009 ; Bourdeau & Corneloup 2015). La rupture générationnelle de la médiation avec le végétal ne les concerne ainsi pas directement, mais leur régime de perception du végétal s'est construit dans une société montagnard où cette « perte » de la connaissance des plantes, et les relations intimes entretenues avec, est devenue effective. Les plantes ne sont pas sujettes d'une inattention active, mais plutôt d'une invisibilisation passive. Ce que Wandersee & Schussler (2001) ont qualifié de *Plant blindness* – cette fameuse cécité du végétal propre à notre humanité.

Les acteurs principalement présents en haute montagne sont celles et ceux qui en vivent : gardien·nes de refuges et guides de haute montagne. Dans cette population de socioprofessionnels coexistent les deux modalités de *Plant blindness* : l'inattention active et l'invisibilisation passive. La première se rencontre dans l'ancienne génération (« boomers »), principalement des locaux, dont le métier de guide ou de moniteur de ski s'inscrit à la fois dans l'économie locale et une certaine détermination sociale (facilitation, dès l'école, d'intégration de formations destinées à ces professions). L'invisibilisation passive se retrouve dans une catégorie plus lâche, mais assez clairement établie : elle intègre en majorité des guides diplômés et sans filiation montagnarde directe (origine essentiellement urbaine, ou plus rarement rurale, mais alors extérieure aux Alpes).

6.1.3.3 *Médiation et zone frontière*

Le travail qui suit est donc une tentative de revivifier la connaissance du végétal de haute altitude, comme un « art de l'inclusion » du vivant (Tsing 2010), comme une manière de

ré-« apprendre à voir » (Zhong Mengual 2021). L'idée forte repose ainsi sur l'hypothèse que la crise du vivant relève d'une crise de la sensibilité humaine (Morizot 2021), que l'instauration de réglementations et zones protégées, depuis les années 1960 et 1970, ne suffit pas à enrayer cette érosion. Il est urgent de « soigner nos relations » avec les non humains (Poirier 2023, p.41). Face à ce constat, « même de petites connaissances peuvent faire la différence entre la protection et le mépris brutal » (Tsing 2010). Influencer sur la sensibilité implique d'influencer sur le régime de perception. Pour ce faire, la médiation scientifique est mobilisée. S'il s'agit d'une « interface entre un public et une connaissance scientifique » (Viallette et al. 2021), elle a vocation non pas à entériner la logique poussiéreuse du principe d'autorité, mais de mobiliser un ensemble d'« actes qui tendent à dépasser les frontières entre profanes et sachants, entre grand public et savoirs académiques » (Viallette et al. 2021). Ici, il ne s'agira pas de grand public, mais de professionnels de la montagne, envisagés comme de possibles passeurs de « petites connaissances » sur les plantes d'altitude⁷⁶, qui peuvent donner à voir des non humains et les extirper d'un « mépris brutal ».

À cette forme de médiation s'ajoute une expérimentation de création de « zone frontière » entre chercheurs académiques investis dans les questions de haute montagne, des guides et des artistes. Ce concept de zone frontière a été une première fois mobilisé dans la section 2.2 afin de qualifier la relation entre scientifiques académiques et non académiques. Nous la remobilisons ici, en élargissant le diptyque précédent : l'expérimentation menée en août 2022 impliquait chercheur-es académiques, guides de haute montagne et artistes/créateurs. Cette zone frontière, pour reprendre les termes de Mauz et Granjou (2013), implique différentes « manières de connaître »⁷⁷, dont l'association peut favoriser la transformation des personnes impliquées et l'émergence de nouvelles connaissances. C'est le pari pris dans l'expérimentation exposée dans la section 6.3. Ce pari implique d'accepter les parts émotionnelles individuelles dans un objectif de connaissance collective. Ce qui a nécessité ce que Parker et Hackett (2012) qualifient de « *hot spots and hot moments* »⁷⁸ : rassembler un collectif dans un lieu singulier (refuge et haute montagne), le temps d'une période « suspendue » (3 jours sans

76 voir l'entretien avec Mathias Virilli « les guides ont un rôle de passeur, pour transmettre une sensibilité au vivant », Montagnes Magazine, 4 août 2021 - <https://www.montagnes-magazine.com/actus-cedric-dentant-les-guides-role-passeur-transmettre-sensibilite-vivant> [consulté le 14 septembre 2023]

77 « *ways of knowing* »

78 « des lieux clés et des moments clés »

réseau) pour tenter de faire émerger de nouvelles idées tout en essayant de dompter les ressasses du scepticisme : « *conceiving creative ideas and managing skepticism* »⁷⁹ (Parker & Hackett 2012).

6.2 Expérience de médiation scientifique avec les guides de haute montagne portant sur la botanique

6.2.1 Terrain et acteurs

6.2.1.1 Refuge Adèle Planchard (3169 m) : l'épiphanie

« *Ah ah, super tes plantes en coussinet ! C'est parfait pour s'essuyer les chaussons quand on grimpe !* »

Juillet 2014. Après quelques journées passées à échantillonner différents sommets au-dessus du refuge d'Adèle Planchard (3169 m), dans les Écrins, j'y donne une conférence où s'entassent plus de 40 personnes. Si certaines sont montées si loin exprès, la plupart sont là par hasard. Ainsi en va-t-il de ce guide, assez heureux de sa remarque à la fin de mon exposé. Je suis enclin à me résoudre à l'échec complet de la médiation initiée ! Mes *a priori* se confirment sur ce corps de métier au statut de « seigneur » de la haute montagne (Martinoia 2015).

Un second guide s'approche et me lance avec un grand sourire :

« *Bein tu vois, maintenant, je vais grimper moins con !* »

Cette conférence n'était pas exclusivement à destination des guides, mais pour les raisons évoquées précédemment, leurs réactions m'intéressaient. Voilà deux représentants de cette

79 « Concevoir des idées créatives et gérer le scepticisme »

profession qui me donnent chacun une réponse qui s'oppose à l'autre. Laplace (1825), dans son *Essai philosophique sur la probabilité* – incluant la probabilité subjective – insiste sur des modes opératoires du fonctionnement humain, qui plus d'un siècle plus tard prendront le terme de « cognitifs » (Miller & Gelman 2019). Il introduit ainsi sa réflexion : presque toutes nos connaissances ne sont que probables ; et dans le petit nombre de choses que nous pouvons savoir avec certitude [...], les principaux moyens de parvenir à la vérité, l'induction et l'analogie, se fondent sur les probabilités » (Laplace 1825, p.2). Induction et analogie sont des modalités heuristiques largement mobilisées dans toute démarche scientifique : réitérer les expériences, entretiens ou encore observations pour faire émerger un savoir valide – c'est à dire, d'un point de vue « laplacien », un savoir hautement probable. Cette position l'amène à redéfinir de manière originale ce qu'est la certitude ou la vraisemblance : Quand tous les cas sont favorables à un évènement, sa probabilité se change en certitude. [...] Dans les choses qui ne sont que vraisemblables, la différence des données que chaque homme a sur elles est une des causes principales de la diversité des opinions que l'on voit régner sur les mêmes objets » (Laplace 1825, p.9).

Un troisième guide, président de la compagnie des guides Écrins-Oisans, avait fait le déplacement spécifiquement pour la conférence. Sa présence et son statut de représentant du métier de guide accentuent-ils encore la réduction de la probabilité d'ignorance active d'un guide vis-à-vis du vivant ? Oui, mais nous restons avec un échantillonnage ridicule du métier. Cette sorte d'épiphanie, un soir de juillet 2014, à plus de 3000 m d'altitude, a inauguré mon souhait d'expérimenter une approche observationnelle par le prisme de la médiation scientifique, et ce faisant, m'a obligé à questionner mes possibles *a priori* sur une catégorie socioprofessionnelle.

6.2.1.2 Terrains des entretiens

Ce travail de médiation et d'entretiens se base sur quatre évènements officiels et une série de rencontres non planifiées.

1er évènement [JBOTA_1]: du 27 au 28 mai 2021 - journées d'échange et de formation (botanique et évolution des pratiques de l'alpinisme) organisées pour les guides dans le cadre de Villages d'alpinisme et de Refuges Sentinelles.

Organisation et encadrement : Cédric Dentant et Philippe Bourdeau

Ces journées constituent un premier test de médiation scientifique. Les questions scientifiques abordées mixent le vivant (avec un tropisme sur la botanique) et les évolutions de pratiques en haute montagne. La rencontre a lieu sciemment sur un terrain d'alpinisme, dans l'espace d'exercice professionnel des participants, afin de les mettre en situation de confort psychologique. Le premier jour consistait en une montée au refuge des Écrins (3175 m) en partant du pré de Mme Carle (1874 m), terminé par une soirée débat autour du changement climatique. Le lendemain (28 mai) se basait sur des observations autour du refuge puis en une redescente lente, mêlée de discussion et d'observation.

11 guides, venant de différentes zones géographiques, ont participé à ces journées.



Figure 27. Rencontre avec des guides de haute montagne dans le Parc national des Écrins. 28 mai 2021. Photo : C. Dentant.

2e évènement [200CHX]: d u 25 au 27 juin 2021, bicentenaire de la compagnie des guides de Chamonix.

Organisation et encadrement : Compagnie des guides de Chamonix

Plus vieille et plus grande compagnie de guides au monde, la compagnie de Chamonix organise plusieurs événements de célébration. Je suis invité à l'un d'eux, en tant que spécialiste de la flore de haute altitude, qui consiste en une remontée de la Mer de glace (du Montenvers à l'Aiguille du midi) sur 3 jours, avec des conférences scientifiques données aux refuges du Requin (2516 m) et des Cosmiques (3613 m). Toutes sont enregistrées et mises en ligne par une équipe de TV8 Mont-Blanc. Celle pour laquelle j'ai été convié (sur l'histoire de la flore de la Mer de Glace⁸⁰) se déroule au Requin, le 25 juin en fin d'après-midi. Trois jours durant, il m'a ainsi été possible d'échanger avec plusieurs guides de la compagnie de Chamonix, dont son président.



Figure 28. Conférences au refuge du Requin pour le bicentenaire de la compagnie des guides de Chamonix. 25 juin 2021. Photo : C. Dentant.

80 fr-fr.facebook.com/tv8infos/videos/503525864210353/ [visité le 19/02/2023]

3e évènement [JBOTA_2] : du 2 au 3 juin 2022 - journées d'échange et de formation (botanique, tourisme scientifique et évolution des pratiques de l'alpinisme) organisées pour les guides dans le cadre de Villages d'alpinisme et de Refuges Sentinelles.

Organisation : Cédric Dentant, Daniel Zambrano et Philippe Bourdeau

Encadrement : Cédric Dentant, Philippe Bourdeau et Yannick Vialette

Seconde campagne de journées d'échange et de médiation scientifique avec des professionnels de la montagne, il a été décidé d'élargir les possibilités de participer à d'autres professionnels que les guides : accompagnateur·trices en montagne et gardien·nes de refuge. Pour des raisons de responsabilité et sécurité, le terrain n'est plus uniquement « haute montagne » et ne requière pas de matériel d'alpinisme : cheminement du col du Lautaret jusqu'au refuge de Chamoissière le premier jour, puis cheminement en direction du Pavé le second et retour.

16 professionnels de la montagne ont participé à cette formation, dont 5 guides et 1 gardienne de refuge.

4e évènement [JBOTA_3] : du 1 au 2 juin 2023 - journées d'échange et de formation (botanique, tourisme scientifique et évolution des pratiques de l'alpinisme) organisées pour les guides dans le cadre de Villages d'alpinisme et de Refuges Sentinelles.

Organisation : Cédric Dentant, Daniel Zambrano et Philippe Bourdeau

Encadrement : Cédric Dentant, Philippe Bourdeau, Pascal Mao et Yannick Vialette

Troisième campagne de ces journées d'échange. La difficulté de recruter des guides est manifeste puisqu'un seul participe à cette session malgré une information largement véhiculée par les canaux de Refuges Sentinelles et du SNGM (syndicat national des guides de montagne). Quantité et qualité n'allant pas forcément de paire, cette session a toutefois été mise à profit pour le travail d'enquête. Pour des raisons de difficulté d'organisation, le cheminement choisi a été le même qu'en 2023 (refuge de Chamoissière et environs).

15 professionnels de la montagne ont participé à cette formation, dont 1 guide et 1 gardienne de refuge.

Autres rencontres informelles : depuis le début officiel de cette thèse, en octobre 2020, de nombreuses rencontres ont eu lieu avec des guides de haute montagne. De nombreux entre-

tiens compréhensifs ont pu être menés. Ils constituent un corpus critiquable par leur absence de standardisation, mais éligible à nourrir la réflexion scientifique menée en les prenant pour ce qu'ils sont (imparfaits et non standardisés) tout en assumant leur caractère informatif et non généralisable.

6.2.1.3 Les biais

Expérimenter une démarche telle que les journées de formation sur les non humains auprès de professionnel·les indépendant·es implique un aspect très prosaïque : la nécessité que ces professionnel·les soient suffisamment intéressé·es et motivé·es par le sujet pour être physiquement présent·es, c'est-à-dire viennent passer en montagne deux journées non rétribuées. Cette problématique reviendra à plusieurs reprises dans la suite de cet exposé. Elle implique deux biais : (i) le biais d'adhésion (*adherence bias*) (Spencer et al. 2023), qui signifie tout simplement que les guides interrogés présentes *de facto* un intérêt minimal sur la question des plantes de haute montagne. Ceux non intéressés étaient absents, et la perception d'un mépris et d'une distance instaurée à plusieurs reprises ont eu raison de mon temps et de mon énergie pour minimiser ce biais. (ii) Le second biais est celui de sélection (*selection bias*) (Jenkins 2012), qui repose sur le fait d'avoir rémunéré des guides lors de l'expérimentation présentée dans la partie 6.3. En effet, les guides présents ont été sollicités à la fois pour l'intérêt potentiel qu'ils porteraient au dispositif (biais d'adhésion), mais également pour assurer la sécurité des cordées que ce dispositif impliquait (biais de sélection). Cette prestation permettait en outre de s'assurer de leur présence en tant que participants non académiques.

La réponse idéale pour évacuer les biais est le fameux principe de *randomization* proposée pour la première fois par Fischer (Kennedy-Shaffer 2019). C'est une difficulté éculée, sans cesse mise en débat au sein des sciences sociales : la quasi-impossibilité de fonctionner « en aveugle ». Ceci étant écrit, souligner l'existence de ces biais n'implique pas la nullité des propos tenus par la suite. Cela limite seulement l'idéal scientifique de généralisation (la « loi ») et oblige *de facto* à cerner les limites de l'analyse.

6.2.2 Entretiens

Le dédoublement statutaire (cf. 3.5.2.2) offre la possibilité intéressante de rapidement engager des échanges sur le fond du questionnement envisagé (« quelle relation aux plantes en terrain de haute montagne ? »), mais présente en même temps, de manière consubstantielle, une grande difficulté à pouvoir se consacrer exclusivement à l'entretien et à en consigner l'ensemble. En effet, étant présent avec les professionnels comme formateur autant qu'enquêteur, une part importante de mon temps était consacrée à apporter des éléments de connaissance, à répondre aux questions et à gérer des débats.

Par la suite sont ainsi consignés les éléments issus de ces entretiens apparaissant les plus marquants, résultant de prises de notes *in situ*. Ils illustrent des régimes de perception en mouvement.

6.2.2.1 « Meubler » avec les clients : le paradoxe de la disponibilité mentale

Un des premiers éléments marquants ne repose pas tant sur le régime de perception du guide que sur celui de son client. La connaissance des non humains n'y apparaît pas transformative pour celui ou celle qui l'acquière. Elle permet plus prosaïquement de « meubler » la discussion avec le client, prenant la forme d'une médiation « à caractère culturel » minimale (Mao & Bourlon 2017). Cette médiation évite un silence perçu comme mal venu dans la contractualisation guide/client :

« Je ne sais pas quoi leur dire [à mes clients], ça me fait chier. La bota, ça me donne des éléments de discussion, d'échange. Et ça me fera peut-être gagner des clients (rires) »

(G.H., après participation à JBOTA_1)

« Je n'y connais rien en plantes, en bota. Mais je sais que c'est une matière qui peut inviter au voyage »

(Y.T., JBOTA_2)

Mais la question de « meubler » s'accompagne souvent de la nature même de la médiation que le·la guide peut proposer. Confiant·e sur les aspects techniques de l'alpinisme, il-elle

pointe ce qui apparaît comme des « manques » dans son parcours de qualification professionnelle :

« J'ai pas les clés pour nourrir les attentes des clients sur le milieu naturel. C'est complètement con de ne rien avoir dans les formations de l'ENSA »

(R.Y., avant participation à JBOTA₁)

« C'est difficile de se trouver légitime sur un tel sujet [la biodiversité] »

(D.N., 200CHX)

Un enquêté, diplômé avant 1990, insiste sur un point :

« Moi je fais parti d'une génération qui a dû passer l'accompagnateur en montagne avant de pouvoir passer le guide. Du coup, des connaissances en bota, on en avait forcément un minimum. »

Et d'insister, en confiance :

« Et puis, je montre toujours les plantes. Que ça leur plaise ou non [aux clients]. Ça fait partie de la course » (rires)

(S.D., 200CHX)

Mais S.D. reste un cas presque unique. Pour plusieurs guides, même aguerri-es en botanique, d'autres freins existent :

(i) la forme de connaissance mobilisée :

« Il faut arriver à sortir de la transmission de connaissance comme si c'était un bottin qu'on déroule ! Ça emmerde tout le monde ! »

(J.M., 200CHX)

(ii) L'incompatibilité avec la pratique de l'alpinisme :

« Observer des plantes n'a pas la même temporalité que l'alpinisme. Il faut avancer, progresser dans la voie, alors on n'a pas toujours le temps de s'arrêter. Il faut généralement pas traîner pour finir la course »

(B.V., entretien téléphonique, 7 novembre 2021)

(iii) et peut-être la plus désolante pour plusieurs d'entre eux-elles : le désintérêt de leurs clients.

« Je n'ose pas m'arrêter pour montrer les plantes à mes clients. Je sens que ça les intéresse pas... »

« C'est que j'ai pas encore une clientèle bien à moi. Du coup, j'essaie d'abord de faire ce pour quoi ils me recrutent »

(N.L., jeune diplômé de l'ENSA, 200CHX)

« C'est vraiment compliqué avec des clients. Ils ne sont pas là pour ça »

(G.H, entretien téléphonique, 23 septembre 2021)

« Bein c'est pas simple [d'observer des plantes] avec les clients. Il faut être attentif à eux, et souvent, ils n'ont pas la disponibilité mentale pour être attentif à ce qu'on leur montre »

(B.V., entretien, 8 août 2021)

« Meubler » ou « ne pas meubler »... Connaître les plantes de haute montagne peut ouvrir aux guides une possibilité nouvelle de médiation, même superficielle. Encore faut-il qu'il-elle se sente apte et légitime à mener cette médiation liant des non humains (les plantes) et qu'il-elle sente leur client apte à entrer dans la médiation. Cette entrée en médiation implique que ce dernier ait la disponibilité mentale pour le faire (intérêt intellectuel couplé au degré de fatigue), que son régime de perception ne soit pas réduit à sa survie ou son objectif de sommet.

Si une telle médiation a la vertu de répondre partiellement à la « crise de la sensibilité » (cf. 6.1.3.3), de créer une ouverture sur une autre manière d'être au monde, une question forte avait été soulevée par rapport à la relation aux clients :

« Doit-on répondre à toutes les demandes sociétales actuelles? »

(M.T., journée Refuges Sentinelles, 5 octobre 2021)

La tentation est grande de répondre par la négative tant le sujet de la crise de la sensibilité dépasse les seuls professionnels de la montagne. Mais la disponibilité mentale des clients, de « *ce pour quoi ils me recrutent* », repose en grande partie sur leur imaginaire de la haute montagne, et ce faisant sur l'imaginaire social de la haute montagne. Et là, il apparaît que plusieurs enquêté·es se mobilisent sur la question.

6.2.2.2 *Transformer l'imaginaire de la haute montagne*

Pratiquer la haute montagne implique de traverser un paysage en pleine mutation. Les changements sont rapides et d'ampleurs inégalées de mémoire humaine (Salim et al. 2021).

« On passe du paradigme de l'attractivité des territoires à celui de leur habitabilité ! Comment faire tenir tout ensemble, humains et non humains ? »

(Philippe Bourdeau, JBOTA₂)

Pour le bicentenaire de la compagnie des guides de Chamonix, Brad Carlson a piloté la rédaction d'un livret portant sur l'évolution du métier de guide⁸¹, impliquant l'évolution de cet imaginaire :

« Comment on peut revenir sur un imaginaire de la haute montagne façonnée au Petit Âge Glaciaire ? Avec de la glace et de la neige en abondance, du rocher partout ? On ne peut plus promouvoir ça ! Il faut créer un autre imaginaire auprès des clients ! Et ça peut passer par la biodiversité, même si c'est pas intuitif ici »

81 « Les guides de montagne et le changement climatique. Une histoire d'adaptation » (Collectif 2021) : <https://www.calameo.com/read/00666360618f987999738>

(Brad Carlson, 200CHX, sur la terrasse du refuge des Cosmiques)

Les plantes sont bien peu nombreuses et ne pèsent pas lourd face à l'immensité rocheuse et glaciaire qui s'impose à la vue et à l'ouïe. Mais l'« égard » (Morizot 2020) que notre espèce pourrait leur porter implique un changement d'imaginaire de l'espace géographique de la haute montagne. Le changement de régime de perception du vivant intègre un changement de régime de perception de l'espace géographique.

« L'esthétique de la haute montagne est tournée vers le blanc. Mais ce n'est plus tenable. Mais j'ai emmené des gens qui ne connaissaient pas le glacier blanc. Il était tout gris, sale. À mes yeux, c'était catastrophique. Eux l'ont trouvé magnifique ! »

(G.H., JBOTA₁)

Ce constat, s'il peut donner espoir de la valeur transformatrice de la montagne, porte en lui le risque de ce que Maris (2018) appelle la « référence dégradée » : l'habitation progressive à un environnement/espace dégradé, impacté. Cette référence, sans cesse redéfinie au fil des générations, rendrait acceptable la dégradation environnementale.

6.2.2.3 Valeur transformative de la connaissance botanique ?

La transformation de l'imaginaire vise essentiellement celles et ceux qui ne vivent pas de la montagne, qui ne s'y meuvent pas au quotidien. Pour les guides interrogé-es, cette transformation est nécessaire pour proposer un autre rapport à la montagne, qui ne soit pas que consumériste, qui intègre le besoin d'évolution sociétale vis-à-vis du climat et du vivant :

« J'ai vu des clients changés. Au début, je les prends même si c'est des gros cons de PDG, car il faut bien bosser. Mais finalement la personne change, est influencée par le lieu. »

(C.K., JBOTA₁)

Mais les plantes peuvent-elles porter une valeur transformative pour celles et ceux qui vivent de la montagne et s'y meuvent au quotidien ?

« *Le fait de s'impliquer fait prendre conscience* »

(Y.T., JBOTA₂)

« *On ne voit plus [les plantes] de la même manière* »

(C.T., JBOTA₂)

« *On a presque peur de marcher sur l'herbe maintenant !* »

(S.R., JBOTA₂)

En s'abstenant de chercher une quelconque épiphanie botanique, montrer et mettre en récit une forme de vie très éloignée de celle de notre espèce peut favoriser, chez un professionnel de la montagne, une revisite de sa pratique avec clients. Plusieurs guides ont ainsi témoigné, suite aux rencontres que nous avons pu avoir (formations ou sorties communes), de leurs tentatives de prendre d'autres cheminements en montagne, impliquant, même sommairement, de « rencontrer » des plantes (figure 29).

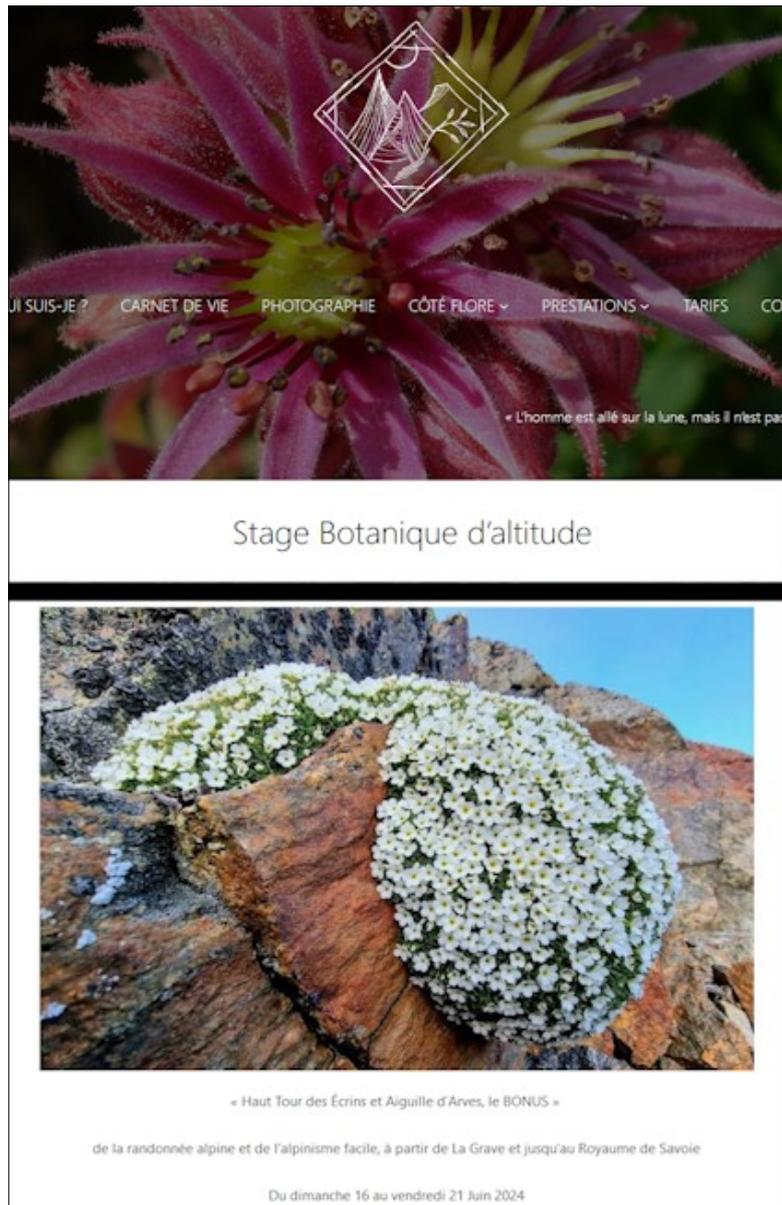


Figure 29. Exemples de propositions botaniques par des guides de haute montagne. Haut : site guide-brindemontagne.com (N. Bartalucci). Bas : <http://www.paulogrobel.com/alpinisme-escalade/> (P. Grobel).

6.2.2.4 Épilogue : de l'invisibilisation à la « starification »

Ce travail de médiation scientifique avec des guides de haute montagne a été initié avec l'ambition d'interroger le régime de perception d'un groupe professionnel *a priori* hermétique aux connaissances naturalistes.

Se reconnaissant comme totalement ignorant-es sur les plantes en 2021, c'est pourtant par l'intermédiaire de quelques un-es de ces guides « ignorant-es » qu'a été mis sous les feux médiatiques une plante à fleurs que nous avons décrite pour la science (cf.4.2) : l'androsace du Dauphiné (*Androsace delphinensis*). Découverte sur un rognon rocheux du glacier de la Girose, cette plante protégée (sous le nom d'*Androsace pubescens*) est devenue une espèce symbole de lutte contre l'aménagement du 3^e tronçon du téléphérique de La Grave (Hautes-Alpes). Ce qui a donné lieu à une tribune des collectifs « La Grave autrement » et « Mountain Wilderness », rappelant notamment la loi relative aux espèces protégées : « Monsieur le préfet des Hautes-Alpes, faites une fleur à notre glacier » (article de presse du 28 septembre 2023, Libération)⁸².

Sans être aveugle au combat politique opposant associations de citoyens, aménageur privé et pouvoir public dans lequel la présence de cette espèce est impliquée, il est marquant de voir que le régime de perception de nombreux acteurs a été transformé par l'entrée en scène d'une plante jusqu'alors invisible, et ce par l'intermédiaire de guides qui eux-mêmes ont transformé leur perception de ce qui était jusqu'alors un simple « terrain de jeu ».

6.3 Expérience de zone frontière et de décloisonnement de la science

Le travail de recherche-action menée sur le régime de perception des guides sur les plantes de haute montagne correspond à l'hypothèse que celles-ceux qui la parcourent le plus sont les plus aptes à observer ce vivant et s'en faire les médiateurs. Depuis 2021, Philippe Bourdeau (professeur de géographie et directeur de thèse) souhaitait rassembler sous forme de cordées des professionnels de la montagne, des artistes/créateur-trices et des chercheur-es :

« L'idée de départ est que la connaissance est acquise par une expérience directe du terrain [...] Il s'agit de mettre en œuvre sur le ter-

82 https://www.liberation.fr/idees-et-debats/tribunes/monsieur-le-prefet-des-hautes-alpes-faites-une-fleur-a-notre-glacier-20230924_6QCQT6TSP5HSVPVM6VUSXJQ5FE/. Libération [Internet, consulté le 22/03/2024]

rain une investigation, une enquête collective sur les transformations environnementales et sociétales en croisant les approches des sciences du vivant, des praticiens de la montagne, des sciences humaines et sociales, des créations artistiques ou documentaires »

(Philippe Bourdeau, com. pers.)

J'ai profité de son impossibilité d'organiser un tel collectif pour non seulement prendre la relève, mais y ajouter ma problématique de recherche : est-il possible, en impliquant nos corps dans un même effort (l'ascension), de créer une « culture du vivant » (cf.3.2.4.4), de transformer des régimes de perception hétérogènes et favoriser le concernement ?

C'est pour essayer de combiner les attentes de Philippe et les miennes que nous avons mobilisé un groupe de dix-neuf personnes pour un « *hot spot* » dans un « *hot moment* » : trois jours entre le refuge de Temple-Écrins (2410 m) et le sommet du pic Coolidge (3775 m), fin août 2022.

6.3.1 L'arrivée

Lundi 28 août 2022 - 10 h

Parking de la Bérarde, en rive droite du Vénéon.

Le groupe se rassemble sous l'ombre des bouleaux. Sont présents :

- Victor Andrade, ingénieur d'étude à l'Institut d'urbanisme et de géographie alpine (IUGA), Université Grenoble Alpes ;
- Isabelle Arpin, chercheuse en sociologie à l'INRAe de Grenoble et co-directrice de la Zone Atelier Alpes ;
- Cyril Barbançon, réalisateur et cadreur indépendant ;
- Richard Bonet, écologue et responsable service scientifique du Parc national des Écrins ;
- Thomas Bonet, étudiant à l'Université Grenoble Alpes ;
- Isabelle Boulangeat, chercheuse en écologie à l'INRAe de Grenoble ;
- Philippe Bourdeau, professeur à l'Institut d'urbanisme et de géographie alpine (IUGA), Université Grenoble Alpes ;

- Brad Carlson, guide à la Compagnie de Chamonix & chercheur au Centre de recherches sur les écosystèmes d'altitude (CREA) ;
- Sébastien Constant, guide indépendant, auteur et éditeur de topoguides ;
- Cédric Dentant, botaniste au Parc national des Écrins et doctorant en géographie à l'Université Grenoble Alpes ;
- Jacqueline Farmer, réalisatrice, productrice et preneuse de son (Saint Thomas Production) ;
- Cécile Guillard, dessinatrice et auteure de BD ;
- Abdou Martin, guide à la Compagnie Écrins-Oisans ;
- Rozenn Martinoia, chercheuse en sciences sociales au Centre d'études et de recherches appliquées à la gestion (CERAG), Université Grenoble Alpes ;
- Sylvie Randonneix, productrice audiovisuelle (Saint leThomas Production) ;
- Benjamin Ribeyre, guide et président de la Compagnie Écrins-Oisans ;
- Benjamin Sarfati, producteur et juriste audiovisuel (Saint Thomas Production) ;
- Marion Wintrebert, artiste et présidente de l'association L'envers des pentes.

Les échanges fusent avant une prise de parole plus formelle :

« Ça fait plaisir de te voir, mais va quand même falloir que tu nous dises ce qu'on fait là ! »

« J'ai dit que j'allais en Oisans. Et quand on m'a demandé ce que j'allais faire pendant 3 jours... Et bein, je savais pas trop quoi dire ! »

« Je t'avoue qu'on m'a dit où on allait. Mais je n'ai aucune idée de pourquoi on est venu ! »

« Mille pardons de ne pouvoir venir, grrr, j'enrage ! »

Il peut sembler surprenant que celles et ceux qui sont physiquement présents ne sachent pas précisément pourquoi ils-elles sont venu-es, et que celles et ceux qui ne peuvent venir le regrettent. Le flou d'une proposition d'observation partagée du vivant (humain et non-humain) ne peut assurément expliquer une telle situation. Qu'est-ce qui pousse des personnes *a priori* douées de raison à oser s'extraire de la pression des contraintes professionnelles et personnelles pour rallier l'inconfort d'une incertitude expérientielle ?

Le désir s'est exprimé d'abord comme géographique : le lieu de l'expérimentation, à savoir les hautes montagnes de l'Oisans et leur part « sauvage », le sublime de leur structure, le délice de leur isolement. La temporalité est un attrait moins évident en premier lieu, car elle requiert d'être « consommée » pour être pleinement appréciée : trois jours en refuge assimilables, dans une société de l'urgence, à un luxe temporel. Enfin l'humain, car personne n'était un-e inconnu-e, tout un chacun avait *a minima* une connaissance à retrouver. Le « graal » ne s'était pas encore révélé : l'absence de réseau téléphonique et 4G. Cette déconnexion s'est révélée un précieux atout pour la construction d'un collectif non virtuel.

Nous formions ainsi, au bord du tumultueux Vénéon, une assemblée de corps prêts au mouvement, et ce dans un cadre géographique tacitement désiré : la haute montagne. Cet espace semble agir comme un indéfectible et puissant aimant émotionnel. L'explication la plus synthétique jamais avancée pour expliquer ce phénomène fut donnée par Georges Mallory : « *Because it's there !* ». Notre espèce est particulièrement sensible à la démesure chez les autres êtres vivants, plébiscitant dans les logiques de protection des êtres massifs (comme la baleine bleue, le grizzly ou le séquoia géant) (Miralles *et al.* 2019). L'attraction de la haute montagne agit-elle ainsi avec d'autant plus de force que ces massifs nous submergent ? Isaac Newton a montré qu'un corps quelconque attirait en proportion de sa masse tout autre corps. On me rétorquera qu'il parlait de force « physique », non d'attrait émotionnel. Mais ce serait passer à côté de la complexité du grand scientifique. Newton n'a pas seulement utilisé des mathématiques pour avancer sa théorie : il a eu littéralement foi en elle. À ses yeux, la communication entre les anges étant faite sans matière, sans médium, Dieu devait assurément faire de même avec les corps célestes (Schaffer 2011). Comme l'avait dit avant lui Galilée, il ne restait plus qu'à décrypter l'œuvre divine à l'aide des mathématiques. John Maynard Keynes (1946) – philosophe avant de devenir célèbre économiste – dit ainsi de Newton : « *Newton n'a pas été le premier des rationalistes. Il a été le*

*dernier des magiciens.*⁸³». Et de poursuivre par cette phase éclairante : « [Newton a été] *le dernier des Babyloniens [...] qui a regardé le monde visible et intellectuel avec les mêmes yeux que ceux qui ont commencé à construire notre héritage intellectuel il y a un peu moins de 10 000 ans.*⁸⁴ »

Regarder différemment ? Se mettre à la place de ? « Travailler à ensauvager la pensée » (Poirier 2023, p.340) ? C'est dans ces logiques que nous sommes rassemblés à la Bérarde, prêts à nous mettre en marche.

6.3.2 Penser avec ses pieds

Le pari de cet atelier, zone frontière entre disciplines, est que la mixité des modes d'observation (liés au domaine exercé) et des régimes de perception (Arpin et al. 2015) peut produire de la connaissance. Cette ambition scientifique prend racine dans une conception du monde considérant l'expérience corporelle, sensible (relative aux sens), comme étant un puissant moteur de réflexivité (Abram 2021). Cette approche, conceptualisée sous le terme de « phénoménologie », était même considérée par son inventeur, le philosophe Edmund Husserl, comme nécessaire à la bonne marche des sciences de la nature (Barbaras 2008).

Des corps observant... Mais quoi ? Les pratiques humaines de la montagne ; la montagne elle-même en tant qu'espace en transformation sous le nouveau régime climatique (Latour 2015) ; le vivant, en insistant sur le végétal, souvent aussi présent qu'invisibilisé.

Quelle méthodologie utiliserons-nous ? La marche et la grimpe.

6.3.3 Rencontre de l'indisponible

Lundi 28 août 2022 - 11 h 06

83 «*Newton was not the first of the age of reason. He was the last of the magicians.* »

84 «*the last of the Babylonians [...] which looked out on the visible and intellectual world with the same eyes as those who began to build our intellectual inheritance rather less than 10,000 years ago.*»

Sentier en direction du Carrelet. Nous sommes 18 sur le chemin⁸⁵. Les guides discutent avec les guides, les chercheurs avec les chercheurs, les créateurs avec les créateurs. Les affinités thématiques forment l'entrée intuitive de mise en route d'un groupe qui n'est pas encore un collectif. Elles peuvent en devenir un frein si elles ne s'épuisent pas (« on ne connaît bien que ce qu'on a apprivoisé » dirait le renard du Petit Prince). Il semble ainsi nécessaire d'épuiser les retrouvailles et le grégarisme spécifique pour qu'une mécanique aussi neuve que paradoxale se mette en route : donner naissance à un collectif humain tout en s'ouvrant aux autres manières d'être au monde (les plantes par exemple ?). Le temps donné à cet atelier prend ainsi et déjà une autre dimension : celle de l'érosion nécessaire des *habitus* du quotidien et des domaines d'expertise.

Un premier repas en commun commence à faire son effet. Les dialogues s'installent. On fait connaissance : beaucoup entre humains, un peu avec le laurier de Saint Antoine (*Epilobium angustifolium*).

Lundi 28 août 2022 – 15 h

Refuge de Temple-Écrins

Déploiement du projet par Philippe : documents historiques, illustrations de topoguides, cartes géographiques, carnets et stylos pour récolter tout matériau en fonction de son mode d'observation, de sa sensibilité personnelle. Il s'agira au travers d'une ascension partagée de tenter de « subvertir le partage entre savoir et sensibilité » (Zhong Mengual 2021) et d'être de « ceux qui allient *savoir et sensibilité*, postulant ainsi qu'un savoir transforme notre sensibilité et qu'une sensibilité fine nous permet de comprendre mieux ». En mobilisant des personnes aux modes d'observation diversifiés, notre idée n'est pas d'ancrer cette dualité entre savoir (par la science) et sensibilité (par la création), mais bien au contraire de « froter » les regards, les approches, les perceptions. Pour reprendre la citation d'Ivan Illitch donnée par Philippe : « L'essentiel est que la pensée sorte de ses gonds ». On passe ainsi d'un ATBI standard (*All Taxa Biodiversity Inventory*) à un ATBI revisité (Approche Terrain Basée sur l'Interdisciplinarité).

Les cordées sont constituées avec un soin porté à mixer les profilés (incluant les genres). Chacun·e est ensuite laissé·e libre, avec les membres de sa cordée, d'étudier les documents,

85 Pierre Commenville, directeur du Parc national des Écrins, nous rejoindra pour la soirée et la journée du 29/08/22

repérer le parcours. Le levé du lendemain est prévu à 3 h du matin, mais le repas du soir poursuit le liant du groupe. Ce qui fera dire à une participante :

« Habituellement, je fuis les refuges par recherche de solitude. Venir en groupe dans un refuge est un peu contre nature dans mon approche de l'altitude. Mais ma tension initiale s'est finalement facilement évacuée grâce à un collectif qui s'est agréablement structuré »

Mardi 29 août 2022 – 3 h

Départ du refuge de Temple-Écrins pour le Pic Coolidge (3775 m). D'abord seulement les lumières des frontales et le silence. Puis discussion entre certains participants. Souhait de silence des un-es, désir d'échange des autres. Un des guides précisera :

« En fait, la marche de nuit, au petit jour, n'a plus la même solennité pour nous qui la faisons très souvent. Alors on en profite pour discuter ».

Mauvais début ? Pas pour tout-es :

« j'ai aimé entendre les voix, comme une cadence donnée à nos pas... pareil avec le cliquetis des bâtons sur la roche »

En levant la tête vers le sud, Jupiter se montre insolente de luminosité vis-à-vis des autres astres. En ramenant les yeux au sol pour assurer une saine succession des pas, plusieurs opilions croisent notre chemin. Étranges arachnides sur huit longues pattes, dont le nom signifie « berger » en latin (*Opilio*). Peut-être mènent-ils discrètement et secrètement notre troupeau de primates habillés.

Une fois la luminosité du jour suffisante pour éteindre les frontales, la marche prend une autre forme : sa géographie devient habitée. Par les montagnes, la tête relevée ; par les plantes, les yeux concentrés. Benoîte rampante (*Geum reptans*), linnaire alpine (*Linaria alpina*), saxifrage à feuilles opposées (*Saxifraga oppositifolia*). Apprendre à voir n'est pas une question de spectre lumineux. Le corps des plantes n'a pas d'invites cognitives : pas d'yeux, pas de nez,

de bouche, de bras. Pas même de quoi lui attribuer l'intentionnalité qui ferait, avec notre corps, l'essence de notre être (Descola 2005). « *Les petites fleurs ne me font rien, il y a rien qui accroche* ». Indisponibilité du corps végétal (Zhong Mengual 2021), êtres « irrésolus » (Pierre Lieutaghi com. Pers.) : les plantes sont si éloignées de notre manière d'être au monde que s'y intéresser demande un effort cognitif bien plus important que lorsqu'il s'agit des animaux. Parmi les participants, des regards adhèrent, suivent. « *On ne peut de toute façon pas tout voir* » (Isabelle A). Ni non plus être touché-e par toute chose, toute manière d'être au monde. Mais peut-on *a minima* avoir de la considération, des égards même pour les êtres qui « n'accrochent pas » ? D'autres cosmologies le font (Descola 2005). Et s'il me semble absurde d'essayer pâlement de les copier via des formes d'ésotérismes préfabriqués (sylvothérapie, chamanismes New-Age), essayer de comprendre leur logique pour repenser la nôtre pourrait avoir des vertus au vu des deux crises majeures issues de la pensée dualiste occidentale : le dérèglement climatique et l'effondrement de la biodiversité (Maris 2018).

Nous arrivons au col de la Temple. Le névé « historique » de son versant isérois a totalement disparu cette année. Les « neiges éternelles » ont perdu leur éternité. Ce terme encore entendu abondamment dans mon enfance a totalement disparu à l'âge adulte, comme un marqueur sémantique de l'accélération du réchauffement des Alpes. Les canicules et sécheresses de cet été se font oubliées dans le froid et la grésillement qui nous accueille à 3500 mètres d'altitude. Nous tombons rapidement d'accord pour renoncer au sommet et profitons d'une improbable fenêtre de ciel au travers des nuages pour contempler le lever du soleil.

Le temps est désagréable, mais l'ambiance humaine est chaleureuse, la lumière magnifique. Café et thé mis en partage réchauffent les corps. Comme souvent dans les conditions quelque peu difficiles, l'attention des un-es envers les autres aide à solidifier un sentiment de collectif. Le sommet abandonné, nous descendons côté haut-alpin pour aller voir l'ancien bivouac de la Temple. Les restes de ce cabanon en bois, de section triangulaire, sont encore bien visibles : la moitié du plancher est étonnement encore présente, ainsi qu'une IPN (poutrelle en acier)



Figure 30. Ruine du bivouac de la Temple. Photo Ph. Bourdeau.

incroyablement torsadée. Choc avec une (énorme) pierre ? Nous récoltons un nombre conséquent de déchets plus ou moins anciens : boîtes de sardines et de maquereaux oxydées, sachets de purée de fruits, fourchette, inévitables, sacs plastiques... Même dans la partie sauvage des Alpes sauvages, les traces humaines sont légion. La remontée au col se fait sous un ciel clément. Le renoncement au sommet a fondu comme la neige : plusieurs participant-es sont motivé-es pour tenter de monter un peu dans sa direction, de voir un peu au-delà du col. D'autres préfèrent redescendre vers le refuge. Je m'encorde avec Jacqueline tandis que Victor, initialement prévu dans ma cordée, accompagnera la redescente. Les vires à escalader offrent une magnifique diversité de plantes. Nous prenons le temps de les regarder, les nommer, interroger leur biologie, leur présence. Une cordée est déjà loin devant (Abdou, Pierre et Thomas). Les quatre cordées que nous formons avancent telle une procession bien

orchestrée, joyeuse malgré le rocher encore un peu glissant. Arrivés au ressaut où venait mourir un glacier à présent fossile, nous remixons les cordées : Jacqueline redescendra avec Brad et Marion. Je file pour ma part derrière Isabelle A et Cyril, pétri-es de motivation du sommet, mais dépourvu-es de corde. Je passe ainsi devant les restes léprosiques du glacier du Coolidge sans vraiment les voir. Être co-responsable de l'organisation de la rencontre oblige et aveugle. Nous formons ainsi deux cordées de trois personnes à rejoindre conjointement le sommet (autre cordée : Sébastien, Rozenn et Richard). Pour la première fois, je monte au sommet du Coolidge sans crampons. La zone sommitale a été désignée *locus classicus* pour l'androsace du Dauphiné : elle est la zone de référence pour observer cette espèce décrite en 2021 après plus d'une dizaine d'années d'échantillonnage et de recherche (cf. chapitre 4). C'est ainsi l'occasion de discuter avec les autres participants de taxinomie, cette science à l'origine du classement du vivant et du concept de biodiversité. Une cordée est déjà là-haut (Abdou, Pierre et Thomas), et c'est avec elle que la mienne redescend. Dans le mouvement, j'en oublie de récupérer un précieux capteur de température placé là depuis trois ans. L'étourderie n'a pas le même coût énergétique suivant où elle se produit.

De retour au replat du glacier moribond, Benjamin R, resté sur place avec Isabelle B et Cécile, nous fait remarquer la singularité du glacier résiduel, formé de cercles concentriques de neige. En prenant le temps de voir, l'aspect de cet amas neigeux est en effet saisissant. Et d'une remarquable esthétique. Les délimitations verticales sont suivant toute logique les marqueurs annuels d'accumulation neigeuse. Mais les cercles concentriques ? Benjamin avance l'hypothèse d'un réchauffement différentiel : les roches environnantes encerclant le reste de glacier, la chaleur qu'elles restituent aurait plus d'impact sur les marges de l'amas, celles-ci fondant plus vite que son centre, plus éloigné des roches (cf. dessin ci-dessous de Cécile – figure 31). Nous redescendons avec cette séduisante hypothèse et cette belle rencontre, conservées jusque dans ces lignes. La descente jusqu'au refuge est longue et mêle observations avec discussions suffisamment personnelles pour le rester.



Figure 31. Lac glacé aux strates concentriques. Source : photo Cyril Barbançon; dessin ©Cécile Guillard.

6.3.4 Une connaissance en train de se créer (sans le dire)

Mardi 29 août 2022 – 16 h

Refuge de Temple-Écrins

Repas, repos et étirements occupent une partie de l'après-midi. Pierre et Thomas nous quittent et redescendent plus tôt. Vers 17 h, il est proposé de faire le point par cordée et par personne sur les observations faites, le poids ou l'élan de l'ascension pour les réaliser, le bilan intellectuel et émotionnel de l'expérience, le tout disposé sur des schémas du parcours (datés, car issus de topoguides eux-mêmes d'un autre siècle).

Mardi 29 août 2022 – 17 h

Refuge de Temple-Écrins.

Que retenir de ce parcours en haute montagne ?⁸⁶

La géographie

« C'est rare de pouvoir visiter les recoins de la montagne comme ça »

Écrit : « Expérience très particulière → sommet n'est pas un objectif donc plein d'autres choses peuvent se passer sans pression [...] Cordée hétérogène très pertinente pour changer d'approche. »

Écrit : « On marche sur des cailloux qui n'avaient pas vu le pied de l'homme avant cette année... Tristesse. »

Écrit : « Bord du monde Est : ne pas se pencher ! »

La météo

« On a eu une chance incroyable avec la météo. Le jeu du mouvement des nuages au sommet était magnifique. »

Écrit : « Ambiance sombre, nuage, neige, éboulement, froid... »

86 « italique » = propos oraux. La catégorisation des propos cités et écrits est une proposition personnelle.

Le temps (durée)

« J'ai eu tout le temps de bien regarder la lentille de glace ! »

« La fonte de cette lentille, avec la canicule, c'est la perte d'informations de plusieurs années en quelques semaines... »

« C'était un voyage à travers le temps (durée et météo) et les émotions ! »

Écrit : « Aller-retour dans le temps vers les ruines du bivouac [de la Temple]. »

Les corps

« C'était beau de voir comment certains ont une approche organique du terrain »

« J'ai aimé voir les mains sur les rochers, voir la négociation du corps avec la montagne »

Écrit : « D'un praticien : "arrête le combat, commence la danse !" — "Être à la bonne place, c'est tout un art !" »

Écrit : « [...] là-haut nous ne sommes qu'humain, c'est tout, mais c'est déjà beaucoup. »

Écrit : « [...] corps et gestes négocient avec l'environnement. Contact avec la roche. »

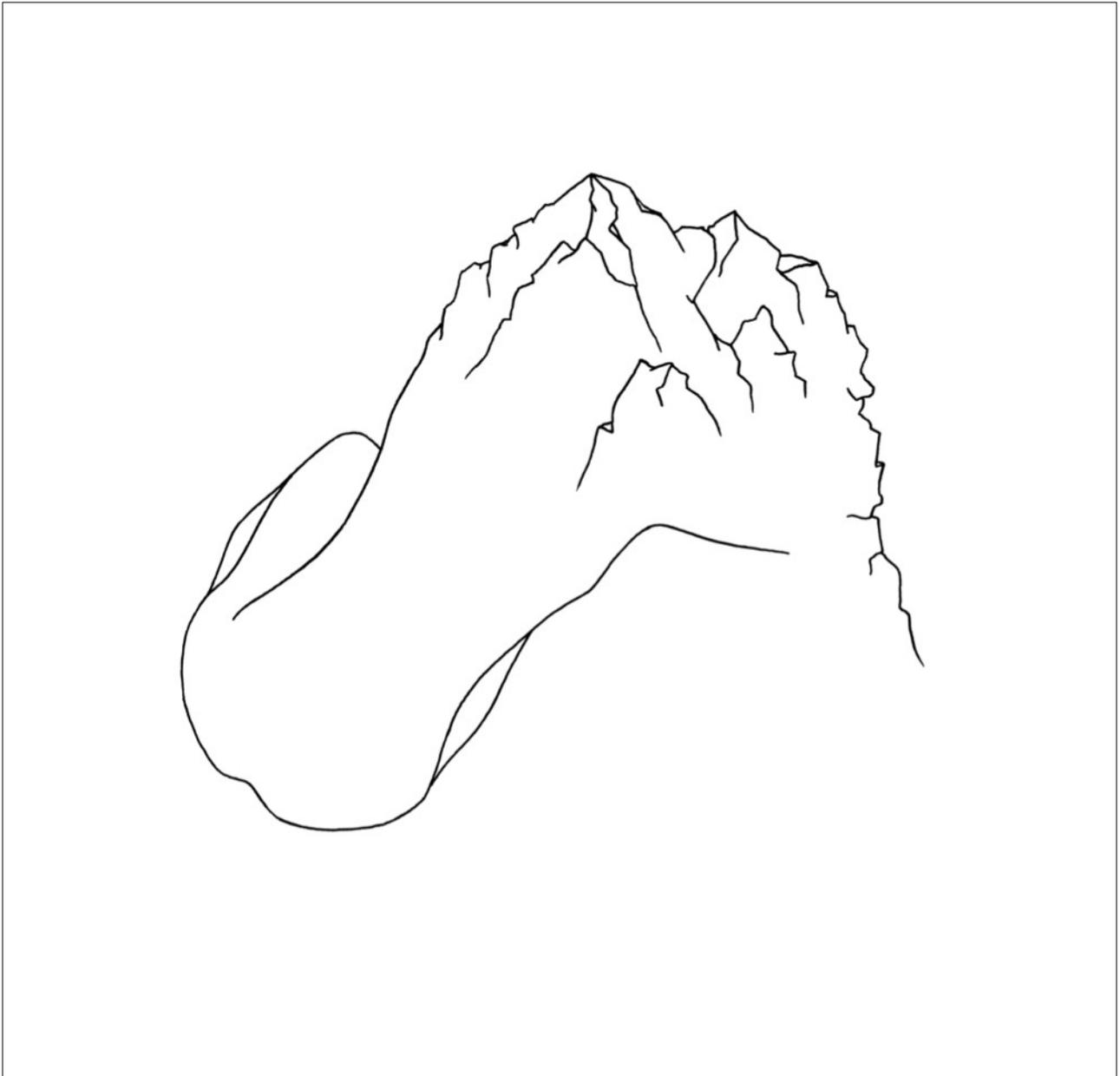


Figure 32. Dessin « Dans les plis du paysage, extrait 2 » ©Marion Wintrebert.

Les sons

« Pendant la marche du matin, j'ai été gêné par la difficulté dans la mise en place du silence »

« On n'a entendu qu'un seul oiseau ! J'ai été étonné de cette absence de bruit. Mais le choc des pierres qui chutaient, dans la face nord d'Ailefroide, c'était un cadeau incroyable ! »

Écrit : « Voix humaines (les nôtres seulement) genrées / Bruit des pierres, dans les pierres (bâtons)[...]/ “grognement” du glacier / 1 oiseau, 2 insectes (où êtes-vous?) / Vent »

Écrit : « Mountain soundscapes »

Écrit : « Walkscapes ? »

Les altérités

Écrit : « Silène acaule (~300 ans) avec une dizaine d'espèces autres = facilitation »

Écrit : « Feuilles de myrtille complètement rouges ! Typique d'une fin d'automne. Notion de “jamais vu” dans un contexte de changement rapide ».

Écrit : « Dernier rhododendron vu vers 2500 m au bord du chemin »

Écrit : « Plus de plantes là que là ! »

Écrit : « Une dizaine de chamois, près du torrent, vers 1 h 30 »

Écrit : « Oh la marmotte ! »

Écrit : « les éboulements. Ressenti très émouvant. La montagne, univers très minéral, me parle. »

Écrit : « Saxifrage à feuilles opposées et androsace du Dauphiné » [sommet]

Écrit : « Errance botanique sur le plateau » [avec liste d'espèces végétales]

Les émotions

Écrit : « Triste première : ascension du Pic Coolidge sans toucher la neige »

Écrit : « Les mots – tristesse, colère, inquiétude, perte, mais aussi le mot émerveillement – comment garder l'émerveillement, le retrouver face aux changements ? »

Écrit : « Il faut réapprendre à marcher, sans crampons, sur les décombres du capitalisme »

Écrit : « Levé de soleil : splendeur improbable, magnificence inespérée !!! Vive la vie. »

Repas à 18 h 30. Difficile de développer, même si les discussions dérivent et déroulent. La fatigue d'un lever à 3 h du matin facilite la fin du négoce intellectuel.

Beaucoup a été écrit sur les altérités et les émotions, peu a été exprimé oralement. Dans une discussion entre humains, arrive-t-on si facilement à prendre la parole pour les non-humains ? Demain est un autre jour.

Mercredi 31 août

Refuge de Temple-Écrins.

Marie Gardent, gardienne du refuge, nous expose son travail, son évolution dans le métier, sa relation à Refuges Sentinelles, mais aussi à l'Envers des pentes et toutes les ouvertures que cela amène. Marie garde vivante sa manière de voir les glaciers, même si ceux des environs sont « comme les enfants qu'on élève et qu'on ne voit pas grandir ». La science continue d'influencer son regard (Marie a passé un doctorat en géomorphologie).

Débriefing des 2 jours passés avant la redescente à la Bérarde :

« On n'a pas envie que ça s'arrête déjà ! C'est quand la prochaine fois ? » (Cécile)

« Ça a déjà été l'occasion de monter les projets de demain ! » (Richard)

« Qu'est ce qu'on va faire de toute cette matière ? Sentiment que le plus dur reste à faire pour la valoriser. On patauge ! Comment véhiculer tout ça de manière accessible ? » (Isabelle A)

« La descente est parfois un moment de solitude qui remet les idées en place ! Le corps en mouvement aide à réfléchir ! » (Isabelle B)

« Je retiens la richesse de toutes ces voix, la richesse d'un collectif très puissant. » (Sylvie)

« Je retiens la façon d'aborder la montagne, de flâner, d'errer. La montagne devient support et prétexte pour profiter parce qu'on est

bien là [...] » (Sébastien)

« Ça a été une expérience régénérative ! Reste une question en suspens pour moi : comment on rémunère l'environnement ? On le fait pour les guides, les gardiens. Et la montagne ? » (Brad)

« J'ai été marqué par l'intensité de la rencontre sans caméra. Et la force que ça a de s'inscrire dans quelque chose ensemble ! » (Cyril)

« C'est balaise d'avoir pris le risque d'organiser une telle rencontre, cette approche décalée, avec une temporalité enthousiasmante ! » (Benjamin S)

« On a eu une chance énorme : on n'avait pas de réseau ici ! » (Benjamin R)

« C'est beau et précieux d'être dans ce genre de lieu : pas de téléphone, de la promiscuité, de l'effervescence... C'est très riche et ça apporte bien plus : on se rencontre de manière plus forte. » (Marion)

« On a toujours un but, et on est concentré sur ce but. C'est très rare de partir comme ça, sans but formel, sans concentration sur ce qu'on a à produire. » (Jacqueline)

Philippe essaie de voir quel dispositif d'observation pourrait être mis en place, poursuivi.

Après tout :

« Refuges Sentinelles a cette capacité à rassembler les gens, prendre le temps de se poser et d'échanger »

Puisque de manière inattendue, j'ai le mot de conclusion, j'insiste sur le fait que la « science en action » (ou en train de se faire) – terme et ouvrage de Bruno Latour – est souvent invisibilisée : on aime la science publiée, celle des prix Nobel, celle qui n'est plus en débat. La science faite avec des doutes, de la sueur et des taches de café – en somme la science mal aimée, car absente des podiums de la renommée, c'est peut-être elle que nous avons essayée de valoriser pendant ces trois jours : prendre le temps de l'expérimentation, laisser se froter les régimes de perceptions pour peut-être générer de la connaissance – ou tout du moins un cheminement vers de la connaissance. C'est ce que certains auteurs qualifient de « *ground theory* » (Yeung 1997) – une théorie inductive, qui émerge d'expériences de terrain sans préconçu théorique. Est-ce en cela que le dispositif de ces trois jours peut être considéré comme réussi – au-delà des émotions positives de chacun·e ? Cet espace-temps a offert les conditions favorables (temporalité, lieu, diversité des modes d'observation) à une science « en train de se faire », sans qu'elle ne réponde à l'image d'une recherche, qui pour prouver son sérieux, doive être nourrie de sang et de larmes. Elle s'appuya au contraire sur la démesure esthétique de la haute montagne et l'assemblage d'un collectif joyeux dans son mode réflexif.

6.4 Conclusion du chapitre 6

La meilleure conclusion revient à un participant de l'ATBI : nous repartons pour certain·es avec « *des questions fortes et non résolues* ». L'« ethnobotanique du vide » décrite dans ce chapitre ne permet pas, comme pour le reste du champ de l'ethnobotanique, de conclure sur la causalité d'usage, de coutume, de croyance en relation avec le vivant végétal. Ici, il est question de savoir pourquoi ce vivant est invisibilisé, pourquoi il est si difficile, dans une société moderne ayant transformé la montagne en terrain de jeu, de modifier son régime de perception ?

Ce régime de perception, au fil des entretiens, que ce soit avec des guides, des chercheurs ou des artistes, ne semble pouvoir évoluer sans « disponibilité émotionnelle » (Gabillet 2021) et de ce que certain·es auteur·es nomment « concernement » – à savoir l'émergence d'une relation à un être, un objet : « le rapport que j'ai à une chose est aussi le rapport que

cette chose a avec moi, en tant que je suis touché par elle » (Brunet 2008). Faire évoluer le régime de perception peut passer par des formes d'apprentissage (« apprendre à voir » via des textes, conférences, formations, etc.), des mises en récit (textes, BD, contes, etc.). Ou encore « faire silence », pour reprendre l'expression de la philosophe Clara Poirier (2023), qui n'implique pas seulement le mutisme, mais aussi de « renverser la balance entre le bruit que nous produisons et le peu de place que nous laissons à l'écoute des êtres autres qu'humains dans nos activités et dans l'aménagement de nos vies [...]. Il s'agit aussi, dans un sens plus figuré, de déposer pour un temps nos habitudes de rencontre du monde, afin d'avoir la possibilité de les questionner » (Poirier 2023, p.14).

Mais lorsque « ça n'accroche pas », lorsque « on s'en bat les c... ! », comment parvenir à générer un concernement *a minima* ? Comment faire en sorte que, sans nous intéresser aux plantes, sans véritablement les regarder, nous puissions *a minima* développer des égards pour elles (Morizot 2020), un minimum de considération pour des êtres vivants qui rendent notre planète habitable – et concourir ainsi à garder notre planète habitable ? La science pose plus de questions qu'elle n'en résout. Car si « l'éthique environnementale ne parvient pas à transformer un système capitaliste globalisé », c'est « au contact de la grande diversité des êtres naturels que nous rencontrons [que] chaque personne découvre ses différentes facettes et apprend à les ajuster » (Poirier 2023).

Chapitre.7 Faire de la science du vivant un art ?

Recherche-création d'une bande dessinée scientifique

7.1 Introduction

Un travail scientifique commence toujours par une idée.
Quelle que soit la discipline, mathématique ou histoire, physique ou littérature,
  la base il y a toujours une idée.



Le scientifique se questionne sur son sujet, engendrant ainsi d'autres idées,
qui elles même engendrent d'autres idées.

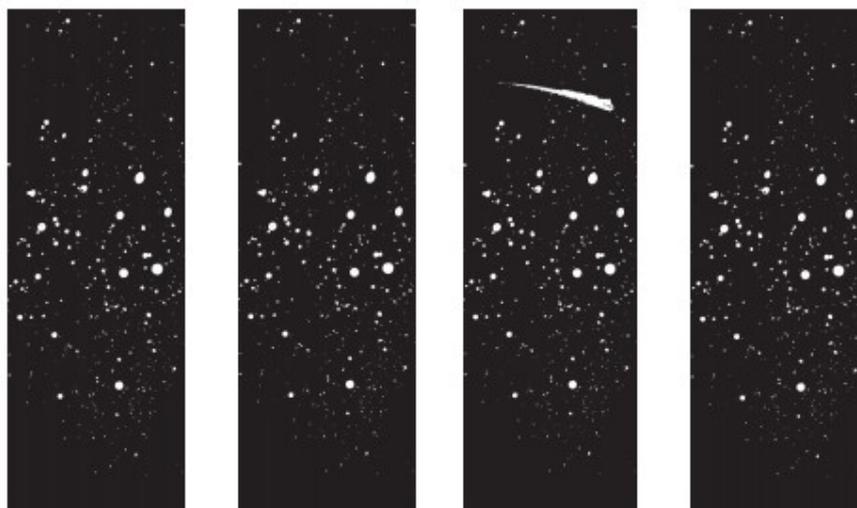


 Matthieu Siam

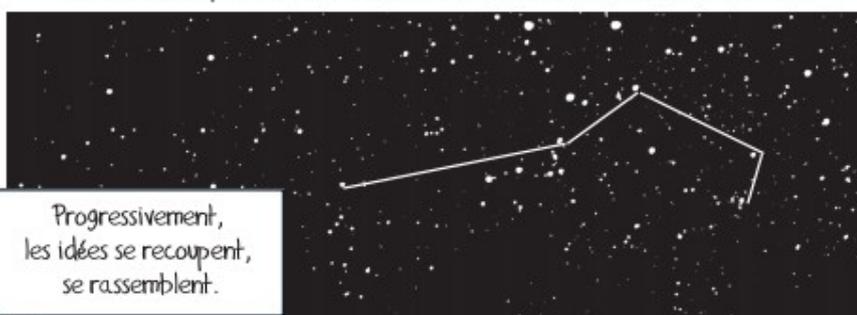


Au bout d'un moment, il se retrouve
avec autant d'idées que d'étoiles
dans un ciel d'été.

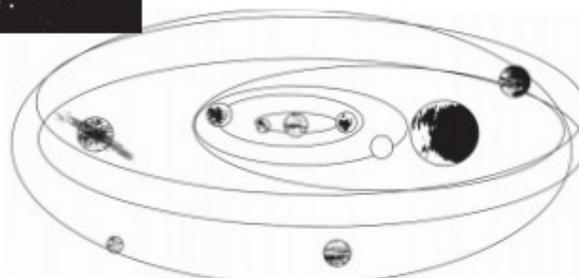
Le chercheur les observe.
La réflexion s'installe.

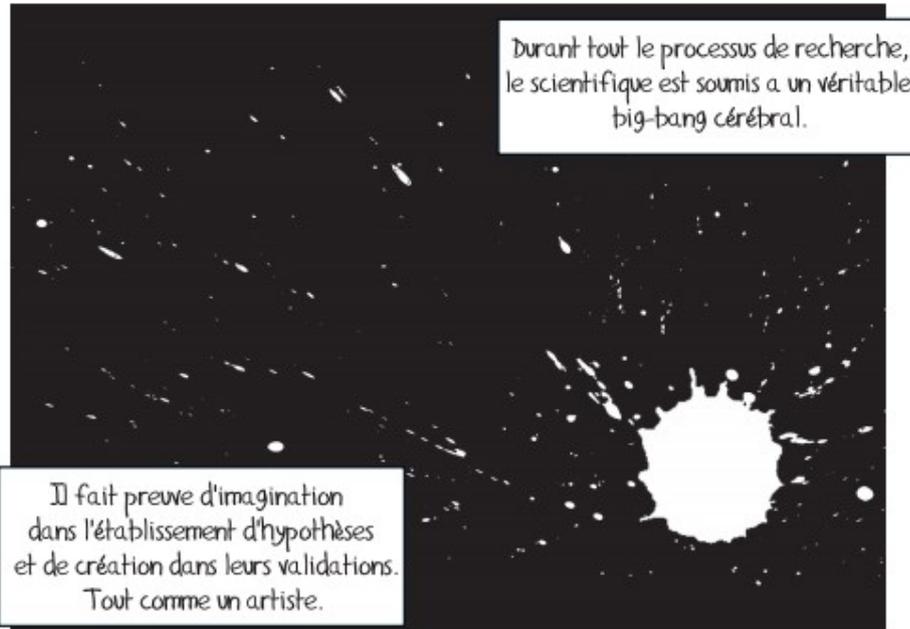


Commence alors un travail de fiabilisation.
Les idées sont parfois filantes, séduisantes mais demandent à être triées.



Des grands ensembles apparaissent
et finissent par se structurer
dans un plan harmonieux et équilibré.





L'artiste est lui aussi soumis à un choc.
Un choc esthétique qu'il essaie de retranscrire dans son art.



Sur le fond, les méthodes de production sont très similaires entre un artiste et un scientifique.
Tous les deux utilisent les mêmes processus durant les différentes phases, de l'état de saisissement à l'exploitation.

Cette citation visuelle et introductive de Siam (2017) pose une question de fond sur la teneur d'un hybride entre un-e scientifique et un-e artiste. Il ne semble plus à craindre de nos jours de voir la forme récusée pour « illégitimité » par les canons d'évaluation de la science académique. Comme le souligne Labarre & Bardiaux-Vaïente (2017), « le paradigme de la bande dessinée de recherche émerge [...] dans un contexte où l'idée de bande dessinée documentaire se banalise ». Nous verrons dans ce chapitre⁸⁷ que cette banalisation n'est pas sans écueil et ni fantasme.

Même s'il ne la nomme pas ainsi, l'idée d'hybride proposée par Siam repose aussi sur l'exposition visuelle, sur l'importance de rendre visible ce que Sousanis qualifie de « *ideas being embodied in the form* »⁸⁸ (in Labarre & Bardiaux-Vaïente 2017, p.14). Ce point est central dans ce chapitre : il ne s'agira pas d'utiliser la bande dessinée, de la subordonner à un désir scientifique, mais d'expérimenter la création d'un autre récit des plantes de haute montagne et des scientifiques qui les étudient. L'objectif de notre recherche n'est pas de faire l'exégèse du mode narratif de la bande dessinée⁸⁹ ni des structures sociales de sa production⁹⁰. Si nous faisons référence à ces deux types de recherche, notre objectif est clairement de faire état d'une recherche-crédation sur la mise en récit des connaissances issues des chapitres précédents. Ainsi, à la suite des expérimentations de recherche-action précédemment décrites, il s'agira de décrire une recherche-crédation interrogeant la relation entre science et art narratif.

87 Les parties 7.1 et 7.2 ont été mises en forme d'article, lequel a été soumis à la revue *Natures Sciences Sociétés* (27 juillet 2023). Contrairement aux autres articles au sein de cette thèse, cette soumission a eu lieu après la rédaction du chapitre, ce qui explique que sa structure initiale soit conservée.

88 « les idées s'incarnant dans la forme »

89 pour se faire, se référer aux travaux de Th. Groensteen « Système de la bande dessinée » I (1999) et II (2011) ainsi que des leçons de B. Peeters au Collège de France (<https://www.college-de-france.fr/chaire/benoit-peeters-creation-artistique-chaire-annuelle>) [visité le 9/02/2023].

90 cf. thèse de Pierre Noécrino 2020 dans la partie «Références ».

7.2 Les dessous d'un hybride « art et science »

7.2.1 Goethe : l'artistique-scientifique « primordial » de la bande dessinée

D'aucuns pourraient trouver alambiqué le fait d'associer le mode narratif de la bande dessinée à une science étudiant les plantes dans une marge géographique (la haute montagne). Il existe toutefois une figure tutélaire capable, par le puissant principe d'autorité, de museler le scepticisme : Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832). Le poète, excellent botaniste et physiologiste, émit dès 1790 une théorie sur l'origine commune de différents organes végétaux des plantes à fleurs (*De la métamorphose des plantes*). Il développa même une vision dynamique de ces plantes, considérant qu'elles dérivaient toutes d'une plante primordiale : l'*Urpflanze* (Daston & Galison 2012, p.86). Encore quelque peu éloignée de la théorie de l'évolution élaborée par Darwin et Wallace, l'*Urpflanze* – la plante type – par sa pertinence théorique, est d'abord un modèle explicatif de la diversité non aléatoire des plantes à fleurs : « je suis de plus en plus certain que la formule générale que j'ai découverte s'applique à toutes les plantes. Grâce à elle, je peux d'ores et déjà expliquer les formes les plus idiosyncrasiques, par exemple

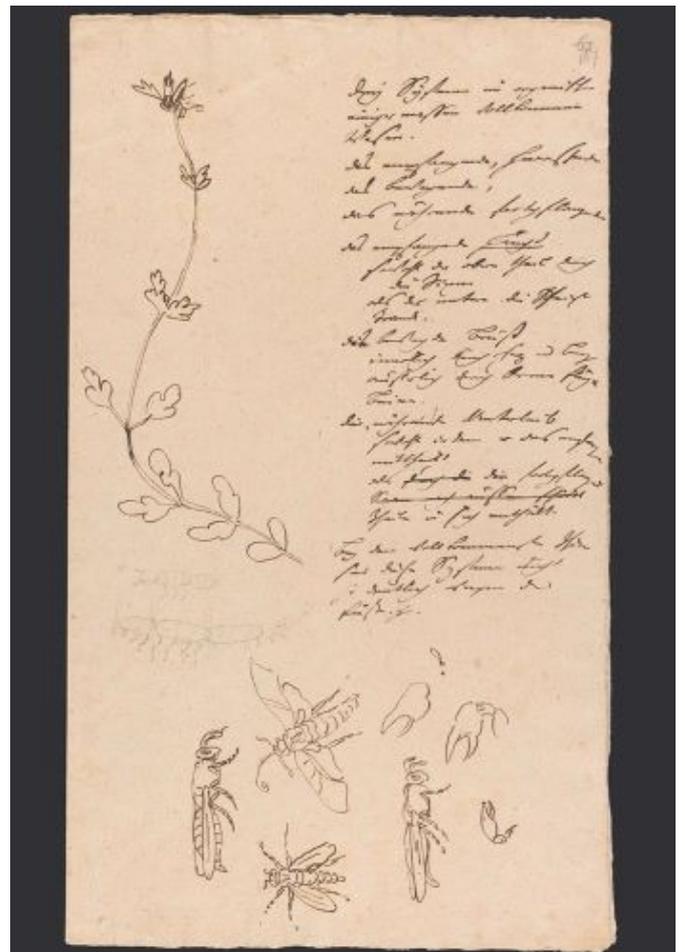


Figure 33: Dessin de Goethe de la plante type (« Urpflanz »). Source : blog-archiv.klassik-stiftung.de

la passiflore, l'arum [le lys], et les mettre en parallèle » (in Daston & Galison 2012, p.87 – figure 33). Cette passion pour les plantes s'est couplée avec l'amitié profonde et durable avec un des pères de la biogéographie : Alexander von Humboldt. Contemporain et concitoyen, les deux hommes s'admirent mutuellement (Wulf 2017). Goethe est de 20 ans l'aîné de Humboldt, mais c'est grâce à son illustre cadet qu'il acquiert une vision holistique de la géographie des montagnes du globe (Acot 2000). Il en fera un tableau gravé en hommage à Humboldt (figure 34). Cette gravure est une des illustrations de l'importance de l'art visuel dans l'œuvre de Goethe. Il aimait le dessin, sans en faire une qualité aussi poussée que celle de ses écrits.

Dans la dernière décennie de sa vie, Goethe, voulant traduire en français sa *Métamorphose des Plantes*, recruta un précepteur genevois, Frédéric Soret (1795-1865). Soret était en poste à Weimar comme tuteur du futur duc de Saxe, Carl Alexander. Il va vite devenir pour Goethe plus qu'un traducteur. En effet, l'éminent poète perd fin 1830 son seul fils encore vivant : August. Attristé, de plus en plus solitaire dans la vieillesse, Goethe aurait alors projeté sur Soret une sorte de filiation spirituelle (Kunzle 1985). Sensible à la situation du vieil homme et le sachant amateur de dessin, Soret lui rapporte de Genève deux exemplaires d'un journal illustré, teinté d'humour, réalisé par un de ses amis d'enfance : Rodolphe Töpffer. Les deux journaux arrivés entre les mains de Goethe fin janvier 1831 ne sont que des « pirates » - des originaux non publiés circulant seulement dans son cercle d'amis et parmi ses élèves. Mais Goethe parcourt avec une joie non feinte les productions de Töpffer qui deviendront les *Aventures du Dr Festus* et l'*histoire de M. Cryptogame*. Soret fait part à Töpffer de l'enchantement de Goethe, lui rapportant ce compliment singulier : « Si Topffer n'avait pas un texte aussi insignifiant devant lui, il inventerait des choses qui dépasseraient toutes nos attentes. » Et Goethe, dans un courrier directement adressé à Töpffer, lui confirma l'enthousiasme qu'il avait à lire sa création illustrée, le remerciant d'être « le plus fertile inventeur de combinaisons », capable « de tirer de multiples motifs à partir de quelques figures » (Kunzle 1985, p.183). Ces propos montrent que Goethe avait déjà saisi la puissance narrative d'un récit en bande dessinée, fait de combinaison de cases avec des personnages récurrents. Et il encourage le jeune maître d'école genevois à publier ses œuvres (Groensteen & Peeters 1994, p.81).

Goethe meurt peu de temps après ces encouragements, en 1832. Töpffer publia la même année son premier ouvrage : *Histoire de M. Jabot*. La bande dessinée était née.



Figure 34. Les montagnes du monde dessinées par Goethe (source : gallica.bnf.fr).

7.2.2 Un art neuf

Malgré cette histoire originelle, la bande dessinée a longtemps été considérée comme un produit à seule destination des enfants. Pourtant, Goethe a plus de 80 ans lorsqu'il découvre les journaux de Töpffer, et si ce dernier partageait ses créations avec ses élèves, il le faisait tout autant avec les adultes (Kunzle 1985 ; Peeters 2005 ; Pomier 2005). Ainsi, la bande dessinée n'a jamais eu un lectorat monolithique, mais sa position et son statut de 9e art rappellent qu'elle est une discipline encore jeune vis-à-vis des autres arts déjà codifiés. L'antiquité abordait déjà neuf arts, chacun incarné par une muse (dont l'astronomie, l'histoire et la géométrie), mais c'est au philosophe Hegel (1770-1831) que l'on doit la reformulation d'une classification plus moderne. Hegel proposa ainsi cinq items : (1) l'architecture ; (2) la sculpture ; (3) la peinture ;

(4) la musique et (5) la poésie. Si la danse et le théâtre (6^e) existaient à son époque, il lui était plutôt difficile de prévoir l'apparition du cinéma (7^e), de la radio et de la télévision (8^e), de la bande dessinée (9^e) et enfin des jeux vidéo (10^e). Ce classement n'a toutefois rien de formel et est souvent d'un usage laudatif. Il permet *a minima* d'interroger l'« artification » d'une discipline (Heinich 2017) qui repose sur un double processus : (i) l'évolution des productions (œuvres), considérées comme sortant de l'artisanat, et (ii) une composante performative de la qualification d'« art » sur la structure économique de cette discipline. Dit autrement : l'artification est une reconnaissance de créations artistiques et ce faisant génère une économie autour d'elles. La bande dessinée, pour gagner le statut d'« art », s'est ainsi extirpée de son assignation d'après-guerre au public enfant pour proposer un large panel créatif, généralement résumé sous l'étiquette de « roman graphique ». L'entrée aux musées de planches originales, l'octroi d'un prix Pulitzer (Art Spiegelman en 1992) et des ventes records en galeries (Heinich 2017) ont conduit à vider de toute substance le poussiéreux débat de la « légitimité » de la BD (Boltanski 1975 ; Lesage 2019). Cet « art neuf »⁹¹, en pleine mutation dans ses structures sociales et techniques (Nocérino 2020), tisse des liens avec de nombreux domaines, dont celui de la science. Le nombre de productions de type « BD documentaires » est colossal, avec chez certains éditeurs la création de collections dédiées aux questions de science et de techniques (Rannou 2022). Aux États-Unis s'est structurée une sous-discipline des *Comics Studies* : les *Science Comics* (Tatalovic 2009), dont les œuvres possèdent déjà une désignation contractée : les « *sci-comics* ». Ces « bandes dessinées scientifiques » sont devenues un champ de la recherche en éducation et en communication (Lin et al. 2015), avec leur définition : « *Comics which have as one of their main aims to communicate science or to educate the reader about some non-fictional, scientific concept or theme, even if this means using fictional techniques and narratives to convey the non-fictional information* »⁹² (Tatalovic 2009). Selon le même auteur, les BD « non scientifiques » se démarqueraient des *sci-comics* par une caractéristique en négatif presque aussi importante : elles n'auraient pas « d'intention, d'agenda ou de responsabilité à éduquer leurs lecteurs en matière de science ». Toutefois, comme le soulignent Collver et Weitkamp (2018) dans leur enquête auprès d'auteur·trices de *sci-comics*, s'il est possible de

91 Expression de Benoit Peeters dans l'émission de Partick Boucheron, « Histoire de », France Inter, le 29 décembre 2023.

92 « Les bandes dessinées dont l'un des principaux objectifs est de communiquer la science ou d'éduquer le lecteur sur un concept ou un thème scientifique non fictif, même si cela implique l'utilisation de techniques et de récits fictifs pour transmettre l'information non fictive. »

dire qu'il y a une intention des créateur·trices de mettre la science en récit, il n'y a pas explicitement celle d'être des éducateurs du lectorat. Pour les créateur·trices interviewé·es, il faut surtout veiller à ne pas « tuer la narration » (Farinella *in* Collver & Weitkamp 2018).

Ainsi, sans remettre en question la pertinence de l'usage de la bande dessinée à des fins de vulgarisation scientifique, notre propos consistera à explorer une relation avec la science qui ne soit pas de l'ordre de l'instrumentalisation – ou ce que nous évoquerons sous le terme de « subordination de la bande dessinée ». En somme, une relation qui crée conjointement une mise en récit de la science sans « tuer la narration ». À nouveau, c'est par la sociologie de la traduction – ou théorie de l'acteur réseau – que nous analyserons les ressorts de cette alliance.

7.2.3 Bande dessinée sous tension(s)

Pour comprendre les ressorts de la recherche-création menée, il est nécessaire de comprendre les liaisons d'acteurs du réseau impliqué. Ce réseau est ici résumé en quatre points duals, que je qualifie de « tensions agissantes » (figure 35). Chacune de ces tensions – entendue comme un équilibre plus ou moins stable entre deux intérêts d'agents du réseau – apporte un élément d'intelligibilité à l'expérimentation menée⁹³. Les deux premières tensions (institutionnalisation vs marginalité et auteur·trices vs édition) sont d'ordre général, les deux dernières (créativité vs subordination et dessinateur·trices vs scénaristes) ont des implications plus directes sur la recherche-création développée (cf. 7.3).

⁹³ pour une approche détaillée de la sociologie des acteurs de la bande dessinée, nous renvoyons à nouveau à l'excellente thèse de Pierre Nocérino (2020).

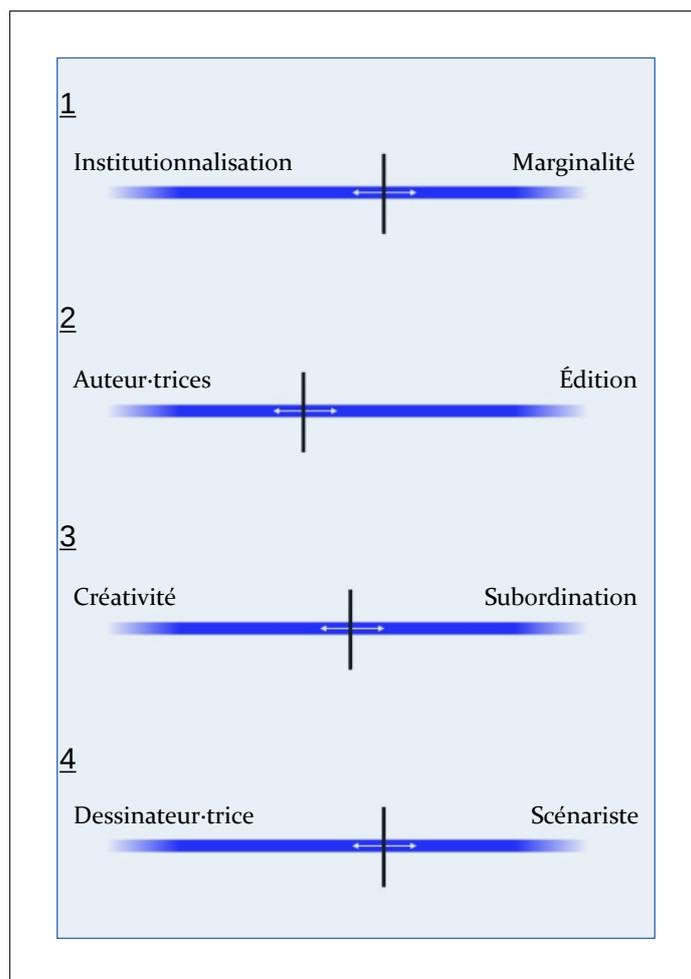


Figure 35. Les quatre tensions agissantes du réseau de production de la bande dessinée impliquant la science (*la position du curseur n'est qu'illustrative*).

7.2.3.1 Tension première : l'institutionnalisation « en train de se faire »

La bande dessinée est assurément entrée dans une ère d'institutionnalisation : l'autrice Catherine Meurisse a été élue à l'Académie des Beaux-Arts en 2020, évoquant son élection comme un « braquage » ; Benoît Peeters, scénariste et chercheur en littérature, a donné des leçons sur la bande dessinée au Collège de France en 2022 et 2023⁹⁴ ; la discipline académique des *Comics Studies* connaît une remarquable vitalité aux États-Unis (Ndalianis 2011) ; les expositions de planches originales et d'hommage aux auteur·rices ne se comptent plus depuis la consécration d'Hugo Pratt au Grand Palais en 1986 (Heinich 2017). Cette institutionnalisation s'accompagne d'une bonne santé économique des éditeurs. Pour une discipline ayant connu

94 <https://www.college-de-france.fr/fr/chaire/benoit-peeters-creation-artistique-annual-chair>

l'underground et le feu des politiques morales d'après-guerre (loi de 1949 en France et le *Comics Code* de 1954 aux États-Unis, édités à des fins de contrôle et censure d'un médium considéré comme facteur de dépravation de la jeunesse), cette rapide transformation induit un mélange de satisfaction face à la reconnaissance symbolique (Nocérino 2020, Lesage 2019) autant qu'une crainte de voir se figer sa vitalité et sa créativité, considérées comme tributaires d'une forme de marginalité (Pomier 2015 et Peeters 2023⁹⁵). Cette première tension – institutionnalisation versus marginalité – se retrouve jusque dans la sphère académique, où certains chercheurs, comme Henry Jenkins, préfèrent résolument opter pour l'« indisciplinarité » plutôt que pour la formalisation d'une discipline académique, jugée ankylosante : « *I embrace an approach that is radically undisciplined, taking its tools and vocabulary where it can find them, expansive in its borders to allow the broadest possible range of objects for study [...]* »⁹⁶ (Jenkins 2012). De quoi nourrir certains idéaux de sérendipité (Catellin & Loty 2013) ! Jenkins ajoute, non sans inquiétude : « *what is the price we will have to pay in order to become a coherent academic field and are we willing to pay it ?* »⁹⁷. Onze ans après la parution de ce texte, une telle inquiétude aurait de quoi faire sourire au sein de l'université française : Nocérino (2020) souligne le désir de jeunes chercheur-es de voir enfin se structurer l'équivalent des Comics Studies en France, « osant » même l'idée d'une section spécifique au CNRS (p.82). La question d'un « champ académique cohérent » n'est pas encore à l'agenda de la recherche institutionnelle.

Dans une émission radiophonique dédiée à la bande dessinée – « Un art anobli : la bande dessinée »⁹⁸ – Benoît Peeters traduisait cette tension par cette phrase : « *ne croyons pas qu'on a besoin aujourd'hui d'une célébration ou d'un esprit de sérieux, ce serait évidemment tout à fait désolant* ». Voilà de quoi surprendre : qu'un brillant spécialiste de la BD clame la sauvegarde des vertus de la marginalité tout en incarnant par ses propres fonctions une prestigieuse institution : le Collège de France (où Peeters occupe la chaire annuelle de Création artistique depuis 2022). Dans une dualité similaire, c'est au sein d'une très officielle institution d'art – le

95 Partick Boucheron, « Histoire de », France Inter, le 29 décembre 2023.

96 « Je me place dans une approche radicalement indisciplinée, prenant les outils et le vocabulaire là où elle peut les trouver, élargissant ses frontières pour assurer le plus vaste champ possible d'objets à étudier »

97 « Quel est le prix à payer pour devenir une discipline académique cohérente et sommes-nous vraiment prêt à le payer »

98 Partick Boucheron, « Histoire de », France Inter, le 29 décembre 2023.

Nouveau Musée National de Monaco (NMNM) – qu’une exposition dédiée à une importante collection de planches originales a reçu le titre évocateur de « Marginalia », avec cette précision issue du texte de présentation : « un art jeune [...] qui bien souvent a choisi la marginalité plutôt que la convention »⁹⁹.

Le monde de la bande dessinée semble encore être tiraillé entre les ors de l’institutionnalisation et l’esprit libertaire de la marginalité. L’institutionnalisation donne toutefois un éclairage nouveau sur un édifiant paradoxe : les conditions précaires de ses auteur·trices.

7.2.3.2 *Seconde tension : auteur·trices vs édition, la valse à deux temps de la bande dessinée*

Les succès en librairie de la bande dessinée donnent le vertige : le dernier Astérix et Obélix (2020) s’est écoulé à presque 2,5 millions d’exemplaires ; *Le monde sans fin* de Christophe Blain et Jean-Marc Jancovici, a été l’ouvrage le plus vendu de l’année 2022, à plus de 500.000 exemplaires ; le dernier-né de Jean-Marc Rochette, *La dernière reine*, a directement été tiré à 85000 exemplaires (et vendu à 100.000)¹⁰⁰... Des chiffres vertigineux d’un point de vue éditorial qui entérinent le discours médiatique assez installé de la « bonne santé » de la bande dessinée. Mais un angle mort de cette réussite apparente de la BD est résumé à nouveau par Benoît Peeters, dans le même interview que précédemment cité⁹⁶ : lorsque le journaliste lui demande ce qui ne serait pas encore « saisi » par la bande dessinée, Peeters répond : « *peut être que de reconnaître concrètement ses auteurs, ses autrices [...] car si l’économie générale de la BD est très florissante, euh... Les conditions de travail des auteurs et des autrices sont de plus en plus difficiles.* » La bonne santé économique de la bande dessinée est donc surtout à regarder du côté de l’édition. Peu d’auteur·trices tirent une rémunération satisfaisante d’un point de vue professionnel, même s’ils-elles sont connu·es et reconnu·es. Dans un entretien en juin 2022, Jean-Marc Rochette me soulignait :

« *Si tu ramènes ça au temps passé, ça rapporte rien la BD !* »

Héloïse Chochois, dans l’émission du 10 août 2021 de « le Temps du débat »¹⁰¹, soulignait

99 <https://www.visitmonaco.com/fr/evenement/exposition/37959/marginalia> [visité le 12/02/2023]

100 facebook JM Rochette – post du 14/02/2023

qu'elle devait encore vivre en collocation pour réussir à s'en sortir :

« Une rémunération correcte, ça, ce serait quelque chose que j'apprécierais [...] La création de bandes dessinées, ça génère une économie, ce qui veut dire que nous [les auteur·trices] on fait partie des maillons d'une industrie. Or on est les maillons les plus faibles [avec] absence d'un minimum dans la rémunération. »

Enfin Cécile Guillard, autrice avec qui se mène la recherche-crédation de ce chapitre, me soulignait, lors d'un entretien en février 2023, le besoin de travailler en dehors de la bande dessinée pour joindre les deux bouts :

« Je dois encore bosser en anim¹⁰² pour réussir à garder mon statut d'intermittente. »

Le choix du titre de cette partie est volontairement de parler de l'« édition » comme une structure collective et non des « éditeur·trices », pris comme des individualités avec lesquelles les auteur·trices ont des relations très directes. En conséquence, l'éditeur·trice peut contrecarrer la logique de précarisation des revenus des auteur·trices alors qu'il n'y a pas de démarche collective de l'édition en ce sens (cf. interview de Loo hui Phang dans l'émission « Bookmakers »¹⁰³ et Nocérino 2020).

Cette situation n'est pas sans conséquence sur la troisième tension agissante : la subordination.

7.2.3.3 *Troisième tension : invisibiliser la subordination*

Cette tension est un des nœuds de l'essor de la bande dessinée documentaire, incluant la bande dessinée traitant de sujets scientifiques : le médium est considéré comme devant « servir » la thématique abordée. Le processus de création est réduit à une option. Maël Rannou (2022) a ainsi interrogé des auteur·trices spécialisé·es dans la vulgarisation scientifique. La po-

101 Emmanuel Laurentin, « Le Temps du débat », France Culture, le 10 août 2021 : « La BD, une arme de vulgarisation massive ? ».

102 film d'animation, NDRL

103 R. Gaitet, « Bookmakers, les écrivain·es au travail », Arte Radio, Loo Hui Phang, jeudi 24 novembre 2022

sition est sans équivoque : « on a pour but de transmettre de l'information, et ça doit rester central, quitte à parfois s'oublier un peu en tant qu'auteur » (Héloïse Chochois). Concernant ces mêmes auteur-trices, Rannou précise : « Il reste qu'en vulgarisation, il ne s'agit pas d'abord de créativité artistique, et que cette idée est très claire pour ses médiateurs ».

Dans l'émission « le Temps d'un débat » du 10 août 2021, Héloïse Chochois précisait ainsi :

« Ni l'histoire, ni la narration, ni le dessin ne doivent supplanter cette transmission [...] »

« Mais ça ne veut pas dire pour autant qu'il n'y a pas une certaine liberté de création... Et que y'a pas de créativité !... parce que donc la bande dessinée c'est à la fois le dessin, mais c'est aussi la conception de la planche, des planches [...] c'est un art séquentiel »

JC¹⁰⁴, dans un échange de courriels du 1^{er} février 2023, témoignait de son travail avec la Revue dessinée, journal dont les reportages sont sous forme de bande dessinée :

« Avec la rédaction de La Revue Dessinée, la question était close : leur ligne éditoriale se veut d'être purement journalistique, tout doit être vérifiable, parole sacro-sainte du scénariste-journaliste qui se veut la plus objective possible. Comme si le fait de passer au dessin les complexait, il faut pouvoir assurer que tout ce qui est dit est absolument vrai et véridique. Le dessin n'est qu'un support, en soi. »

Le 30 janvier 2023, ce même auteur précisait un point important de cette subordination au détriment de la créativité :

« C'était exactement l'attitude des 2 journalistes pour l'album sorti ensemble : ils se disaient grands lecteurs et amoureux de la BD, étaient fort gentils et sincères, mais en conférence, pour expliquer le choix de la BD (alors qu'ils avaient déjà écrit un bouquin sur le sujet), c'était réduit à : toucher un plus large public. Donc au final, la BD on s'en fiche un peu, tant que ça se vend... »

104 nom changé pour respecter l'anonymat de l'auteur interviewé.

De telles constatations sur la tension entre volonté créatrice et subordination à des scénarios fermés à l'interprétation rejoignent les termes de l'analyse de Labarre et Bardiaux-Vaïente (2017) sur l'émergence de ces bandes dessinées du réel (documentaires et science) : « ces ouvrages misent sur l'accessibilité réelle ou fantasmée de la bande dessinée, sur son faible coût de production, éventuellement sur les connotations populaires de sa consommation ».

Cette mise sous tutelle du dessin n'est pas récente. Mao (2021) rappelle l'expansion constante et vertigineuse en matière de chiffrage des publications imprimées dès le 15^e siècle (p.40). Cette massification des publications s'accompagna du recrutement de nombreux dessinateur·trices, notamment à des fins de consignations des découvertes scientifiques (et par extension des conquêtes coloniales – cf. §3.2.4.1). Le dessinateur était ainsi l'employé du scientifique, employé « par » le scientifique, « subordonné » au scientifique. Ce que Daston et Galison (2012) résumant comme « des guerres de volonté, de regards et de statuts, en particulier lorsque le naturaliste se penchait par-dessus l'épaule de l'artiste pour corriger chacun de ses coups de crayon. » (p.107) La subordination s'accompagnait de plus d'une violence symbolique : « la paternité de l'ouvrage était attribuée au naturaliste. C'est lui qui avait le dernier mot. » (p.108). La situation n'est pas comparable avec la bande dessinée documentaire, mais la subordination de l'artiste au scientifique demeure. D'aucuns considéreront à raison que des faits scientifiques n'ont pas à être interprétés et transformés à la guise de tout un chacun. La question soulevée présentement ne porte pas sur le questionnement de ces faits (qui doivent être défendus), mais sur leur mobilisation dans la création d'un récit séquentiel. Rannou (2022) le précise ainsi « bien souvent les scientifiques ont une envie de vulgarisation, mais une connaissance assez réduite de la bande dessinée [...] si les commanditaires apprécient l'idée de la bande dessinée, elle ne dépasse pas le stade d'un outil de vulgarisation sur lequel les scientifiques ont difficilement un discours ».

Ainsi, le dessin est passé d'une subordination presque physique dans la recherche d'une « vérité d'après nature » (Daston & Galison 2012), matérialisée par un interventionnisme forcené, à une subordination morale, sans jugement sur l'œuvre produite, les illustrateur·trices étant censé·es avoir intériorisé l'interdit de l'interprétation des faits scientifiques. Ce qui revient pour certains scientifiques à se complaire dans ce que Collver et Weitkamp (2018) ap-

pellent un « rôle de mentor » (*mentoring role*). Mais cette absence de jugement esthétique ne relèverait pas systématiquement du dédain, elle serait pour Nocérino plutôt la marque d'une méconnaissance profonde du médium : « je n'avais aucune suggestion sur le trait ou la narration, [les scientifiques] ne savent pas évaluer de la BD » (Nocérino in Rannou 2022). Rannou conclut en se référant à la position d'une autrice : « elle apprécierait l'idée de travailler avec un scénariste sur le matériel scientifique ». Scénariste ? Voilà un acteur de la BD encore non évoqué que nous analyserons dans la dernière tension décrite, celle entre dessinateur·trices et scénaristes.

7.2.3.4 *Quatrième tension : dessinateur·trices vs scénaristes ou les deux auteur·trices de la narration séquentielle*

Cette tension est moins connue pour un observateur extérieur à la bande dessinée. Si le·la dessinateur·trice donne la matérialité par son dessin à cet art, le fait que nombre de bandes dessinées se basent sur une narration écrite – le scénario – n'a été rendu visible que par les efforts du plus célèbre d'entre eux : René Goscinny. Il fit reconnaître le statut de scénariste comme auteur, dont le nom finit par partager celui du dessinateur sur la couverture de l'album. La gare d'Angoulême abrite un obélisque en son honneur avec cette citation : « Quand j'ai entendu dire : "le métier de scénariste ? C'est à la portée du premier imbécile venu", j'ai compris que j'avais trouvé ma voie ». Son propos traduit avec humour le peu de considération du métier dans lequel il s'est débattu. Jean-Michel Charlier, scénariste et inventeur de Blueberry, considérait quant à lui qu'un scénario de qualité primait dans le succès d'une bande dessinée : « un dessinateur qui dessine sa propre histoire aura toujours tendance à s'attarder complaisamment sur les scènes qu'il aime dessiner [...] Le scénariste n'a pas ce problème ; il a même probablement dans le découpage une rigueur que n'aurait pas le dessinateur s'il intervenait » (in Peeters 2005, p.164-165). On retrouve cette quête de légitimation du travail de scénariste dans l'usage parfois insistant d'expression d'appropriation du dessinateur : « le choix de mes dessinateurs » ; « susciter le désir de mes dessinateurs » (Loo Hui Phang¹⁰⁴). Si un autre grand nom du scénario comme Pierre Christin fait le même usage possessif des dessinateurs, c'est pour mieux insister de manière univoque que « le dessinateur a toujours raison »¹⁰⁵, entérinant la position déséquilibrée entre ces deux co-auteur·trices de bandes dessi-

¹⁰⁵ R. Gaitet, « Bookmakers, les écrivain·es au travail », Arte Radio, Pierre Christin, jeudi 19 janvier 2023

nées. Ce déséquilibre se retrouve dans la rémunération, où un usage tacite dans la contractualisation éditoriale répartit les avoirs de la sorte : 2/3 pour le·la dessinateur·trice, 1/3 pour le·la scénariste. Au cours d'une exposition qu'elle a créée à Angoulême en 2022¹⁰⁶, la scénariste Loo Hui Phang insistait sur l'absence de reconnaissance du métier de scénariste : « Nous sommes la branche la plus fragile et la plus précaire de l'économie de la bande dessinée »¹⁰⁷. Après les « auteurs », au sens large, perçus comme les acteurs les plus précaires dans la production de bandes dessinées, il semble ainsi possible de définir les scénaristes comme les « précaires parmi les précaires » – bien qu'il ne faudrait pas oublier, dans cette triste hiérarchie, la place tout aussi difficile, et peut-être plus invisible encore, des coloristes.

Cette tension dessinateur·trices vs scénaristes semble d'autant plus délicate à surmonter que si la bande dessinée résulte de l'hybride entre ces deux types d'auteur·trices, une vision idéalisée, parfois fantasmée, du métier de créateur·trice de BD voudrait qu'un auteur·trice « complet » fasse à la fois le scénario et les dessins. Peeters (2005) ajoute à ces propos, comme une esquisse de dénouement : « sauf exception rarissime, l'implication physique du dessinateur est beaucoup plus importante [...] le scénariste doit avant tout prendre appui sur le dessin de son collaborateur, y compris et peut-être avant tout sur des aspects encore latents de ce graphisme. Analyste, dans tous les sens du terme, du travail du dessinateur, son rôle serait en somme de tirer d'un style et de la conception de l'espace qu'il implique les premiers matériaux de ses constructions narratives » (p.175). Ce qu'il résume par le fait qu'un « bon » scénario est celui qui crée « une puissante machine à dessiner » (p.178). Car l'hybride, nous le verrons, doit aussi et avant tout être porteur pour les deux parties prenantes : la « tension agissante » dépasse alors la seule composante économique pour activer une émulation créative. Et comme nous l'avons montré au sujet de la BD scientifique, des dessinateur·trices « appellent » à l'engagement et l'implication de scénaristes-scientifiques dans l'acte de création. Un investissement dans la mise en narration – et non uniquement dans la posture d'autorité morale quant aux faits mobilisés (Collver & Weitkamp 2018) – ouvre une autre perspective d'écriture scientifique, difficile à envisager seul·e pour un·e auteur·trice non scientifique. En effet, devenant

106 « Loo Hui Phang – Écrire est un métier » - <https://www.bdangouleme.com/loo-hui-phang-ecrire-est-un-metier> [visité le 12/02/2023]

107 <https://www.actuabd.com/Angouleme-2022-Ecrire-est-un-metier-et-il-faut-le-defendre> [visité le 12/02/2023]

malgré lui-elle dépositaire d'un savoir non maîtrisé, le stress de l'« erreur » scientifique dans la recherche créative aura tendance à brimer cette dernière (cf. §7.2.3.3). À l'inverse, en suivant la position de Peeters (2005) énoncée précédemment, il s'agirait de prendre appui sur un style pour façonner la narration. Alors l'hybride se forme enfin : s'inspirer du dessin pour écrire autant qu'écrire pour inspirer le dessin. Ce que Collver et Weitkamp (2018) qualifient de « Sci-Art » (contraction de Science et Art), arguant que ce type de production est la seule à même d'être à la fois scientifiquement valide et artistiquement « sensé »¹⁰⁸.

7.2.3.5 *Inverser le nœud épistémologique pour dépasser le lien de subordination*

Siam (2017) propose un autre angle épistémologique : « comment expliquer cette quasi-absence du neuvième art dans les productions scientifiques universitaires ? » (p.56). En inversant la question du peu d'engagements des scientifiques dans la composante créative et esthétique de la BD, il bouscule la perspective adoptée précédemment. Et propose comme forme d'engagement non pas la seule écriture scénaristique, mais plus largement la formation au médium, à ses codes, sa poésie – le mot est lâché ! Siam (2017) poursuit ainsi : « La poésie demande du temps. Ce temps c'est celui d'un voyage. Un voyage dans le neuvième art. Un voyage qui transforme le scientifique en artiste-scientifique ». Si l'usage du mot « poésie » aura discrédité pour certain-es lecteur·trices l'ensemble des pages de ce manuscrit, peut-être que cette assertion raccrochera mon propos à leur estime : la bande dessinée peut être un agent de transformation du scientifique autant que son outil de vulgarisation. Si cette proposition épistémologique semble téméraire, Labarre et Bardiaux-Vaïente (2017), se référant au chercheur et médecin Muna Al-Jawad, affirment qu' « une des fonctions de la bande dessinée de recherche est de produire un effet de défamiliarisation de l'objet pour le chercheur-auteur lui-même, qui devra reconstruire sa propre expérience avant de pouvoir la mettre en forme ». La bande dessinée dépasse l'outil pour devenir actant de la science. « La bande dessinée de recherche rend [...] donc ostensible le processus d'élaboration et de présentations des savoirs – que tend à masquer la forme canonique des écrits universitaires – et encourage les lecteurs à questionner le récit proposé ».

« Chercheur-auteur », « artiste-scientifique », « auteur-scientifique »... Voilà un dernier costume qu'il faudra revêtir pour essayer d'entrer pleinement dans l'hybride d'une (re-

¹⁰⁸ « comics that are both scientifically valid and artistically meaningful »

cherche-)création. Ce que Collver et Weitkamp (2018) décrivent comme un « pont entre les identités » (A bridge across identities) : ne pas avoir à choisir, combiner les différentes parties de sa personnalité de chercheur et d'artiste. Et comme la science, la création n'est pas structurellement un espace d'ermitage plein et entier : « l'auteur-scientifique n'est pas obligé de créer seul. Il a la possibilité de se lancer dans l'aventure avec un partenaire. Ainsi naissent de belles histoires » (Siam 2017). Alessandro Pignocchi a ainsi ouvert une voie avec Philippe Descola dans la discipline de l'Anthropologie (Descola & Pignocchi 2022).

7.3 Hybride du ge art : une bande dessinée scientifique « en train de se faire »

7.3.1 Séquence 1 : la rencontre des deux parties

Pour créer un hybride, il faut nécessairement que la rencontre des deux parties s'opère. Ce processus n'a pas immédiatement impliqué la science et les plantes, mais déjà la haute montagne. Cet espace géographique a été un catalyseur de la rencontre autant qu'un acteur de la mise en récit.

7.3.1.1 Récit ethnographique de la rencontre

25 juin 2021

La Compagnie des guides de Chamonix fête en 2021 les 200 ans de sa création. Plus vieille et plus imposante compagnie de guides au monde, plusieurs événements sont organisés pour célébrer le bicentenaire. En tant que spécialiste de la flore de haute altitude, je suis invité à l'un d'eux, qui consiste en une remontée de la Mer de Glace (du Montenvers à l'Aiguille du midi), sur 3 jours (du 25 au 27 juin 2021), avec des conférences scientifiques prévues aux refuges

du Requin (2516 m) et des Cosmiques (3613 m). Toutes sont enregistrées et mises en ligne par une équipe de TV8 Mont-Blanc. Celle pour laquelle j'ai été convié (sur l'histoire de la flore de la Mer de Glace¹⁰⁹) se déroule au Requin, le 25 juin en fin d'après-midi. La Compagnie convie également pour l'évènement des journalistes de la presse écrite. Répondent présents Montagne Magazine et la Revue dessinée. Cette dernière se caractérise par des articles sous forme de bande dessinée, chacun d'eux étant réalisé par un duo d'auteur·trices : un·e journaliste et un·e illustrateur·trice. Le duo présent, le 25 juin, au Montenvers, est constitué respectivement d'Éliane Patriarca et de Cécile Guillard. La qualité et les choix esthétiques de la Revue dessinée m'intéressent depuis plusieurs années. Je me présente donc au duo en exposant très directement cet intérêt et la curiosité de découvrir leur façon de travailler *in situ*. Mon intérêt nous permet immédiatement d'installer un climat amical. Cécile Guillard découvre pour la première fois le terrain de la haute montagne, qui du Montenvers présente la singularité d'une descente vertigineuse d'échelles métalliques, ancrées dans une roche lisse, avant de pouvoir prendre pied sur le glacier et le remonter. Cécile se révèle rapidement très à l'aise, à la fois physiquement et techniquement. Au-delà du bon déroulé de la sortie, cet aspect a une importance technique : Cécile n'est pas accaparée ou empêchée par les contraintes mentales ou physiques si communes en haute montagne (peur, essoufflement, fatigue, etc.). Elle peut donc à loisir dessiner, s'inspirer du lieu et des événements (cordées en mouvement, discussions, conférences, etc.).

26 juin 2021

Partis tôt du refuge du Requin pour avoir de bonnes conditions de regel, nous rejoignons le refuge des Cosmiques en fin de matinée. Pour répondre à l'insistance des participant·es, Cécile montre plusieurs de ses esquisses. Le dessin s'avère être un puissant moteur d'échanges collectifs, avec des réactions tant sur l'espace où nous évoluons que sur des traits physiologiques personnels :

« *C'est marrant : c'est blanc partout, mais on reconnaît super bien les couleurs !* »

« *Oh là, j'ai des seins comme ça, moi ?* » (rires)

109 fr-fr.facebook.com/tv8infos/videos/503525864210353/ [visité le 19/02/2023]

« *Mais t'arrives à dessiner debout ?* »

« *C'est super beau ! J'aimerais bien dessiner comme ça !* »

« *J'avais jamais fait gaffe à ce bout de rocher là...* »

Certain-es partent à la sieste, d'autres essaient désespérément d'avoir du réseau. Olivier Greber, président de la Compagnie, propose à Éliane et Cécile d'aller visiter les environs de l'abri Simond, en face du refuge et au pied de l'arête des Cosmiques. Je me joins à eux, ce qui permet d'approfondir les relations par une petite excursion complémentaire, non prévue. De l'abri Simond, la vue sur le refuge des Cosmiques et le mont Blanc du Tacul (4187 m) est exceptionnelle. Le dessin qu'en fait Cécile aura une importance particulière pour la suite.

27 juin 2022

Nous voilà au dernier jour de la caravane des 200 ans de la Compagnie. Le retour des cordées s'effectue par l'aiguille du Midi puis par la descente en téléphérique. Notre cheminement aura eu quelques singularités : le premier jour, nous descendions pour remonter. Le dernier, nous montons pour redescendre ! Éliane et Cécile prennent une des premières bennes, ayant des contraintes de train. Nous échangeons nos coordonnées – acte de politesse sociale d'un temps partagé.

11 juillet 2021

Un mécénat destiné aux recherches menées par le PNE sur les marges glaciaires prévoit un volet de vulgarisation scientifique. Les questions de relation entre science et art sont déjà présentes dans les discussions au sein du service scientifique. Le passage à l'acte semble assez naturel.

Quelques semaines seulement se sont écoulées depuis les Cosmiques, je n'ai pas eu le temps de perdre les coordonnées de Cécile. Je propose à Cécile une prestation d'illustration d'une science « en action », sur deux jours, au pied du glacier de la Selle (Saint-Christophe-

en-Oisans). Il s'agira de faire une série d'illustrations – une sorte de porte-folio – du travail mené. La création d'une mise en récit séquentiel n'est pas encore un sujet – ni même une ébauche de réflexion.

Août 2021

Suite à une discussion au refuge de la Selle, Cécile me communique les dates d'un festival où il me serait possible de rencontrer un éditeur auquel j'aimerais proposer un projet d'ouvrage. Malgré son jeune âge, Cécile a un réseau de connaissances dans le monde de l'édition assez étendue, ce qui traduit à la fois une reconnaissance de son travail (les relations se créant par appréciation des productions) autant qu'une présence répétée dans les lieux de rencontre de l'édition (salons, festivals). Je peux ainsi bénéficier de ce réseau professionnel. Je décide de me libérer une journée pour cette rencontre, en plein mois d'août.

Septembre 2021

Suite à notre (courte) rencontre et sur un quiproquo complet (!), l'éditeur propose à Cécile et moi un projet de bande dessinée en commun :

« J'imagine assez bien une aventure, où Cédric et Cécile arrivent dans la tempête à un sommet pour y découvrir une plante inconnue ! »

L'absurdité d'une telle dramatisation de la haute montagne autant qu'un récit égocentré nous déplâit immédiatement. Mais la question d'une bande dessinée à créer ensemble, sur la science des plantes en haute altitude, nous bouscule. Aucun de nous deux n'avait jusqu'alors envisagé quoi que ce soit de la sorte. J'associe rapidement à ces réflexions Pierrick Navizet, responsable du service communication du PNE, afin que cet éventuel partenariat puisse être envisagé comme un projet d'établissement.

Mars 2022

L'éditeur n'a pas réussi à mobiliser un budget suffisant. Cécile n'ose pas lui dire que dans ces conditions, il n'est pas possible de continuer. La tension auteur·trice vs. édition (cf. §7.2.3.2) joue sur ce que Nocérino (2020) appelle « l'autonomisation contrariée » (p.237) : l'auteur·trice se doit d'être autonome à la fois par son statut et dans l'exercice professionnel, tout en n'ayant pas la maîtrise des budgets et/ou délais d'exécution. Cette tension se matérialise ainsi dans la difficulté à refuser certaines conditions de travail, que ce soit en termes financiers ou d'exécution. N'étant pas inscrit dans cette tension par ma situation professionnelle (CDI de la fonction publique d'État), et bien qu'ayant un intérêt d'auteur auprès de cet éditeur, je prends les devants pour signifier la fin du projet : nous ne ferons pas cette bande dessinée avec lui et sa maison d'édition dans les conditions présentes.

In fine, l'éditeur reçoit mon message avec compréhension, et je suis agréablement surpris de voir qu'à ce stade, cette décision n'entame pas nos bonnes relations.

Cécile est soulagée. La tension se relâche. Dans nos deux cas, un sentiment de déception balance avec celui de soulagement : trop de travail en cours et trop d'incertitudes pour la bonne réalisation du projet. Pour ne pas rester sur ce qui ressemble à un échec, nous décidons d'envoyer une « note d'intention » (cf. annexe III – p.369) à une autre maison d'édition – cette fois spécialisée dans la bande dessinée. Nous considérons cette particularité nécessaire pour la constitution d'un budget suffisant – si d'aventure le projet était accepté.

Je rédige la note d'intention, résumant le sujet que nous souhaitons aborder. Cécile la met en page, en associant plusieurs de ses productions. Avec en couverture, le dessin réalisé à l'abri Simond (figure 36). Pour diverses raisons liées à l'agenda et au réseau de Cécile, nous optons pour *Futuropolis*. À nouveau, c'est par l'intermédiaire de Cécile que se fait la prise de contact avec la maison d'édition, en la personne de Claude Gendrot, éditeur – entre autres – d'Emmanuel Lepage.

Avril 2022

Le projet est accepté. Au sentiment de satisfaction se mélange cette fois celui de saisissement du travail à accomplir. L'un comme l'autre sommes déjà engagés dans de nombreuses obligations professionnelles. Le directeur du Parc national des Écrins (Pierre Commenville)

donne rapidement son accord pour que le projet soit aussi celui de l'établissement.

7.3.1.2 *Conclusion de la séquence 1*

Cette séquence met en évidence la rencontre de deux personnes autant que de deux réseaux : celui impliquant des scientifiques exerçant en haute montagne (dont je fais partie) et celui de l'édition (dont fait partie Cécile Guillard). Ces réseaux ne sont bien sûr pas hermétiques l'un à l'autre, et le bicentenaire de la compagnie des guides de Chamonix est un exemple de leur possible intersection.

L'aboutissement du projet chez *Futuropolis* repose assurément sur la rencontre des deux auteurs et un projet rencontrant des préoccupations contemporaines (la connaissance et la relation au vivant). Mais une hagiographie personnelle serait mensongère. Les ressorts de cet aboutissement s'appuient sur quatre leviers des deux réseaux mentionnés :

- les travaux scientifiques mobilisables pour le projet de bande dessinée existent sous forme de publications scientifiques, plus largement diffusées via des documentaires, des Formations et des conférences. Ils sont donc accessibles et évaluables ;
- être chargé de mission scientifique d'un établissement comme un Parc national donne de la visibilité quant au sujet proposé ;
- Cécile Guillard comme moi-même avons déjà publiés des ouvrages. Nos capacités et styles de productions sont donc accessibles et évaluables par des éditeur.trices. Il est en effet extrêmement difficile d'être publié sans avoir une « porte d'entrée » dans le réseau éditorial ;
- le dernier point est lié au précédent : le réseau professionnel déjà constitué de Cécile Guillard a largement contribué à ce que le projet, sous sa seule note d'attention, soit *a minima* évalué (avant même d'être retenu).

7.3.2 **Séquence 2 : entrer dans l'action**

7.3.2.1 *Whymper le dessinateur*

Scénariser la science en haute montagne connaît des précédents. Nous avons déjà évoqué

Edward Whymper dans la fabrique d'une science du vivant en haute montagne (cf. section 2.2). Revenir sur cette figure tutélaire de l'alpinisme, producteur acharné de données scientifiques en haute altitude, ne repose pas sur la volonté dans faire le récit sous forme de bande dessinée, mais au contraire de s'inspirer de celui qui fut aussi un remarquable chroniqueur graphique de ses ascensions.

Whymper a découvert les Alpes sur commande. Fils de graveur et graveur lui-même, sa première venue dans les Alpes, en 1860 (il a vingt ans), a pour objectif de répondre à la commande en dessins de l'*Alpine Club* de Londres, afin d'illustrer les innombrables récits de sa nouvelle revue : *Peaks, Passes and Glaciers*. Mais l'ambition du jeune homme dépasse largement la réalisation de seuls dessins : il a soif d'aventures autant que de gloire, et est prêt à

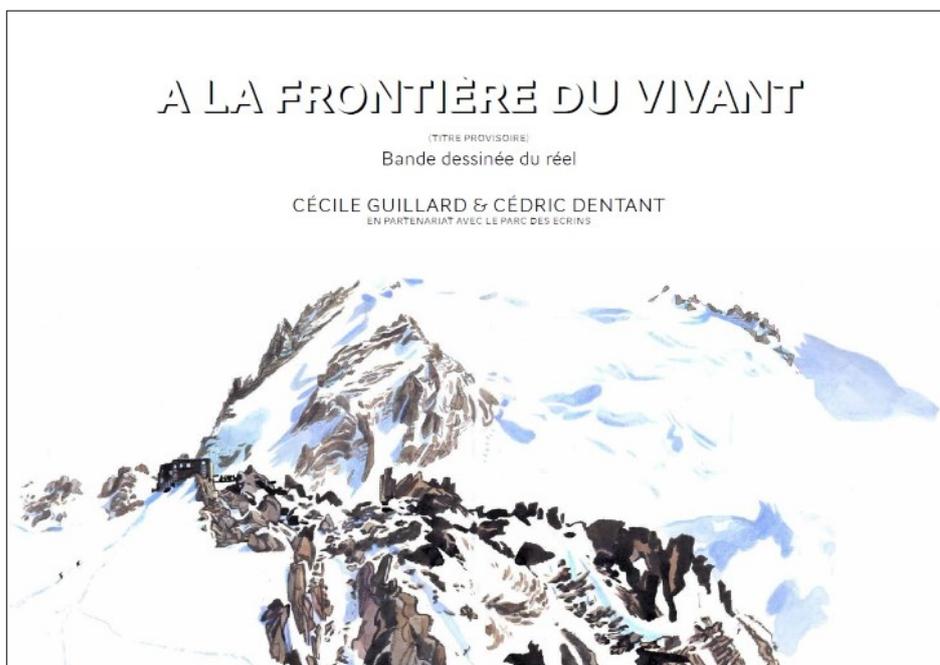


Figure 36. Couverture de la note d'intention envoyée à la maison d'édition *Futuropolis* en avril 2022. Dessin ©Cécile Guillard.

beaucoup pour cette reconnaissance qu'il considère comme lui revenant de plein droit (Smith 2011). Ses immenses succès alpinistiques au cours des cinq années qui suivront ce premier voyage contribueront largement à étancher cette énorme ambition. Et chose peut-être plus surprenante, il ne délaissera jamais le dessin, illustrant par son indéniable talent ses nombreuses aventures alpines.

Ces gravures ne sont pas une suite de cases inhérentes à la bande dessinée. Mais elles traduisent des moments forts de l'aventure, des séquences propres à la mise en récit de l'alpinisme – laquelle a peu varié depuis sa naissance : le risque, la chute, le courage, la peur, l'effort, l'effervescence du sommet, etc. Les gravures de Whymper, publiées dans son ouvrage *Scrambles amongst the Alps*, ont rencontré un succès colossal : premières illustrations de cet espace inconnu de la haute altitude (figure 37), elles mettaient en scène, de manière figurative, autant l'esthétique de la montagne que les gestes des alpinistes. Et ce dans des circonstances autant dramatiques que comiques (figure 38). Cette composante incarnée des personnages de Whymper – tous réels – a permis de rendre compte de manière unique, à son époque, la réalité d'une science-en-action en haute altitude : la gravure de la première au sommet du Chimborazo (6263 m) contient à la fois les attributs de l'époque de l'alpiniste (*alpenstock*, lunettes de protection), la traduction dans les postures humaines des conditions extrêmement difficiles rencontrées (corps courbés contre le vent, rampant dans la neige), et au moins un attribut prouvant l'engagement scientifique (dans le cas présent : un boîtier allongé contenant un baromètre pour calculer l'altitude).

Lorsqu'il ne met pas en scène des humains, Whymper veille à rendre compte de manière presque « photographique » du réel : ses dessins de montagne, faces, recoins sont d'une très grande précision. À l'instar des collections naturalistes qu'il ramène de ses expéditions, ses gravures de sommets forment une véritable collection graphique, qui se veut rendre le réel aussi fidèlement que possible. Ce faisant, il s'inscrit dans la tradition naturaliste des expéditions européennes des 18^e et 19^e siècles pour lesquelles le dessin occupait une place centrale dans la fabrication de la « preuve » scientifique – sous une forme que Daston et Galison (2012) ont baptisée de « vérité d'après nature » (cf. section 7.2.3.3). Au point que cette relation au dessin – et donc aux dessinateurs – était incluse dans les recommandations des académies à destination des explorateurs afin de mener à bien les collectes scientifiques attendues (Mao 2021, p.59).

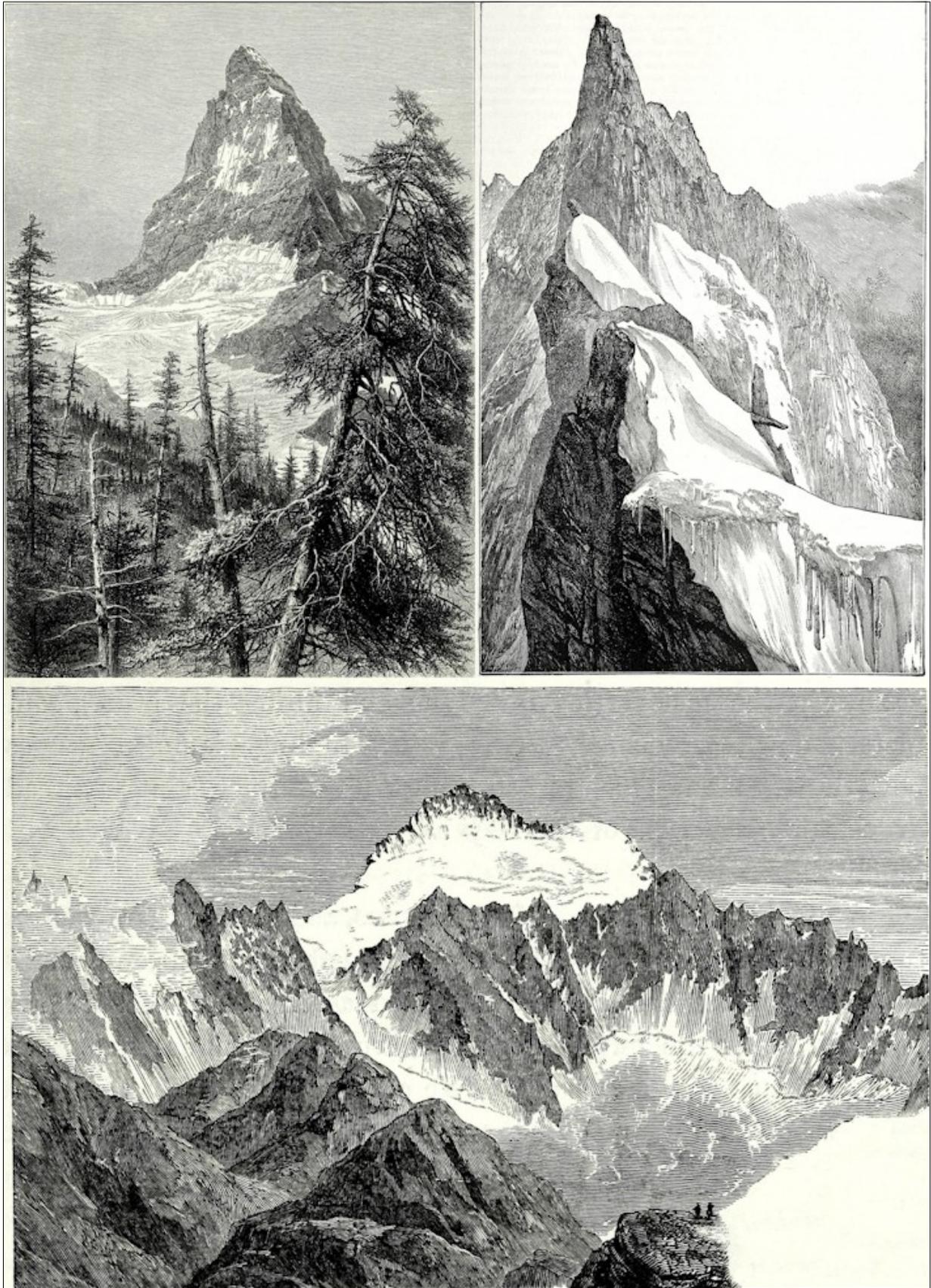


Figure 37: Gravures sur bois d'Edward Whymper (1871). Haut gauche : le Cervin, versant suisse. Haut droite : col du Dolent (massif du Mont-Blanc). Bas : Barre des Écrins, face nord.

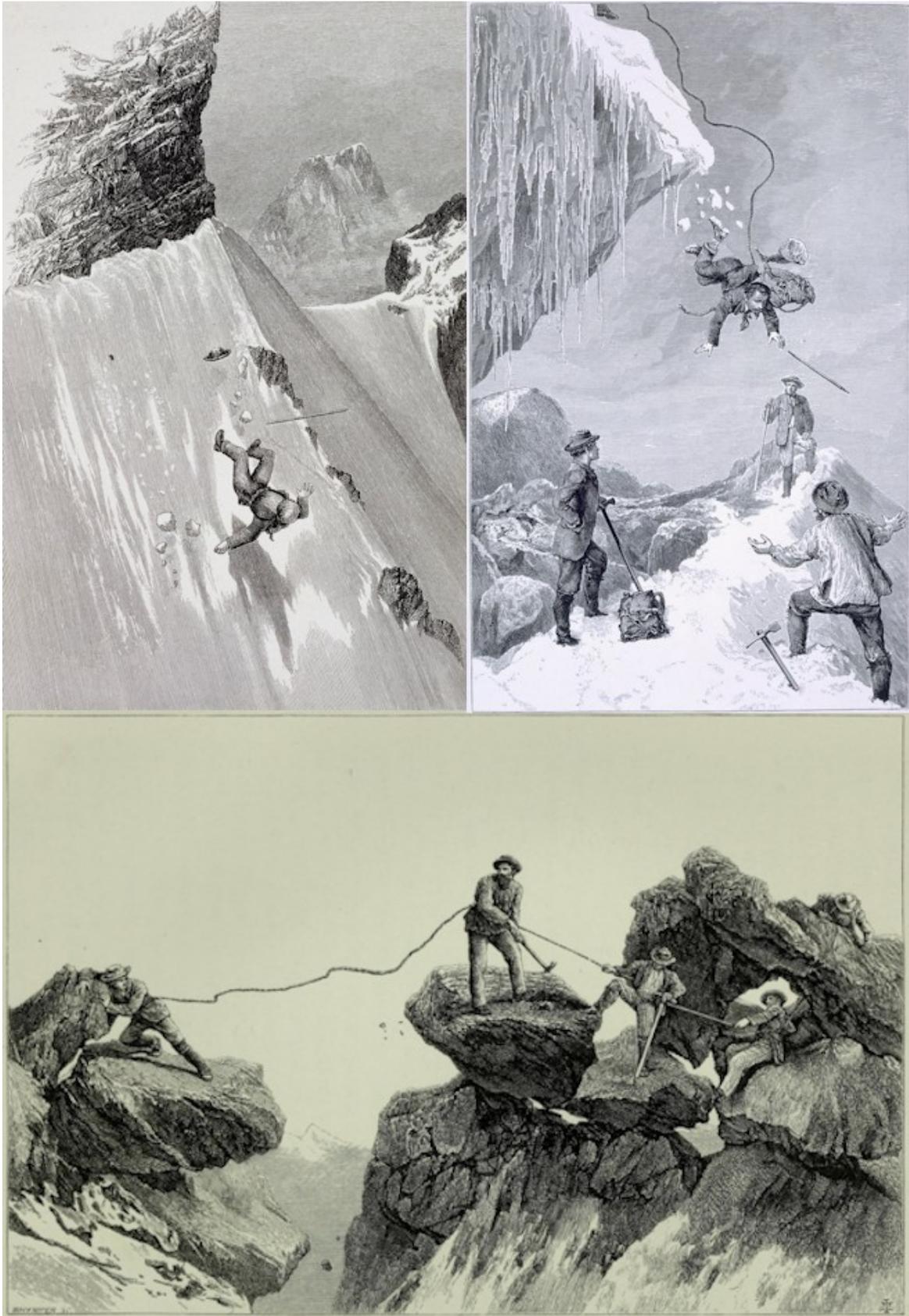


Figure 38: Gravures sur bois d'Edward Whymper (1871). Haut gauche : autoportrait de sa chute au col du Lion (Cervin). Haut droite : chute de Jean Reynaud, au col de la Pilatte (« *I do not believe that he was a whit more reluctant to pass the place than we others, but he was infinitely more demonstrative - in a word, he was French.* » (Whymper 1871, p.207)). Bas : saut (fictionnel ?) de Christian Almer lors de la première ascension de la Barre des Écrins (1864).

7.3.2.2 *Rendre compte du réel et ne pas tuer la narration*

Ainsi, fort de l'exemple de Whympet et de notre première expérience commune de terrain (Mont-Blanc), notre binôme scientifique/dessinatrice se forme assez naturellement. Mais concomitamment émerge la tension « dessinatrice vs scénariste ». Assez peu portée sur le plan de la répartition budgétaire, elle se concentre sur l'implication dans la création : en tant que porteur de la matière scientifique mobilisée, devais-je rester dans la position confortable du « garant » des faits ou devais-je m'impliquer dans le scénario et la construction de la narration séquentielle ? Le choix s'est précisé à la manière d'une théorie ancrée : nous avons expérimenté ensemble du travail de terrain en haute montagne¹¹⁰, impliquant à la fois la vie en refuge et les contraintes des parcours dans cet espace géographique singulier. Ces expériences sensibles et scientifiques ont donné corps au projet créatif et scientifique. L'hybride s'est créé par le « faire » ensemble, générant l'édition conjointe de trois points d'amer dans la création du récit (figure 39) : (i) l'exactitude géographique des sommets ; (ii) l'exactitude des faits scientifiques ; (iii) la vitalité de la narration (ne pas la « tuer »), à savoir raconter une histoire.

Raconter une histoire et rendre compte des faits semblent peu compatibles. Mak (2019) montre toutefois, via la BD historique et la BD-reportage, la capacité épistémologique de ce médium d'associer ces modes de récit « il s'agit de mesurer d'emblée la part de subjectivité du dispositif discursif pour ensuite être à même de recevoir la réelle force informative et documentaire du travail d'investigation qui se donne à lire » (p.274). La « force documentaire » sera de mettre Cécile en situation de création sur le terrain de haute montagne, avec les plantes de haute altitude. Ce terrain conjoint permettra non seulement de faire un travail d'investigation graphique et de reconstruction du réseau d'acteurs impliqués dans cette recherche, mais également de prendre ensemble le pouls de l'histoire à raconter (le « dispositif discursif »).

¹¹⁰ principalement sous forme d'inventaires et de suivis botaniques en haute altitude

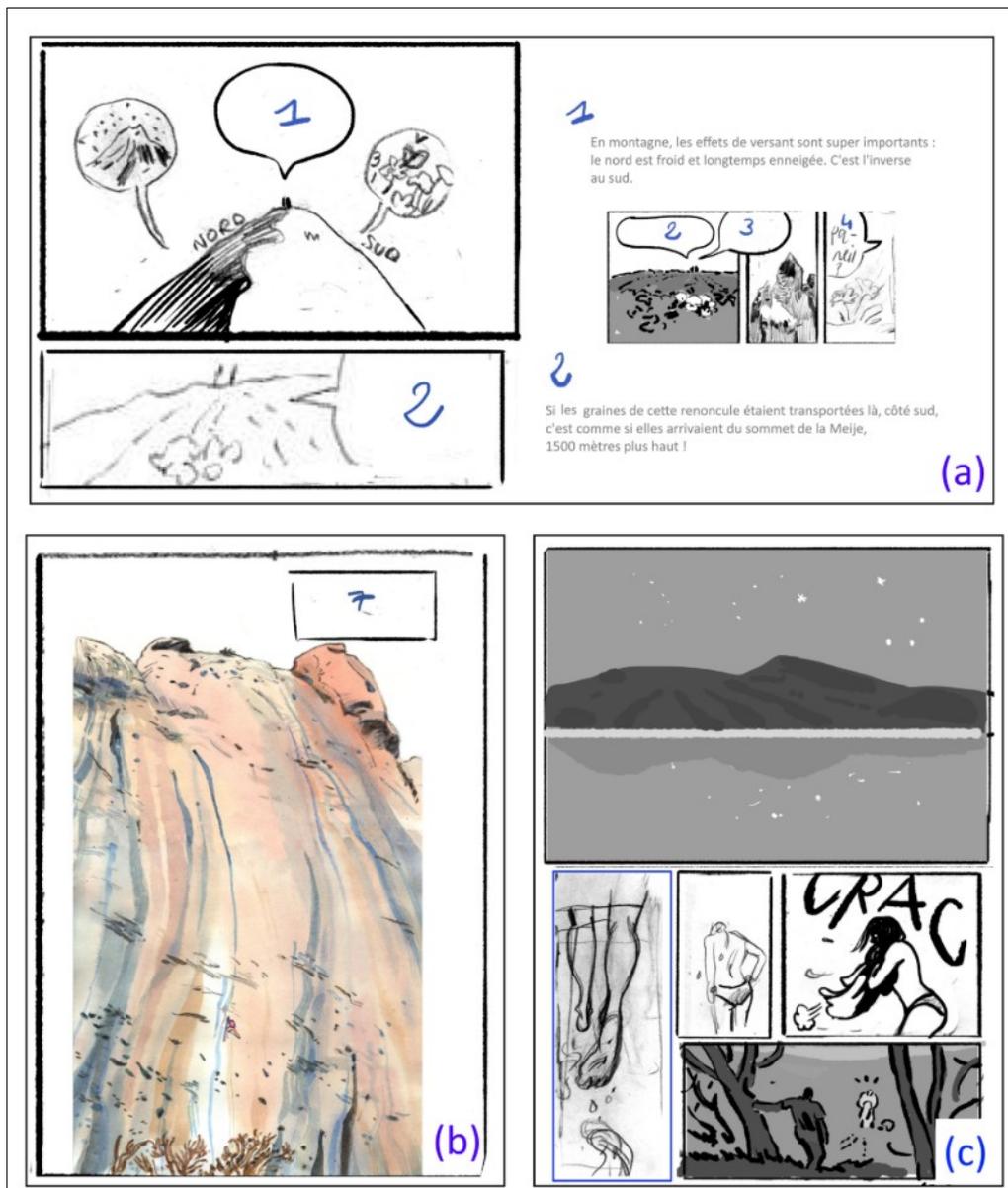


Figure 39. Recherche-création impliquant : (a) l'exactitude scientifique, (b) l'exactitude géographique et (c) une narration « vivante ». Source : storyboard « A la frontière du vivant ». ©Cécile Guillard & Cédric Dentant.

7.3.2.3 Terrain, dessin et narration : recherche d'un nouvel hybride

Inventaire naturaliste et ascension sociale du dessin

Ce projet de bande dessinée vise à parler d'êtres vivants à la limite altitudinale des conditions de vie connues. Parler de ce vivant, c'est parler d'une certaine diversité d'espèces – d'une certaine « biodiversité ». Or, une des composantes fortes des recherches auxquelles j'ai contri-

buées repose sur la « fabrique » de la biodiversité, à savoir sur la discrétisation des taxons et leur nomination (cf. section 3.2.4). Il me semblait ainsi fondamental qu'avant tout terrain de haute montagne, propre à la contemplation et au risque inhérent d'un récit « carte postale », Cécile puisse vivre de l'intérieur ce qu'est la démarche naturaliste – au sens de la description du vivant, impliquant inventaire et identification de taxons.

Vendredi 10 juin 2022

Gîte de la Draye, commune de Crots (Hautes-Alpes) – Inventaire généralisé

Sous la conduite de Damien Combrisson et Joris André, le Parc national des Écrins organise un inventaire de la biodiversité « cachée » (synonyme de « mal connue ») de la commune de Crots, sur trois jours ; du 10 au 12 juin 2022. L'évènement, baptisé « Écrins de nature », rassemblait une soixantaine de spécialistes naturalistes (d'insectes principalement) afin d'inventorier sur le territoire communal tout ce qui relevait de leurs groupes biologiques de prédilection. Chasses de jour, chasses de nuit, collectes innombrables, tris des échantillons, déterminations, compilation des observations, etc. Les données accumulées, sur trois jours, sont colossales. La force du collectif et des connaissances taxinomiques pointues rend une telle œuvre impossible à résumer à une somme des parties. Nous retrouvons sous une forme différente la structure du fonctionnement scientifique micro-social définie par Parker et Hackett (2012) : « *hot spots and hot moments* » (cf. section 6.1.3.3) – fonctionnement très apprécié des naturalistes, car fixant des bornes spatio-temporelles à une activité d'inventaire potentiellement « in-finie » (jamais réellement terminée au vu de la diversité faramineuse de ce compartiment biologique).

Dimanche 12 juin 2022

Gîte de la Draye

Après trois journées et deux soirées d'inventaires d'une grande intensité, Cécile me confirme avoir tout le matériel nécessaire pour ce volet documentaire. Sa présence et ses dessins ont créé une nouvelle atmosphère, faite de curiosité et de décentrage vis-à-vis des seuls techniques et attendus des inventaires : les participants étaient curieux et heureux de ce nouveau regard, de cette autre manière – peu usuel sous cette forme – de rendre compte du réel.

Habitué-es aux dessins naturalistes expressionnistes, les participant-es ont été fortement (et joyeusement) interpellé-es par cette autre forme de dessin – celui de bande dessinée – plus libre vis-à-vis de structures réalistes (figure 40). Le dessin est ainsi devenu un *acteur* de ces journées d’inventaire scientifique.

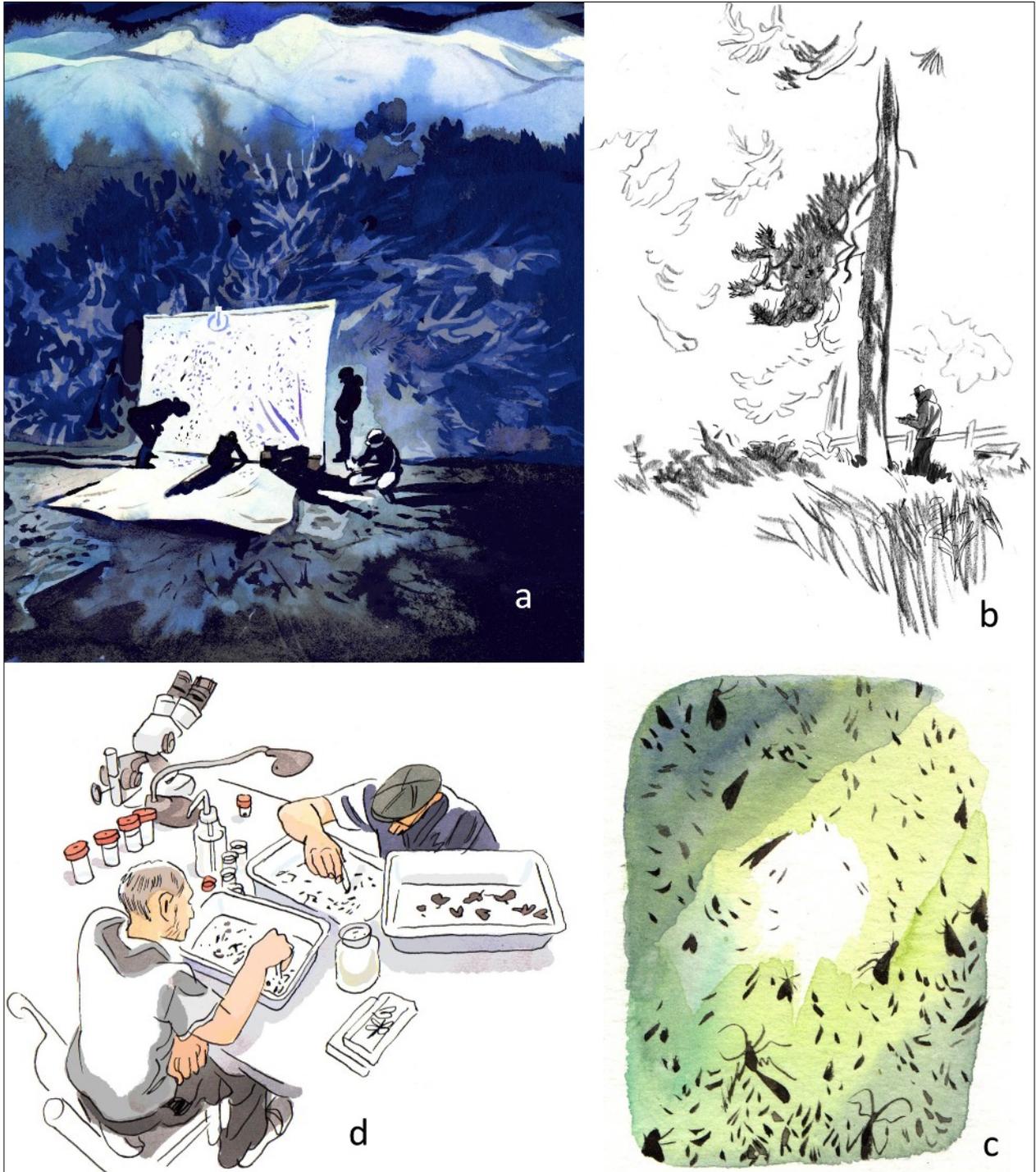


Figure 40. Rendus graphiques de la « fabrique » de la biodiversité à Crots : a. chasse de nuit; b. inventaire terrain ; c. diversité d’insectes sur toile éclairée; d. tri des échantillons d’insectes récoltés et mis à mort. Dessins : ©Cécile Guillard.

Nous avons déjà vu que le dessin n'est pas un nouvel acteur dans la science du vivant. Mais sa position est nouvelle : l'expérience de Crots montre qu'il n'est plus subordonné à la volonté des naturalistes (cf. section 7.2.3.3), mais devient au contraire un facteur de motivation émotionnelle vis-à-vis du travail laborieux que représente un inventaire naturaliste (Gabillet et al. 2020) :

« *C'est trop bien ! On voit jamais ça dessiné !* » (participant)

« *Vous nous direz quand sortira la BD hein ?* » (participants)

« *Tu sais quoi, on va faire le rendu de l'inventaire avec les dessins de Cécile ! Ça va être trop classe et ça fera un beau cadeau aux participants !* » (Damien)

Cette ascension sociale du dessin lui a ainsi conféré une place centrale dans la synthèse diffusée par le Parc national¹¹¹.

L'objectif initial était de nourrir le projet de bande dessinée avec le réel qui « fabrique » de la biodiversité (inventaires, échantillonnages, détermination, nomination, naturalistes, etc.). Même sous la forme d'esquisse, le dessin a en retour contribué à ce réel en jouant sur les émotions de ses protagonistes, sous la forme d'un récit graphique inhabituel de leurs pratiques collectives et individuelles.

« *Sense of place* » de la haute montagne dans le récit séquentiel

La pratique de la haute montagne implique un cheminement. Assurément physique, parfois psychique. Cette logique, impliquant une temporalité étendue pour parcourir un espace contraint, me semblait particulièrement en phase avec la mécanique séquentielle du récit en bande dessinée. Citant Mc Cloud, Groensteen (2011) rappelle ainsi que « le propre de la BD est de convertir le temps en espace¹¹² » (p.147). Si le moment fort (*hot moment*) de l'inventaire de Crots avait rempli sa mission en matière scientifique, il nous a semblé préjudiciable à la narration de seulement mettre en série de « *hot moments* » dans différents « *hot spots* ». Le choix a

¹¹¹ <https://www.ecrins-parcnational.fr/fichedoc/ecrins-nature-crots-juin-2022>

¹¹² Par espace, il faut entendre ici celui de la planche.

donc été de faire un cheminement géographique qui permette à la fois de guider le rythme du récit (ce qui inclut le scénario) et de s’immerger dans un territoire pour lequel les dessins devront « servir » l’exactitude géographique (cf. 7.3.2.2). Cette posture ne manquera pas d’apparaître comme un paradoxe – voire une incohérence – au vu de l’argumentation précédente. L’ascension sociale du dessin aurait-elle donc été de courte durée ? La recherche d’exactitude géographique par le dessin, c’est-à-dire la représentation figurative des sommets, est à lire à l’aune de la recherche de « forces » dans le récit : la possibilité de reconnaître des lieux géographiques est profondément ancrée dans ce que les chercheurs anglophones appellent « *the sense of place* »¹¹³ (Tuan 1977, Masterson et al. 2017). Ce sentiment d’attachement à des lieux et des espaces peut être, d’après Masterson et al. (2017), un puissant moteur de transformation sociale et d’encapacitation face à la crise du vivant. À cela s’ajoute une composante cognitive centrale : l’attachement aux lieux contribue à la construction de l’identité de celle ou celui qui le porte. La recherche d’exactitude des lieux géographiques apparaît ainsi comme un moyen de convoquer dans le récit un sentiment positif et encapacitant sur un sujet doublement rugueux : science et plantes.

Une géographie du récit au cœur des Écrins

Le terrain, sous forme de cheminement, a donc consisté à faire le tour de la Barre des Écrins sur 4 jours (nous en avions prévu cinq afin de pallier d’éventuels aléas météorologiques), sans recherche particulière de sommets, mais en maximisant les rencontres avec des humains (principalement gardien-nes de refuge) et des non humains (principalement plantes à fleurs). Il s’agissait également d’impliquer Cécile, à nouveau dans une logique de type « reportage », sur les implications d’inventaires botaniques en altitudes (relevés, échantillonnages de matériau végétal, pose/relève de capteur, etc.).

Lundi 11 juillet 2022 – 9 h

Pré de Mme Carle, commune de Vallouise-Pelvoux (Hautes-Alpes)

Nous partons en direction du refuge des Écrins. Nous ne sommes assurément pas seuls à prendre pied sur ce chemin très fréquenté. Le sentiment de solitude devra encore attendre quelques centaines de mètres de dénivelé et quelques kilomètres à pied avant de pouvoir s’ex-

¹¹³ Que nous traduirons imparfaitement par « l’attachement aux lieux ».

primer. Toutes les rencontres (botaniques) sont prétextes à discussion et « nourrissage » du récit.

Refuge des Écrins (3175 m) – 15 h

L'oxygène se fait immanquablement désirer. Arrivés dans ce lieu d'air « pur », je remets à Damien Haxiaire, le gardien du refuge, les deux paquets de cigarettes qu'il m'avait demandé de lui monter.

Mardi 12 juillet – 5 h

Nous nous levons pour aller au Pic du glacier blanc (3527 m), par la voie normale. Sort de randonnée rocailleuse en haute altitude. Un jeune guide, venu à la dernière formation, m'a dit avoir observé au sommet des benoîtes rampantes (*Geum reptans*). Ce parcours me permet de faire une série de relevés botaniques, dont certains m'interpellent particulièrement – le laurier de Saint-Bruno (*Epilobium angustifolium*) en train de fleurir à plus de 3100 mètres d'altitude. Nous voyons descendre lentement deux hommes manifestement assez âgés. Je reconnais l'un deux, Claude Albrand, guide à Ailefroide. Je sais qu'il a 80 ans cette année... Ils passent trop loin pour nous entendre, alors nous continuons notre montée, faisant de chaque micro-événements de ce type sujet à discussion et réflexion vis-à-vis d'une narration à inventer.

Mercredi 13 juillet – 4 h

La météo est à ce qu'on qualifie encore de beau temps : pas un nuage, température clémente. À 4 h du matin, sur le Glacier blanc, l'eau ruisselle sous nos crampons. Nous marchons littéralement sur une immense rivière d'eau liquide, s'écoulant sur le glacier. Les quelques microns d'épaisseur de ce cours d'eau nous éviteront la noyade, mais il est impressionnant, quand on a connu les regels sévères des petits matins d'altitude, de vivre un tel phénomène. En fin de saison, les mesures réalisées par les collègues du Parc quantifieront cet écoulement : pendant les deux mois d'été, le glacier aura perdu près de 5 mètres d'épaisseur. Du jamais vu.

Dans la même logique de découverte, l'accès au col des Écrins se barre d'une crevasse naissante. Je n'avais jamais même soupçonné son existence. Contrepartie de ces températures : la

descente côté Vallon de Bonne Pierre n'est plus englacée. Avec le rééquipement d'un long câble, ce passage impressionnant, tant esthétiquement que verticalement, me semble être devenu plus aisé.

La journée est particulièrement longue, car partis du refuge des Écrins, nous rejoignons celui de Temple-Écrins, à l'opposé de la Barre. Nos cerveaux finissent par s'engourdir et il devient difficile de maintenir alertes les discussions sur la construction du récit. Mais c'est aussi cet état et ces expériences physiques qui permettront de donner corps aux personnages. De leur donner cette part de réel qui génère l'attachement.

Refuge de Temple-Écrins – 16 h

Il n'est pas rare en haute montagne de faire de longues journées. Il l'est plus de faire une longue distance. Toutefois, puisque nous recherchions un cheminement, il était difficile, au sein du massif, d'en trouver un plus « parfait » quant à la géographie des lieux et la diversité des espèces végétales rencontrées.

Jeudi 14 juillet

La météo étant d'une stabilité insolente, nous devrions finir ce tour aujourd'hui. Je découvre que Cécile pouvait aussi connaître la fatigue. Enchaîner les efforts d'endurance use le corps, mais créer une forme d'addiction. La particularité de la haute montagne est que ces efforts se combinent souvent à des nuits courtes, peu régénératrices. De plus, la déshydratation y est quasi permanente. Mais à ces conditions difficiles pour le corps humain, elle offre une sorte d'extase visuelle presque permanente. C'est la deuxième composante que Masterson et al. (2017) soulignait pour la genèse du *sense of place* : ce que ce lieu signifie pour la personne qui l'expérimente (*the meaning*). Ces auteurs semblent considérer cette composante comme mineure : « *We can think of them simply as a series of adjectives [...]* », et de conclure « *place meanings can be considered as place character (Lyon 2014): a given setting can be [...] a wilderness, for example* »¹¹⁴. Or, conférer à un lieu une signification n'est pas neutre. Surtout lorsqu'elle convoque tout un imaginaire comme celle de la *wilderness*. Arrivés au col de la Temple, le sentiment de « ne plus vouloir partir » ne tient pas à la réalité des mots, mais à la signification que nous donnons au lieu : sauvage, imposant, grandiose. Le récit que l'on

114 « Nous pouvons simplement les penser comme une série d'adjectifs » / « la signification du lieu peut être assimilé au caractère du lieu : un site donné peut être sauvage par exemple »

cherche à faire de l'exercice de la science en haute montagne ne peut faire l'économie – pas plus que la géographie de la science – de l'attachement au lieu. En ce sens, la montagne, dans notre projet de bande dessinée, peut être appréhendée comme un personnage. À voir si cette même logique pourrait s'appliquer à d'autres, non humains comme les plantes.

Nous arrivons au croisement entre le chemin montant au Glacier blanc et celui descendant de la moraine du Glacier noir. La boucle géographique se termine là, avant de refaire un chemin déjà pris 4 jours auparavant. Si le tour se termine, c'est maintenant le travail d'écriture du scénario qui commence, et celui des recherches graphiques que sont le storyboard (figure 41), les physionomies des personnages ou encore le colorscript.



Figure 41. Extrait du storyboard « A la frontière du vivant ». Source : ©Cécile Guillard & Cédric Dentant.

L'invention de l'auteur hybride

Tous les terrains faits avec Cécile Guillard ne peuvent résumer la narration que nous construisons. Mais ils ont inventé l'« auteur hybride » en train de créer le récit d'une science du vivant en haute montagne : chaque situation, rencontre, difficulté, extase a été repensée comme une possible inclusion au sein du récit.

Alors que nous avons « bouclé » le storyboard dans un estimatif de 250 pages, une nouvelle aussi inattendue que brutale est tombée : du fait de la crise du papier début 2023 (fabrication ralentie et coûts en forte augmentation), notre éditeur nous demande de revoir notre récit pour qu'il loge en 200 pages maximum. Donc de retirer 50 pages... Douche froide, car 50

pages sont l'équivalent matériel d'une aventure de Tintin ou d'Astérix & Obélix. En somme, c'est une énorme amputation du récit qui nous ait demandé. Or, le risque d'une amputation, c'est la mort (du récit). Mais cette contrainte du récit se retrouve tout autant dans les articles scientifiques, où le nombre de signes est limité. Parfois c'est la *review* qui impose de sacrifier l'étendue du texte. Ainsi, considérant personnellement le récit sous forme de BD comparable à celui d'un article, je me suis remis au travail d'écriture. Et l'auteur hybride a de nouveau fonctionné. La suite n'appartient plus à cette thèse.

7.4 Conclusion chapitre 7

Analyser les ressorts contemporains de la fabrique de la bande dessinée permet d'identifier les écueils possibles d'un récit scientifique empruntant ce médium. La volonté de vulgariser ou transmettre un savoir patiemment acquis semble insuffisante sans la transformation des protagonistes (scientifique et artiste-auteur·e de BD). Cette transformation implique à la fois d'inventer un auteur « hybride » et l'acceptation, pour le/la scientifique, de ne pas rester « extérieur » au processus artistique de création. Au-delà de l'image symbolique, la création d'un « auteur hybride » est une alchimie complexe. Cet hybride, dans le cas présentement décrit, a été rendu possible par un autre acteur du processus créatif en cours : la haute montagne.

Conclusion de la partie III

L'ethnobotanique s'intéresse autant aux relations d'usage matériel des plantes par des sociétés humaines (alimentation, constructions, etc.) qu'aux relations symboliques (croyances, rites, etc.). Pierre Lieutaghi précisait la part cognitive de ce champ d'études : « l'ethnobotanique a pour objet notre *attention* aux plantes en tout domaine qui ne relève pas de la botanique au sens strict » (Lieutaghi 2008, p.320). *L'attention* aux plantes, et par extension, *l'absence* d'attention. C'est dans cette logique de questionnement d'attention aux plantes de haute altitude par les humains qui la parcourt qu'a été conduit ce travail d'enquête autoethnographique auprès de guides de haute montagne.

Il est sans surprise que le régime de perception des plantes en haute montagne ait évolué au cours des soixante dernières années : connaître et trouver les plantes étaient vitales jusqu'à l'arrivée de la médecine moderne en montagne, concomitante avec l'essor d'un tourisme de masse. La connaissance des plantes, renvoyant à un passé à évacuer, a elle-même été évacuée. Seules les espèces trouvant leur place dans l'économie du tourisme ont survécu dans l'attention collective (génépi, edelweiss).

Cette invisibilisation n'est pas propre aux sociétés montagnardes des Alpes françaises, mais étant arrivée tardivement au vu du reste du territoire national, elle porte une forte charge symbolique. En considérant comme Morizot (2021) que la crise du vivant est aussi une crise de la sensibilité, ce chapitre a montré comment nos connaissances scientifiques acquises en haute altitude ont été mobilisées à des fins sociétales : influencer sur le régime de perception du vivant en haute altitude ; questionner l'attention portée par cette société des hauteurs (devenue principalement actrice du tourisme) à une composante fondamentale du vivant : les plantes.

Créer les conditions d'attention passe par la nécessité de médiation. Si elle a été principalement orale, basée sur des rencontres « en présentiel », la voie artistique est également expérimentée. La bande dessinée, ce 9^e art fils de cette même modernité, est un médium favorisant l'hybridité entre art et science grâce à un mode narratif requérant un auteur hybride : scénariste et illustrateur·trice.

Conclusion générale

Ce travail de thèse a mis en lumière les transformations d'une marge de la zone critique – la haute montagne habitée – et les relations qu'y tissent des êtres vivants, humains et non humains. Structurellement inter- et transdisciplinaire, cette thèse s'est construite sur trois piliers : (i) l'étude écologique et taxinomique des plantes à fleurs, (ii) l'étude, au travers de la géographie des sciences, des pratiques scientifiques mobilisées, et (iii) la recherche de mise en récit de cette science à des visées transformatives d'acteurs de la haute montagne. Souvent prônées, théoriquement valorisées, l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité sont des exercices périlleux à mettre en pratique dans le cadre d'une thèse : la science institutionnelle implique, dans toutes ses formes de recrutement, de s'insérer dans un sillon disciplinaire. L'absence d'enjeu professionnel au débouché de ce travail a offert une très grande liberté disciplinaire, favorisée par l'ouverture intellectuelle caractérisant la géographie à l'Université Grenoble Alpes, et plus particulièrement au laboratoire Pacte. La principale originalité de cette thèse repose peut-être sur cette science décloisonnée, au risque d'insatisfactions académiques.

En mobilisant la géohistoire, la géographie des sciences, la taxinomie, l'écologie historique, l'autoethnographie et l'ethnobotanique, nous avons tenté de montrer que produire des connaissances scientifiques sur des organismes vivants permet de bousculer la perception d'un espace considéré comme désertique, et ce faisant, de contribuer à transformer le régime de perception de notre espèce sur des non humains comme les plantes. Étant parti de l'hypothèse que la crise de la biodiversité est une crise du concernement, agir sur ce dernier au travers de différentes expérimentations de médiation a nécessité de comprendre comment cette connaissance scientifique s'est structurée au niveau géohistorique et au niveau du réseau d'acteurs.

Principaux résultats de la recherche menée

La haute montagne habitée

Observer, inventorier, échantillonner les plantes de haute montagne a autant permis de reconstituer une partie de leur histoire évolutive que de réviser leur diversité taxinomique. Les androsaces, groupe biologique modèle, se sont diversifiées dans des sommets rocheux fonctionnant comme des archipels au sein des glaciers de l'holocène – les nunataks. L'ADN a été

mobilisé comme agent de reconstitution du passé évolutif des androsaces (phylogénie). La reconstitution de ces lignées a montré un phénomène remarquable dans un tel espace : une radiation évolutive (*evolutionary radiation* – chapitre 4), à savoir une forte diversification d'espèces, dans un espace pourtant très contraignant en terme physiologique. Entrée disciplinaire de ce travail de thèse, l'écologie scientifique a ainsi contribué à repenser la haute montagne non plus comme espace géographique désertique, mais comme une composante active de la « zone critique ». La haute montagne, très étudiée en géoscience en tant qu'acteur majeur de la cryosphère, devient ainsi un lieu de vie. Et plus encore, un berceau de diversité biologique, en pleine mutation depuis l'entrée de la planète dans l'ère de l'Anthropocène. Les plantes à fleurs, habitantes discrètes de cette marge terrestre, sont des témoins majeurs de ces transformations « biogéologiques »¹¹⁵, par le jeu de leur présence, de leur arrivée, de leur disparition. Grâce à une démarche d'écologie historique, les dynamiques de ces espèces végétales depuis le début de l'Anthropocène se sont révélées d'une remarquable complexité (chapitre 5). Ainsi, à la haute montagne habitée, espace du temps long de l'évolution, se combine l'espace du temps de crise : celle du vivant et, plus largement, celle de la « zone critique ». Peut-être plus que tout autre, ce dernier concept réussit à rendre compte de l'hybride que forment ces temporalités, cet espace géographique de la haute altitude et ce vivant complexe.

Une manière hybride de faire connaissance

À cet hybride non humain se combine un hybride humain : celui d'individus et des institutions qu'ils représentent. Composé de scientifiques académiques et non académiques, cet hybride relève de la géographie des sciences et de la géohistoire : son origine et son évolution sont intimement liées à un espace géographique spécifique, celui de la haute montagne.

La boulimie exploratoire de l'Angleterre victorienne n'a pas épargné les hauts sommets des montagnes. D'abord les Alpes, puis les Andes et l'Himalaya, des explorateurs britanniques ont fait d'une pratique nouvelle – l'alpinisme – un singulier moteur de science. Aux figures tutélaires et iconiques de Horace Bénédict de Saussure et Alexandre de Humboldt ont succédé des alpinistes dilettantes en science, dans laquelle ils puisaient la légitimité requise à leurs explorations audacieuses. L'étude géohistorique du cheminement intellectuel d'un des plus célèbres d'entre eux, Edward Whymper, renouvelle le regard sur cette manière singulière de

¹¹⁵ Au sens de Gaillardet (2023), p.222.

faire connaissance : la création de zones frontières permettant au théoricien d'accéder par procuration corporelle à la haute altitude ; la circulation d'« objets » intermédiaires (échantillons naturalistes) contribuant à la connaissance scientifique autant qu'à la « formation » scientifique des collecteurs. Whymper est en effet un remarquable exemple d'explorateur se muant en scientifique de terrain. Pour reprendre les mots de Bruno Latour (2012), cette mutation ne vient pas de « nulle part ». Elle est intimement liée à la « cordée symbolique » formée dans la zone frontière de la science avec Henry Bates, scientifique de renom.

Au cours de ce travail, nous avons également essayé de montrer, par des récits autoethnographiques, comment cet hybride a pris une forme renouvelée : l'entrée en lice de la biologie de la conservation – science de crise de l'Anthropocène – avec des acteurs nouveaux comme les gestionnaires d'espaces naturels et des guides de haute montagne. Et dans une trajectoire autre que celle de Whymper, cette thèse est elle-même une mise en abîme de la transformation d'une science non académique en science académique.

Médiation, art et science

La 6^e extinction en cours est pour la première fois de l'histoire du vivant générée par une espèce : la nôtre, *Homo sapiens*. Cette crise de l'Anthropocène pose une question philosophique de fond : la disparition des espèces ne se résume pas à une accélération biologique de la destruction du vivant, mais repose grandement sur ce que Gaillardet (2023) appelle « une crise de la représentation » (p.229) et Morizot (2021) « une crise de la sensibilité ». L'érosion du lien des humains avec les autres formes de vie, symbolisée par la dualité de la « nature » d'un côté et de la « culture » de l'autre, apparaît comme le facteur clé de ce qui est communément appelé « l'érosion de la biodiversité ». Descola (2005), en analysant le phénomène, a rappelé qu'il n'était en rien consubstantiel à l'espèce humaine, et que cette dernière était porteuse d'une grande diversité de modes d'existence non extractives, non destructives. C'est dans ce contexte socioécologique qu'a été menée une partie de ce travail de thèse : mobiliser la haute montagne habitée comme un agent de médiation vis-à-vis de l'invisibilisation des espèces végétales d'altitude – ce que j'ai qualifié d'« ethnobotanique du vide », de non-relation aux espèces végétales. Interroger le régime de perception du vivant d'un groupe socioprofessionnel extrêmement présent en haute altitude (les guides de haute montagne) avait pour ob-

jectif de comprendre les ressorts de cette invisibilisation des plantes, de cette « inattention active » : problème de formation initiale, attentes structurantes du métier (sécurité, atteinte d'objectifs purement alpinistiques – et non la connaissance du vivant). N'étant pas attendu que les guides de haute montagne soient les seuls acteurs de changements sociétaux vis-à-vis du vivant, une expérimentation a également été menée avec la création d'un collectif rassemblé sur un « *hot moment* » : artistes, créateur·trices, chercheur·es, agents du Parc national des Écrins et guides (chapitre 6). Cette analyse microsociale montre aussi toute la difficulté à faire émerger le « concernement » lorsque les régimes de perception sont intimement liés, même dans les espaces naturels de la haute montagne, à des *habitus* de pratiques récréatives ou simplement de nécessité de survie des corps.

Une autre manière de faire médiation a été (et est encore à ce jour) expérimentée sous une forme artistique : celle de la bande dessinée. Dans l'objectif de créer une narration de la connaissance différente de celle des articles scientifiques, l'hybridation avec l'art invite à la transformation du scientifique : d'un producteur de faits, d'observations factuelles, il-elle devient créateur·trice. La haute montagne a été, dès les premières explorations de ses sommets, mise en lumière par le dessin – là encore par le prolifique Edward Whymper. Ce dernier, décrivant d'abord des sommets puis des faits d'alpinisme, s'est plus tard concentré sur le dessin scientifique d'espèces collectées sur les plus hauts sommets alors atteints (chapitre 2). La bande dessinée en cours de création (dont les modalités de gestation ont été détaillées au chapitre 7) s'apparente ainsi comme un renouveau de la narration d'une science du vivant en haute montagne. À la différence que la conscience d'être dans l'Anthropocène y ajoute un objectif performatif d'émergence de concernement vis-à-vis du vivant.

Méthodologie

La grande force méthodologique de ce travail de thèse est l'effectivité de l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité. Interdisciplinarité, avec les sciences du vivant (biologie, taxinomie, écologie) intimement associées aux sciences sociales (géographie des sciences, géohistoire, théorie de l'acteur réseau), et transdisciplinarité, avec plusieurs expérimentations et actions menées avec des non scientifiques (guides de haute montagne, artistes, documentaristes).

Cette thèse, si elle n'est signée que par une seule personne, est un travail éminemment collectif. Toutes les analyses génétiques et relatives à la phylogénie ont été menées par des col-

lègues qui en sont des spécialistes. L'autoethnographie, en pénétrant dans l'intimité de la construction d'une science « en action », a ainsi tenté de mettre en lumière les logiques du réseau d'acteurs de la science menée. L'exposition de faits est ainsi restée intimement liée à la mise en récit de leur production et la connaissance inhérente qui en a résulté.

Perspectives

Cette thèse a d'abord été imaginée comme une forme de « validation » de plus de douze années de recherches sur les plantes de haute montagne. Le binôme fructueux formé avec Sébastien Lavergne, chercheur académique, illustre tout le possible de l'hybridation avec une science issue d'une institution non académique : le Parc national des Écrins. Cette zone frontière aurait pu rester figée, stable dans son fonctionnement et dans sa structure, comme l'illustre des exemples antérieurs (Mauz & Granjou 2013). Cette thèse, par sa seule existence, matérialise la mutation de cette zone frontière initiale : elle clôt un cycle de recherche et son mode de fonctionnement. Mais lui refuser toute perspective serait naïvement oublier une des qualités intrinsèques de la science : celle de la ramification continue des questionnements.

La première perspective correspond à l'extension de travaux sur de l'évolution et la taxinomie des espèces de haute montagne (chapitre 4). Un important travail collaboratif avec Florian Boucher et Camille Voisin a ainsi pris forme sur un groupe de primevères d'altitude (*Primula hisuta* aggr.) et de l'influence de la géographie passée des glaciers. Une première salve de résultats a ainsi pu être publiée (Voisin et al. 2022), montrant comment d'immenses glaciers pouvaient créer des isolats « habités » et favoriser l'émergence de nouvelles espèces .

La seconde perspective repose sur l'écologie historique développée au chapitre 5. Après le mont Blanc, un important potentiel d'analyses concerne les Andes. Les nombreuses parts d'herbier de Whymper, étudiées fin 2023 au *National Natural History Museum* de Londres (BM), offrent des possibilités de revisites complémentaires à celles déjà réalisées par Sklenář et al. (2021). De plus, d'autres sources, sous forme de littérature scientifique ou d'herbiers, sont elles aussi à explorer. C'est ce que nous avons commencé à faire avec les observations de Carlo Lui Spezzazini, botaniste argentin prolifique de la fin du 19^e siècle. Un projet est en cours de réflexion avec le groupe ayant opéré sur les îlots de la Mer de glace (chapitre 5) : Sébastien Lavergne (CNRS), Brad Carlson et Nicolas Bartalucci. D'autres chercheurs seront aus-

si à mobiliser : des botanistes locales comme Rosa Isela Meneses et Priscilla Muriel, et des chercheurs impliqués dans les Andes comme Fabien Anthelme (directeur de recherche à l'IRD, laboratoire AMAP, Montpellier), Pierre Moret (CNRS, laboratoire TRACES, Toulouse) Gwendolyn Peyre (Universidad de los Andes, Colombie) et Stephan Halloy (professeur émérite en Argentine et Nouvelle Zélande).

Dans la continuité des expérimentations de médiation menées avec les guides de haute montagne français, un travail comparable pourrait être envisagé dans les Andes méridionales, en Patagonie chilienne, avec Fabien Bourlon, membre du *Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia* (CIEP). Une telle entreprise aurait vocation à nourrir les recherches menées sur une forme particulière de médiation : celle du tourisme scientifique. S'il n'est pas question ici de développer ce thème largement traité par ailleurs (Mao & Bourlon 2017; Vialette et al. 2021), notons qu'il englobe toutes les perspectives de recherches inter- et transdisciplinaires évoquées pour les Andes.

Une dernière perspective, particulièrement originale, est la finalisation et parution de la bande dessinée « À la frontière du vivant », réalisée avec Cécile Guillard, les éditions Futuropolis et le Parc national des Écrins. L'irruption de ce médium dans un travail de recherche n'est pas en soi une nouveauté, contrairement à son intégration dans une recherche sur la géographie des sciences en haute montagne. L'analyse critique du mode de mise en récit de la science par ce médium a abouti à la soumission d'un article scientifique à la revue *Natures Sciences Sociétés*. L'autre forme de publication – le récit séquentiel proprement dit sous forme de bande dessinée – donnera à voir une bonne part du travail de recherche menée dans cette thèse. Une mise en abîme singulière d'une « science en action », qui par le point final de cette phrase perdra définitivement cette qualité.

Références

A

Abram D. 2021. Comment la terre s'est tue. Pour une écologie des sens. Paris: La Découverte.

Acot P. 2000. Les montagnes dans la constitution de l'écologie au XIXe siècle. In: Pont J-C, Lacki J, editors. Une cordée originale. Histoire des relations entre science et montagne. Genève: Georg Editeur; p. 19–26.

Akrich M, Callon M, Latour B. 2006. Sociologie de la traduction. Textes fondateurs. Paris: Presses des Mines.

Arpin I, Mounet C, Geoffroy D. 2015. Inventaires naturalistes et rééducation de l'attention. *Etud Rurales*.(195):89–108.

B

Barbaras R. 2008. Introduction à la philosophie de Husserl. Chatou: Les Éditions de la transparence.

Barrau J. 1977. Histoire naturelle et anthropologie. *Espac géographique*. 6(3):203–209.

Baumel A, Roquet C, Lavergne S, Smyčka J, Garraud L, Abdulkhak S, Dentant C, Mouly A, Vuilleminot M, Crémel K, et al. 2023. Evolutionary distinctiveness with incomplete isolation of the narrow endemic alpine plant *Saxifraga delphinensis* Ravaud. *Alp Bot*. 133(2):85–99.

Bertrand R. 2019. Le Détail du monde. Paris: Editions Seuil.

Bertsch McGrayne S. 2011. The theory that would not die. London: Yale University Press.

Blandin P. 2009. De la protection de la nature au pilotage de la biodiversité. Versailles: éditions Quae.

Boltanski L. 1975. La constitution du champ de la bande dessinée. *Actes Rech Sci Soc*. 1(1):37–59.

Bouneau C. 2007. La promotion de l'économie touristique, levier de la politique d'aménagement du territoire en France des années 1950 aux années 1980. *Entrep Hist*. 2(47):93–108.

Bourdeau P. 2002. Approche géo-historique de l'alpinisme pendant l'Occupation : le cas du massif des Ecrins (1940-1944). In: *Le Sport les français pendant l'occupation 1940-1944*. Paris: L'Harmattan.

Bourdeau P, Corneloup J. 2015. Changement culturel et effets générationnels dans les métiers sportifs de la montagne. In: Attali M, editor. L'ENSA à la conquête des sommets. La montagne sur les voies l'excellence. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble; p. 171–194.

Bozonnet J-P. 1992. Des monts et des mythes : l'imaginaire social de la montagne. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Brack A. 2022. Mars, notre passé et notre avenir. Paris: Alpha - Science.

Brunet P. 2008. De l'usage raisonné de la notion de « concernement »: Mobilisations locales à propos de l'industrie nucléaire. *Natures Sci Soc.* 16(4):317–325.

C

Callon M. 2006. Sociologie de l'acteur réseau. In: Akrich M, Callon M, Latour B, editors. Sociologie de la traduction. Textes fondateurs. Paris: Presses des Mines; p. 267–276.

Chardon M. 1984. Montagne et haute montagne alpine, critères et limites morphologiques remarquables en haute montagne. *Rev géographie Alp.* 72(2):213–224.

Chardon M. 1989. Essai d'approche de la spécificité des milieux de la montagne alpine. *Rev géographie Alp.* 67(1/2/3):15–28.

Clément P, Quessada MP. 2008. Les convictions créationnistes et/ou évolutionnistes d'enseignants de biologie: Une étude comparative dans dix-neuf pays. *Natures Sci Soc.* 16(2):154–158.

Cockell CS, Bush T, Bryce C, Direito S, Fox-Powell M, Harrison JP, Lammer H, Landenmark H, Martin-Torres J, Nicholson N, et al. 2016. Habitability: A Review. *Astrobiology.* 16(1):89–117.

Collver J, Weitkamp E. 2018. Alter egos: An exploration of the perspectives and identities of science comic creators. *J Sci Commun.* 17(1):1–22.

Conner CD. 2011. Histoire populaire des sciences. Paris: Editions de l'échappée.

Corlett RT. 2015. The Anthropocene concept in ecology and conservation. *Trends Ecol Evol.* 30(1):36–41.

Corneloup J, Bourdeau P, Bachimon P, Bessy O. 2014. The peri-urban recreational liveability. *Societes.* 125(3):47–58.

Corsi P. 2005. Décrire ou classer? Taxinomies au XVIIIe siècle. In: Hoquet T, editor. Les fondements la botanique. Linné et la classification des plantes. Paris: Vuibert.

Crutzen PJ. 2006. The “Anthropocene.” In: Ehlers E, Krafft T, editors. *Earth System Science in the Anthropocene*. Berlin: Springer; p. 13–18.

Crutzen PJ, Stoermer EF. 2000. The ‘Anthropocene.’ *IGBP Newsl.*(41):17–18.

D

Dartnell LR. 2011. Biological constraints on habitability. *Astrobiology*. 52(1):25–28.

Daston L. 1994. How Probabilities Came to Be Objective and Subjective. *Hist Math*. 21(3):330–344.

Daston L, Galison P. 2012. *Objectivité*. Paris: Les presses du réel.

Debarbieux B. 2012. Figures et Unité de l’idée de montagne chez Alexandre von Humboldt. *CyberGEO*, DOI : 10.4000/cyberge0.25486.

Debarbieux B, Rudaz G. 2010. *Les faiseurs de montagne*. Paris: CNRS EDITIONS.

Debono M-W, editor. 2020. *L’intelligence des plantes en questions*. Paris: Hermann.

Delcour D. 2004. *Plantes et gens des Hauts. Usage et raison de la flore populaire médicinale haut-alpine*. Forcalquier: Les cahiers de Salagon 9. Les Alpes de lumière.

Dentant C. 2018. The highest vascular plants on Earth. *Alp Bot*. 128(2):97–106.

Dentant C. 2020. *Et si Darwin avait été alpiniste ?* Gap: Le Naturographe éditions.

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*. 64:83–98.

Descola P. 2011. *L’écologie des autres. L’anthropologie et la question de la nature*. Versailles: Editions Quae.

Descola P. 2015. *Par-delà nature et culture. folio essai*. Paris.

Dickenson J. 1996. Bates, Wallace and economic botany in mid-nineteenth century Amazonia. In: Seaward MRD, FitzGerald SMD, editors. *Richard Spruce (1817-1893) Botanist and Explorer*. Kew: The Royal Botanic Gardens, Kew.

Dilley R. 2010. Reflections on knowledge practices and the problem of ignorance. *J R Anthropol Inst*. 16(SUPPL. 1).

Drew WB. 1996. Cinchona work in Ecuador by Richard Spruce, and by United States botanists in the 1940s. In: Seaward MRD, FitzGerald SMD, editors. *Richard Spruce (1817-1893) Bot Explor*. Kew: The Royal Botanic Gardens, Kew; p. 359.

Drouin JM. 2005. Linné et la dénomination des vivants : portrait du naturaliste en législateur. In: Hoquet T, editor. Les fondements de la botanique. Linné et la classification des plantes. Paris: Vuibert.

E

Edytem. 2012. Mer de glace - Art et Science. Chamonix: Esope.

Ellis C, Adams TE, Bochner AP. 2011. Autoethnography : An Overview. FORUM Qual Soc Res. 12(1):345-357.

Ewan J. 1996. Tracking Richard Spruce's legacy from George Bentham to Edward Whymper. In: Seaward MRD, FitzGerald SMD, editors. Richard Spruce (1817-1893) Botanist and Explorer. Kew: The Royal Botanic Gardens, Kew.

F

Feyerabend P. 1979. Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance. (1975, pour l'édition originale anglaise). Paris: Editions du Seuil.

Fienberg SE. 2006. When did Bayesian inference become "Bayesian"? Bayesian Anal. 1(1 A):1-40.

Fischer RA. 1922. On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics. Philos Trans R Soc London. A(222):309-368.

Fischer RA. 1925. Statistical Methods for Research Workers. London & Edinburgh: Oliver and Boyd.

Foucault M. 1966. Les mots et les choses. Paris: Editions Gallimard.

Friedman WE. 2009. The meaning of Darwin's "abominable mystery." Am J Bot. 96(1):5-21.

G

Gabillet M. 2021. Au cœur de la participation . Les émotions dans le travail des animateur · rices de programmes participatifs de suivis environnementaux. Muséum National d'Histoire Naturelle.

Gabillet M, Arpin I, Prévot AC. 2020. Between hope and boredom: Attending to long-term related emotions in participatory environmental monitoring programmes. Biol Conserv. 246.

Gaillardet J. 2023. La Terre habitable ou l'épopée de la zone critique. Paris: La Découverte.

Gaudant J. 2008. Johann Jakob Scheuchzer - Les fossiles témoins du Déluge. Paris: Presses de l'Ecole des mines.

Giardino JR, Houser C. 2015. Introduction to the Critical Zone. Amsterdam: Elsevier.

Gigerenzer G. 2004. Mindless statistics. *J Socio Econ.* 33(5).

Grataloup C. 2015. Introduction à la géohistoire. Paris: Armand Colin.

Groensteen T. 2011. Bande dessinée et narration. *Système de la bande dessinée 2*. Paris: Presses Universitaires de France.

Groensteen T, Peeters B. 1994. Töpffer, l'invention de la bande dessinée. Paris: Hermann.

Gros C. 2000. Une anthropologie culturelle des Alpes et des Suisses à l'Age Baroque: l'oeuvre scientifique des frères Scheuchzer (1672-1733). In: Pont J-C, Lacki J, editors. *Une cordée originale. Histoire des relations entre science et montagne*. Genève: Georg Editeur.

Guyon F. 2022. Les cheminements sylvestres comme source d'une nouvelle alliance ? In: *Vingtième séminaire annuel d'ethnobotanique du domaine européen : "Retour en forêt"*. Mane: Musée de Salagon.

H

Hacking I. 1990. *The Taming of Chance*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hacking I. 2002. *L'émergence de la probabilité*. Paris: Le Seuil.

Harari YN. 2015. *Sapiens. A Brief History of Humankind*. New York: HarperCollins.

Heinich N. 2017. L'artification de la bande dessinée. *Debat.* 195(3):5.

Herzog M. 1951. *Annapurna, premier 8000*. Grenoble: Arthaud.

Hoquet T. 2005. Linné et les guerres des plantes. In: Hoquet T, editor. *Les fondements de la botanique. Linné et la classification des plantes*. Paris: Vuibert.

I

Ingold T. 2013. *Marcher avec les dragons*. Paris: Zones Sensibles.

IPBES. 2019. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Brondizio ES, Settele J, Diaz S, Ngo HT, editors. Bonn.

J

Jakosky BM, Neelson KH, Bakermans C, Ley RE, Mellon MT. 2003. Subfreezing activity of microorganisms and the potential habitability of Mars' polar regions. *Astrobiology*. 3(2):343–350.

James W. 2022. *Le pragmatisme*. 1907th ed. Paris: Flammarion/Champs classiques.

Jameson W. 1865. *Synopsis Plantarum Aequatoriensium*. Quito: Typis Joannis Pauli Sanz.

Jenkins H. 2012. Introduction: should we discipline the reading of comics? In: Smith MJ, Duncan R, editors. *Critical Approaches to Comics: Theories and Methods*. New-York: Routledge; p. 1–15.

Jones SH, Adams TE, Ellis C. 2016. *Handbook of autoethnography*. London & New York: Routledge.

Jordan D. 2010. Le Jardin de Talèfre, dans le massif du Mont-Blanc à Chamonix. Réévaluation et contribution à sa connaissance botanique. *Le Monde des Plantes*. 501:9–19.

Joutard P. 1988. La haute montagne, une invention protestante? *Monde Alp Rhodan.*:123–132.

Judd WS, Campbell CS, Kellogg EA, Stevens PF, Donoghue MJ. 2008. *Plant Systematics. A Phylogenetic Approach*. 3e édition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, INC.

K

Kaufmann J-C. 2004. *L'entretien compréhensif*. Paris: Armand Colin.

Kennedy-Shaffer L. 2019. Before $p < 0.05$ to Beyond $p < 0.05$: Using History to Contextualize p-Values and Significance Testing. *Am Stat*. 73(sup1):82–90.

Keynes JM. 1946. Newton, the Man. In: Newman JR, editor. *The World of Mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1956; p. 277–285.

Körner C. 2011. Coldest places on earth with angiosperm plant life. *Alp Bot*. 121(1):11–22.

Kunzle D. 1985. Goethe and Caricature: From Hogarth to Töpffer. *J Warburg Courtauld Inst*. 48:164–188.

L

- Labarre N, Bardiaux-Vaïente MG. 2017. La bande dessinée, langage pour la recherche. *Essais Rev Interdiscip d'Humanités*. Hors série:8–20.
- Lagasnerie (de) G. 2011. *Logique de la création*. Fayard, editor. Paris.
- Laplace PS. 1825. *Essai philosophique sur les probabilités*. 5e ed. Paris: Bachelier.
- Larrère C, Larrère R. 2018. *Penser et agir avec la nature*. 2nde édit. Paris: La Découverte.
- Latour B. 1987. *Science in action : how to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press, editor. Cambridge, Massachusetts.
- Latour B. 1991. *Nous n'avons jamais été modernes*. Paris: La Découverte.
- Latour B. 2012. *Enquête sur les modes d'existence. Une anthropologie des Modernes*. Paris: La Découverte.
- Latour B. 2015. *Face à Gaïa: Huit conférences sur le nouveau régime climatique*. Paris: La Découverte.
- Law J. 1994. *Organizing Modernity*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Lee D Min. 2018. Using grounded theory to understand the recognition, reflection on, development, and effects of geography teachers' attitudes toward regions around the world. *Int Res Geogr Environ Educ*. 27(2):103–117.
- Lesage S. 2019. Une bande dessinée adulte ? Usages et mésusages de la légitimation. *Belphégor*.(17):1–13.
- Levi-Strauss C. 1962. *La pensée sauvage*. Paris: Plon.
- Lieutaghi P. 1983. *L'ethnobotanique au péril du gazon*. :0–9.
- Lieutaghi P. 1996. *Le livre des bonnes herbes*. 3e ed. Arles: Actes Sud.
- Lieutaghi P. 1998. *La plante compagne. Pratique et imaginaire de la flore sauvage en Europe occidentale*. Arles: Actes Sud.
- Lieutaghi P. 2006. *Petite ethnobotanique méditerranéenne*. Arles: Actes Sud.
- Lieutaghi P. 2008. *L'ethnobotanique, science humaine au miroir des plantes*. In: Hallé F, Lieutaghi P, editors. *Aux Origines des plantes. Des plantes et des hommes*. Paris: Fayard.
- Lineweaver CH, Chopra A. 2012. The Habitability of Our Earth and Other Earths: Astrophysical, Geochemical, Geophysical, and Biological Limits on Planet Habitability. *Annu Rev Earth Planet Sci*. 40(1):597–623.
- Livingstone DN. 2003. *Putting science in its place*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lusseyran J. 2005. *Et la lumière fut*. 2e ed. Paris: éditions du Félin.

M

Macfarlane R. 2003. *The Mountains of the Mind*. London: Granta Books.

Madrid Casado CM. 2018. Fischer. *La statistique, entre mathématique et expérience*. Barcelona: RBA.

Mak J. 2019. Histoire culturelle et bande dessinée : pistes méthodologiques et positions pédagogiques pour questionner la BD en tant que document historique. In: Rouvière N, editor. *Bande dessinée et enseignement des humanités*. Grenoble: UGA Editions; p. 434.

Mao P. 2021. *Mobilités , science et savoirs*. Grenoble.

Mao P, Bourlon F. 2017. *Le tourisme scientifique en Patagonie chilienne*. Paris: L'Harmattan.

Mao P, Hautbois C, Langenbach M. 2009. Développement des sports de nature et de montagne en France: Diagnostic comparé des ressources territoriales. *Geogr Econ Soc*. 11(4):301-313.

Maris V. 2018. *La part sauvage du monde - Penser la nature dans l'Anthropocène*. Paris: Éditions du Seuil.

Martin N. 2022. *À l'Est des rêves*. Paris: La Découverte.

Martinoia R. 2015. Du "serviteur" au "seigneur" - Une relecture historique de la domination dans la relation guide-client, au prisme de l'institutionnalisation du métier. In: Attali M, editor. *L'ENSA à la conquête des sommets. La montagne sur les voies de l'excellence*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Martinoia R. 2019. Les dissonances de l'alpinisme féminin dans le métier de guide de montagne. *Rev géographie Alp*. (101-1) : 1-11.

Martins C. 1865. Deux ascensions scientifiques au Mont Blanc. *Rev des deux mondes*.:4-38.

Marx HE, Dentant C, Renaud J, Delunel R, Tank DC, Lavergne S. 2017. 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. *J Biogeogr*. 44(11):2618-2630.

Masterson VA, Stedman RC, Enqvist J, Tengö M, Giusti M, Wahl D, Svedin U. 2017. The contribution of sense of place to social-ecological systems research: A review and research agenda. *Ecol Soc*. 22(1).

Mauz I, Granjou C. 2013. A New Border Zone in Science. Collaboration and Tensions between Modelling Ecologists and Field Naturalists. *Sci Cult (Lond)*. 22(3):314-343.

- Meilleur BA, de Garine E. 2008. Les classifications biologiques populaires : peut-on vivre avec les plantes sans savoir les classer ? In: Hallé F, Lieutaghi P, editors. Aux Origines des plantes. Des plantes et des hommes. Paris: Fayard.
- Miller A. 2007. Reading bande dessinée: Critical Approaches to French-language Comic Strip. Bristol, Chicago: Intellect.
- Miller JB, Gelman A. 2019. Laplace's theories of cognitive illusions, heuristics, and biases. SSRN.
- Miralles A, Raymond M, Lecointre G. 2019. Empathy and compassion toward other species decrease with evolutionary divergence time. *Sci Rep.* 9(1):1–8.
- Moret P, Aráuz M, Gobbi M, Barragán A. 2016. Climate warming effects in the tropical Andes: first evidence for upslope shifts of Carabidae (Coleoptera) in Ecuador. *Insect Conserv Divers.* 9:342–350.
- Morizot B. 2020. Manières d'être vivant. Arles: Actes Sud.
- Morizot B. 2021. Nouer culture des luttes et culture du vivant. Socialter [Internet]. <https://www.socialter.fr/article/nouer-culture-des-luttes-et-culture-du-vivant-1>
- Mourey J. 2016. L'alpinisme à l'épreuve du changement climatique. Université Grenoble Alpes.
- Munoz Santonja J. 2018. Newton. L'inventeur de la physique mathématique moderne. Barcelona: RBA.

N

- Nocérino P. 2020. Les auteurs et autrices de bande dessinée. La formation contrariée d'un groupe social. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.

O

- Olivier de Sardan J-P. 2008. La rigueur du qualitatif. Les contraintes empiriques de l'interprétation socio-anthropologique. Louvain-La-Neuve: Academia-Bruylant.

P

- Parker JN, Hackett EJ. 2012. Hot spots and hot moments in scientific collaborations and social movements. *Am Sociol Rev.* 77(1):21–44.
- Payot V. 1854. Guide du botaniste au Jardin de la Mer de glace. Geneva.

Payot V. 1862. Végétation de la région des neiges, ou Flore des Grands-Mulets (Mont-Blanc). *Ann Soc impériale d'agriculture Lyon.*:215–222.

Payot V. 1868. Note sur la végétation de la région des neiges, ou Florule de la vallée de la mer de glace au centre du massif du Mont-Blanc. *Mém. Acad. impériale des Sciences, belles-lettres et arts de Lyon.*

Payot V. 1880. Recherches botaniques dans le massif du Mont-Blanc. *Annu du Club Alp Français.* 6:544–558.

Peeters B. 2005. Lire la bande dessinée. Case, planche, récit. Paris: Flammarion.

Poirier C. 2023. L'altérité dans la nature. Chemins pour s'ouvrir aux existences autres. Montpellier.

Pomier F. 2005. Comment lire la bande dessinée ? Paris: Klincksieck.

Portères R. 1966. Aspects de l'Ethnobotanique comme discipline scientifique affirmée. *J Agric Trop Bot Appl.* 13(12):701–704.

Preston LJ, Dartnell LR. 2014. Planetary habitability: Lessons learned from terrestrial analogues. *Int J Astrobiol.* 13(1):81–98.

Pugnaire FI, Morillo JA, Armas C, Rodríguez-Echeverría S, Gaxiola A. 2020. *Azorella compacta*: survival champions in extreme, high-elevation environments. *Ecosphere.* 11(2):1–5.

Q

de Queiroz K, Gauthier J. 1992. Phylogenetic Taxonomy. *Annu Rev Ecol Syst.* 23:449–480.

R

Rannou M. 2022. Depuis la table à dessin : transmettre la science du côté des auteurs. *Altern Francoph.* 3(1):7–22.

Rapuc W, Bouchez J, Sabatier P, Genuite K, Poulenard J, Gaillardet J, Arnaud F. 2021. Quantitative evaluation of human and climate forcing on erosion in the alpine Critical Zone over the last 2000 years. *Quat Sci Rev.* 268.

Ribeiro G. 2012. The origin of geohistory in Fernand Braudel: A chapter in the history of geographical thought. *Ann Geogr.* 121(686):329–346.

Ruddiman WF. 2013. The anthropocene. *Annu Rev Earth Planet Sci.* 41:45–68.

S

- Salim E, Gauchon C, Ravanel L. 2021. Seeing the Ice. An Overview of Alpine Glacier Tourism Sites, Between Post- and Hyper-Modernity. *Rev Géographie Alp.*(April):1–18.
- Sallenave L. 2020. Construire sa place en montagne quand on vient des quartiers populaires : un enjeu pour l'éducation populaire. *Urbanités.*(13):1–14.
- Schaffer S. 2011. Newtonian Angels. In: Raymond J, editor. *Conversations with Angels*. London: Palgrave Macmillan; p. 90–122.
- Seigneur V. 2007. *Socio-anthropologie de la haute-montagne*. Paris: L'harmattan.
- Sgard A, Arpin I. 2021. La montagne et les nouvelles manières de faire connaissance. *Rev géographie Alp.*(109–2):1–6.
- Shapin S. 2022. Hard science, soft science: A political history of a disciplinary array. *Hist Sci.* 60(3):287–328.
- Siam M. 2017. Grain de folie : du scientifique à l'artiste scientifique. *Essais Rev Interdiscip d'Humanités. Hors série*:52–63.
- Sklenář P, Romoleroux K, Muriel P, Jaramillo R, Bernardi A, Diazgranados M, Moret P. 2021. Distribution changes in páramo plants from the equatorial high Andes in response to increasing temperature and humidity variation since 1880. *Alp Bot.* 131(2):201–212.
- Smith I. 2011. *Shadow of the Matterhorn. The life of Edward Whymper*. Hildersley: Carreg.
- Smith PL. 2022. Extraterrestrial Nature Reserves. *International Journal of Astrobiology*: 1–39.
- Spencer EA, Heneghan C, Aronson JK. 2023. Catalogue of Bias Collaboration. Adherence bias. *Cat Bias* [Internet]. [accessed 2023 Nov 17]. <https://catalogofbias.org/biases/adherence-bias/>
- Stephen L. 1871. *The Playground of Europe*. London: Longmans, Green and Co.
- Szabó P. 2015. Historical ecology : past , present and future. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 90(4):997–1014.

T

- Taquet P. 2009. Les Académies des Sciences et l'enseignement de l'Évolution. *Rev Crit Theor Litt.*:1–80.
- Tassin J. 2020. Intelligence végétale : les maux des mots. In: Debono M-W, editor. *L'intelligence des plantes en question*. Paris: Hermann.

Tatalovic M. 2009. Science comics as tools for science education and communication: A brief, exploratory study. *J Sci Commun.* 8(4).

Tetet C. 1985. Matériels pour l'histoire du vocabulaire français. Les sports de montagne. L'alpinisme. I (1757-1975). *Datations et documents lexicographiques* 2(27).

Tollis C, Créton-Cazanave L, Aublet B. 2014. *L'effet Latour*. Paris: Editions Glyphe.

Truong N. 2021. Le « vivant », un concept qui gagne en popularité dans la philosophie et les combats écologiques. *Le Monde* [Internet].

https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/09/22/le-vivant-un-concept-qui-gagne-en-popularite-dans-la-philosophie-et-les-combats-ecologiques_6095554_3232.html

Tsing A. 2010. Arts of Inclusion , or How to Love a Mushroom. *Manoa.* 22(2):191–203.

V

Vialette Y, Mao P, Bourlon F. 2021. Le tourisme scientifique dans les Alpes françaises : un laboratoire pour la médiation scientifique et la recherche. *Rev géographie Alp.*(109–2):1–17.

Voisin C, Dentant C, Rioux D, Boucher FC. 2022. Introgression of an isolated *Primula* lineage suggests the existence of a glacial refugium in the Écrins range (Southwestern French Alps). *Alp Bot.*

W

Wallace AR. 1894. Richard Spruce, Ph.D., F.R.G.S. *Nature.* 49(1266):317–319.

Wandersee JH, Schussler EE. 2001. Toward a Theory of Plant Blindness. *Plant Sci.* 47(1):2–40.

Westfall RS. 1980. *Never at rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.

Wilson EO. 1992. *The Diversity of Life*. New York, London: W.W.Norton & Company.

Wright SD, Gillman LN. 2021. Replacing current nomenclature with pre-existing indigenous names in algae, fungi and plants. *Taxon*:1–5.

Wulf A. 2017. *L'invention de la nature. Les aventures d'Alexander von Humboldt*. Paris: Les éditions noir sur blanc.

Y

Yeung HW. 1997. Critical realism and realist research in human geography : a method or a philosophy in search of a method ? 1:51-74.

Yoccoz NG. 1991. Use, Overuse and Misuse of Significance Tests in Evolutionary Biology and Ecology. Bull Ecol Soc Am. 72(2):106-111.

Z

Zhong Mengual E. 2021. Apprendre à voir. Le point de vue du vivant. Arles: Actes Sud.

Table des figures

- Figure 1. *Viburnum whymperei* (flèche noire), arbre fossile décrit par Heer à partir des échantillons rapportés par Whympfer et issus de son expédition de 1867 (source : Heer (1867), licence CC by-sa)..... 53
- Figure 2. Sommet du Chimborazo lors de la première ascension. Joseph-Antoine Carrel (premier plan) porte un baromètre pour mesurer l'altitude. Gravure d'Edward Whympfer (licence CC by-sa)..... 55
- Figure 3. *Prionocalus whymperei*, coléoptère rapporté des Andes par Whympfer. Cette espèce nouvelle pour la science a été décrite par Bates et dédiée à Whympfer. Gravure d'Edward Whympfer (licence CC by-sa)..... 57
- Figure 4. *Lepidostemon everstianus*, plante rapportée du camp III, à 6400 m d'altitude, sur le versant tibétain de l'Everest ([BM] herbier Shipton). Photographie du *British Museum*.....59
- Figure 5. Photographie de *Geodermatophilus everesti* (x 45400), bactérie découverte sous le sommet de l'Everest et restant à ce jour l'organisme vivant le plus haut jamais contacté sur Terre (source : Ishiguro et Wolfe (1970), *Journal of Bacteriology* 104(1)).....63
- Figure 6. « République des botanistes » ou réseau d'acteurs dans la fabrique d'une biodiversité des hauts sommets équatoriens. 1 : zone frontière Whympfer/Carruthers. Collectes de terrain remises à un être intermédiaire (Carruthers). Aucune zone frontière ne semble avoir clairement émergé. 2 : distribution au sein de l'institution (ici *NNHM*). 3 : recherche sur les références écrites (publications) et physiques (herbiers). 4 : création d'objets intermédiaires hybrides (parts d'herbier composites) utilisés par Whympfer pour sa publication. La taille du disque (vert ou rouge) renvoie au niveau d'influence du type de science exercée.....71
- Figure 7. Planches d'herbier hybrides. Gauche : *Culcichium ascendens* Benth. [= *Aetheolaena lingulata* (Schltdl.) B.Nord.] récolté par Whympfer (en haut) et par Spruce (central). Les étiquettes ont été grossies pour être lisible. À noter que *Culcichium ascendens* est un nom donné par George Bentham à une espèce récoltée par Karl Hartweg, publié en 1845. Spruce étant arrivé en Amérique du Sud en 1849 après avoir passer deux années à Kew, en partie sous la direction de Bentham, était immergé dans ce travail taxinomique. Droite : Planche d'herbier de *Gentiana cernua* Kunth [= *Gentianella cernua* (Kunth) Fabris] comprenant des spécimens récoltés par Whympfer (W), Spruce (S), Jameson (J) et Hartweg (H). Au-delà des différents observateurs, ils traduisent aussi différentes époques (et parfois lieux) d'observation. À noter que *Gentiana cernua* est un des très nombreux noms donnés par Kunth à une espèce rapportée par Humboldt et Bonpland. La description de cette gentiane est de plus basée sur un spécimen rapporté du Chimborazo, lors de la célèbre tentative de 1803. Whympfer, pour le spécimen du Chimborazo de cette planche, indique une altitude maximale

équivalent à 4572 m. Kunth quant à lui stipule que la récolte de Humboldt et Bonpland a été faite à 3310 m (1818)..... 75

Figure 8. Dessins préparatoires de Whymper pour son supplément entomologique du *Travels amongst the Great Andes*. A et B : corrections de Henry Bates (crayon de papier) sur les tirages de Whymper. On peut lire « *this is wrong* » au-dessus de A, illustrant la soumission du dessin au regard du scientifique (cf. 7.2.3.3). C : symétriquement, les dessins sont explicitement validés : « *approved all 5 figures* » avec « *HW Bates* » en signature. Photo C. Dentant, source : fonds ENT MSS WHY B 1:1, Archives du *National Natural History Museum*, Londres.....77

Figure 9. Image prise au sol de Titan par la sonde Huygens le 14 janvier 2005 (©ESA). Les blocs au sol sont faits de glace, le reste est un océan peu profond de méthane liquide.....80

Figure 10. Gauche : la courbe hypsométrique bleue montre la fraction de surface solide à n'importe quelle altitude terrestre. Le histogramme montre l'accumulation de biomasse à chaque altitude pour les eucaryotes (violet - incluant des microorganismes, mais surtout tous les organismes pluricellulaires de la planète) et les procaryotes (rouge - archées et bactéries). Droite : courbe d'accumulation (en marron) de la fraction de surface terrestre solide au-dessus d'une altitude donnée (par exemple, environ 30 % de la surface solide terrestre est au-dessus du niveau de la mer (0 m a.s.l.)). (Lineweaver & Chopra 2012).....81

Figure 11. Illustration de la zone critique. Sur ce dessin, la zone critique s'étend des roches altérées, en bas de l'image, au sommet des arbres (source : © Jenny Parks, U.S. National Science Foundation)..... 83

Figure 12. Cadre structurant de la thèse sous une forme séquentielle.....105

Figure 13. Questions de recherche et principales hypothèses de travail. Il existe une porosité entre les hypothèses (flèches en pointillés)..... 109

Figure 14. (a) Geographic distribution of samples used for the phylogenomic analysis of *Androsace* sect. *Aretia* (b) Maximum-likelihood phylogeny of *Androsace* sect. *Aretia* based on the concatenation of 2,700 ddRAD tags together totaling 314,363 bp, and dated using penalized likelihood with secondary calibration. Bootstrap support is displayed at nodes and time is shown on the x axis in million years.....133

Figure 15. Genetic structure within the /*Helvetica* clade. (a) Distribution of study samples within the western Alps, spanning the three formerly described species and the three new species described in this study. Individuals of *A. saussurei* introgressed by *A. pubescens* are labeled as 'A. saussurei x'. (b) Pictures depicting the typical high elevation cliff habitats that have been explored for the present study (b1), and the three main mountain ranges where putative novel species occur, namely Mont Blanc (b2), Ecrins (b3), and Monte Viso (b4). (c) Phylogenetic relationships between the 51 individuals of /*Helvetica*, inferred using ML on a concatenation of 23,780 loci (276,745 bp). (d) Assignment of the same individuals to seven genetic clusters³³ as identified based on a strict selection of 381 unlinked SNPs.....135

Figure 16. Genetic and morphological delimitations of species within the /Helvetica clade. (A) Species tree inferred from a strict selection of 381 unlinked SNPs, all nodes received a posterior probability of 1.00 except for the most basal one which was supported with 0.45 posterior probability. (B) Drawings of the different trichome morphologies characterizing species of the /Helvetica clade. a-c : *A. pubescens* and *A. helvetica* ; d-i : *A. saussurei sp. nov.* and *A. delphinensis sp. nov.* (d, e, g leaves only; i peduncles only; f, h both leaves and peduncles) ; j-l : *A. vesulensis sp. nov.* ; m-n : *A. alpina*. All drawings from C. Dentant (C) Pictures depicting the overall morphology of different species delimited within the /Helvetica clade. Pictures from N. Bartalucci, L. Boulangeat, S. Ibanez, and S. Lavergne.....138

Figure 17. Map of study nunataks (red line contours) with Little Ice Age glacier extent (dashed blue line contours), within the Mont Blanc range. Given elevation for each site is the median. We chose to focus on the locations visited in 1868 and excluded recent surfaces freed up by glacier retreat, to avoid biases in the comparison of vegetation composition between the study dates.....164

Figure 18. Geomorphological changes of the Tacul nunatak (TC) through the Anthropocene. View from the CV nunatak painted in 1820 by Jean Antoine Linck (left) and picture taken in 2020 during our expedition (photo C. Dentant). This nunatak has evolved from a glacial lake, with relatively easy access, to an alpine lawn and heath atop a high, unstable moraine.....166

Figure 19. Observed changes in plant species richness in all study nunataks. Nunataks are ordered from the lowest elevation (TC, at the bottom) to the uppermost elevation (HR, at the top).....172

Figure 20. Species showing the most striking increasing trends among study nunataks ("grand winners"), that is species absent or rare in 1868 that have colonized more than three nunataks in 2020.....173

Figure 21. Contingency tables of species traits and classes of temporal dynamics, for lower nunataks (A1, B1, C1) and upper nunataks (A2, B2, C2). P-values from Fisher exact tests are reported when significant (p-value<0.1 *, p-value<0.05 **)......175

Figure 22. (A) Boxplots of greening trend values extracted for 30x30 m Landsat pixels within identified snowbed habitats ("Snowbed") and for the pixels covering non-snowbed habitat within nunataks ("Non-snowbed"). The width of boxplots is proportional to the number of pixels available for each class. (B) An aerial photograph acquired on September 3rd, 1980, which was used to identify the spatial distribution of summer snowfields (shown in green). The observed greening trend in these contexts suggests that some of these snowfields have receded and melted since the 1980s, and have since been colonized by snowbed vegetation. (C) A photograph of dwarf willow (*Salix herbacea*), which is a dominant snowbed species structuring these emerging plant communities (photo : C. Dentant).....177

Figure 23. Greening trend ($\Delta NDVI > 0$) vs Δ species richness (A) and temporal beta diversity (B) (p -value < 0.1 *, p -value < 0.05 **). The species richness in 2020 is given for each nunatak. 178	
Figure 24. A gauche, photo prise en 2008 (R. Fontaine), à droite en 2020 (C. Dentant). Les extrémités des segments et leur point de jonction sont rigoureusement les mêmes sur les deux photos – seul l'angle de prise de vue diffère. La zone entre la ligne médiane et la ligne inférieure sur la photo montre en 2008 une zone de pelouse et rochers presque intégralement disparus en 2020. La flèche blanche, en 2020, indique les marques horizontales de sédimentation lacustre (kame)..... 196	
Figure 25. Sigles d'organisations de secours et de compagnies de guides. Plantes symboliques : gentiane (a-c); edelweiss (e); raiponce de roche (f)..... 204	
Figure 26. Raiponce de roche (<i>Physoplexis comosa</i>), espèce endémique des Alpes orientales (Dolomites italiennes et autrichiennes, alpes slovènes)..... 205	
Figure 27. Rencontre avec des guides de haute montagne dans le Parc national des Ecrins. 28 mai 2021. Photo : C. Dentant..... 213	
Figure 28. Conférences au refuge du Requin pour le bicentenaire de la compagnie des guides de Chamonix. 25 juin 2021. Photo : C. Dentant..... 214	
Figure 29. Exemples de propositions botaniques par des guides de haute montagne. Haut : site guide-brindemontagne.com (N. Bartalucci). Bas : http://www.paulogrobel.com/alpinisme-escalade/ (P. Grobel)..... 223	
Figure 30. Ruine du bivouac de la Temple. Photo Ph. Bourdeau..... 232	
Figure 31. Lac glacé aux strates concentriques. Source : photo Cyril Barbançon; dessin ©Cécile Guillard..... 234	
Figure 32. Dessin « Dans les plis du paysage, extrait 2 » ©Marion Wintrebert..... 237	
Figure 33: Dessin de Goethe de la plante type (« Urpflanz »). Source : blog-archiv.klassikstiftung.de 248	
Figure 34. Les montagnes du monde dessinées par Goethe (source : gallica.bnf.fr)..... 250	
Figure 35. Les quatre tensions agissantes du réseau de production de la bande dessinée impliquant la science (<i>la position du curseur n'est qu'illustrative</i>)..... 253	
Figure 36. Couverture de la note d'intention envoyée à la maison d'édition <i>Futuropolis</i> en avril 2022. Dessin ©Cécile Guillard..... 268	

Figure 37: Gravures sur bois d'Edward Whymper (1871). Haut gauche : le Cervin, versant suisse. Haut droite : col du Dolent (massif du Mont-Blanc). Bas : Barre des Écrins, face nord.
..... 270

Figure 38: Gravures sur bois d'Edward Whymper (1871). Haut gauche : autoportrait de sa chute au col du Lion (Cervin). Haut droite : chute de Jean Reynaud, au col de la Pilatte (« *I do not believe that he was a whit more reluctant to pass the place than we others, but he was infinitely more demonstrative - in a word, he was French.* » (Whymper 1871, p.207)). Bas : saut (fictionnel ?) de Christian Almer lors de la première ascension de la Barre des Écrins (1864).
..... 271

Figure 39. Recherche-création impliquant : (a) l'exactitude scientifique, (b) l'exactitude géographique et (c) une narration « vivante ». Source : storyboard « A la frontière du vivant ». ©Cécile Guillard & Cédric Dentant..... 273

Figure 40. Rendus graphiques de la « fabrique » de la biodiversité à Crots : a. chasse de nuit; b. inventaire terrain ; c. diversité d'insectes sur toile éclairée; d. tri des échantillons d'insectes récoltés et mis à mort. Dessins : ©Cécile Guillard..... 276

Figure 41. Extrait du storyboard « A la frontière du vivant ». Source : ©Cécile Guillard & Cédric Dentant..... 281

Annexes

Annexe I

SUPPLEMENTARY INFORMATION FOR :

Discovery of cryptic plant diversity on the rooftops of the Alps

by

Boucher, F.C., Dentant, C., Ibanez, S., Capblancq, T., Boleda, M., Boulangeat, L., Smyčka J.,

Roquet C. & Lavergne, S

Legend for Supplementary Table S1: List of all samples used in this study, with information on taxonomy, sampling (location, collector and date), voucher number and substrate when appropriate, and summary of sequencing results.

1. Genomic data acquisition

1.1 ddRAD-seq protocol

We used a modified version of the protocol described in ¹. A total of 150 ng of DNA template from each individual were double-digested with 10 units each of PstI and MspI (New England Biolabs Inc.) at 37°C during one hour in a final volume of 34 µl using the CutSmart buffer provided with the enzymes. Digestion was further continued together with ligation of P1 and P2 adapters (see Peterson et al. 2012) by adding 10 units of T4 DNA ligase (New England Biolabs Inc.), adapters P1 and P2 in 10-fold excess (compared to the estimated number of restriction fragments) and 1 µl of 10 mM ribo-ATP (New England Biolabs Inc.) in each sample. This simultaneous digestion-ligation reaction was performed on a thermocycler using a succession of 60 cycles of 2 min at 37°C for digestion and 4 min at 16°C for ligation. An equal volume mixture of all the digested-ligated fragments were purified with Agencourt AMPure XP beads (Beckman Coulter, France). Fragments were size-selected between 200 and 600 bp on a Pippin Prep. The ddRAD libraries obtained were amplified using the following PCR mix: a volume of 20µl with 2 µl of DNA template, 10 mM of dNTPs, 2 µM of each PCR probe (Peterson et al. 2012) and 2 U/µl of Taq Phusion-HF (New England Biolabs Inc.); and the following PCR cycles: an initial denaturation at 98°C for 30 sec; 15 cycles of 98°C for 10 sec, 66°C for 30 sec and 72°C for 1 min; followed by a final extension period at 72°C for 10 min. The four amplified ddRAD libraries were purified with a QIAGEN MinElute PCR Purification Kit (Qiagen, Germany) and then sequenced on half a lane of Illumina Hi-Seq 2500 2x125 (Fasteris SA, Switzerland).

1.2 Bioinformatic assembly of ddRAD tags

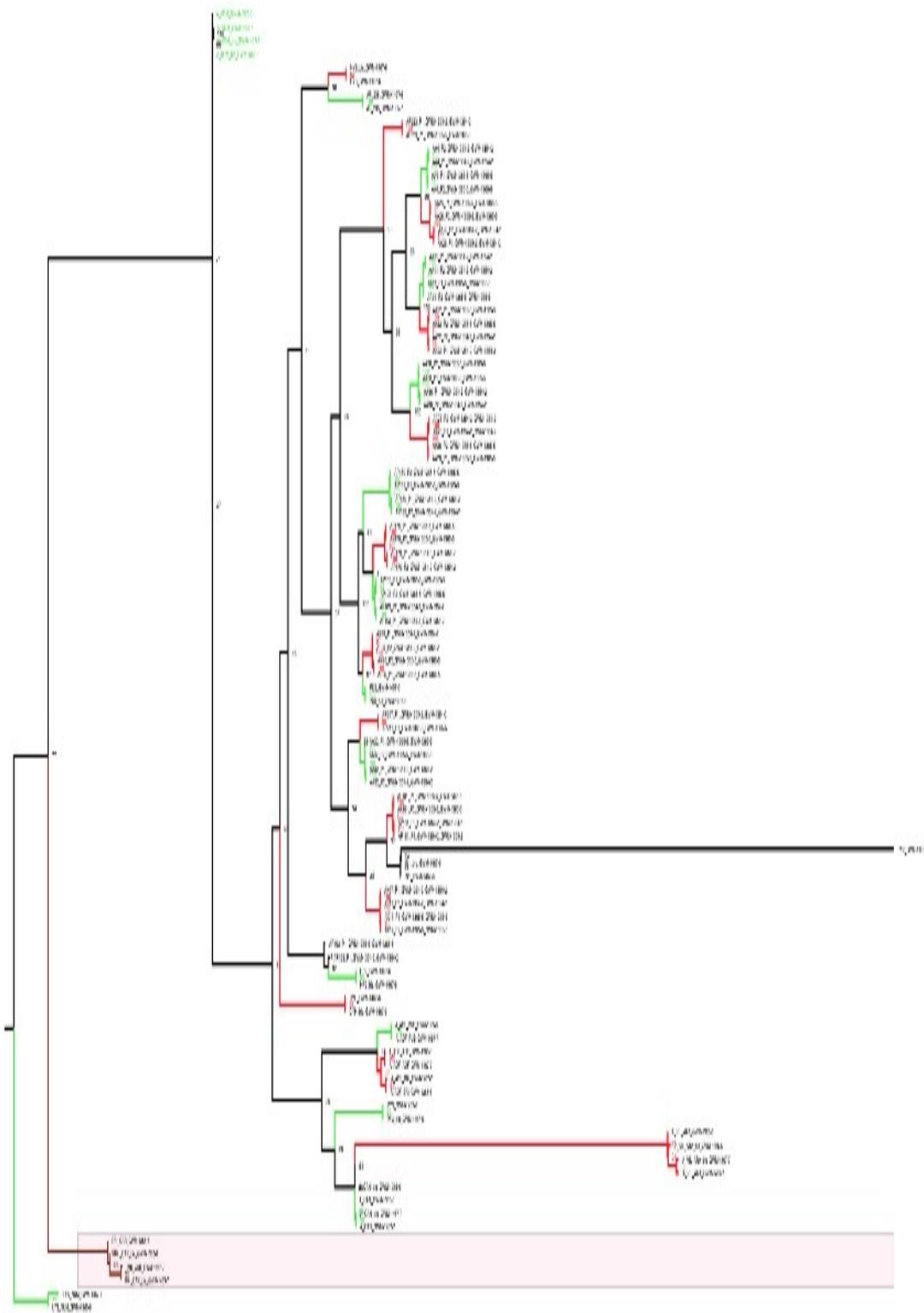
All sequenced ddRAD-seq tags (~275 million reads, see details in Table S1) were assembled using the program ipyrad (<https://github.com/dereneaton/ipyrad>) using the following parameters :

- a maximum of 5 bases with quality <20 per read
- a phred score offset of 33 ; a minimum depth of 6 reads for both statistical and majority-rule base calling

- a maximum cluster depth of 10,000 within individual samples
- a clustering threshold of 0.88 when using *de novo* assembly (only used for sensitivity analyses in our case, see below)
- a minimum length of 35bp after quality trimming of reads
- a maximum of 2 alleles per site in consensus sequences
- a maximum of 5 uncalled bases per *locus*
- a maximum of 8 heterozygous sites per *locus*
- a maximum of 20 SNPs per *locus* (which was never reached)
- a maximum of 8 indels per *locus*

Rather than relying on *de novo* assembly of these *loci*, we preferred to align them on the reference genome of another species from the Primulaceae family: *Primula veris* L. ². This reference genome has already been used successfully in a phylogenomic study of a group of plants that had diverged > 20 Ma from it ³ and in our case this reference genome has been estimated to have diverged c. 33 Ma from *Androsace* sect. *Aretia* ⁴. While we lost a large number of loci by aligning to this rather distant reference genome compared to *de novo* assembly (2,700 vs. > 50,000 loci recovered), we preferred to rely on this reduced dataset in order to avoid paralogs as much as possible. We however verified that a dataset containing both loci aligned to the reference genome and *de novo* assembly of loci that did not align to the reference genome ('denovo+reference' option in ipyrad) provided qualitatively similar results (see below). Before combining them for further analyses, we checked that technical replicates of our various ddRAD-seq libraries and sequencing runs produced comparable data. To do so we inferred a phylogeny of the 31 individuals for which we had replicates (97 replicates in total, up to four for a single individual) using maximum-likelihood (hereafter, 'ML') with concatenation as detailed below. The resulting phylogram showed that all replicates from the same individual formed clades with internal branch lengths much shorter

than branches connecting different individuals (Fig. S1), and we thus combined all sequence data from different replicates of the same individual for subsequent analyses.



11

Fig. S1. Repeatability of different libraries and sequencing runs. The figure shows the ML phylogeny of 97 replicates, obtained using RAxML⁵ under the GTR+GAMMA model with 100 bootstrap replicates. Clusters of technical replicates from the same individual are shown in the same

color and bootstrap support is shown at nodes. The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

2. Phylogenetic inference

2.1. Phylogenetic relationships

Phylogenetic relationships within *Androsace* sect. *Aretia* were inferred using two different approaches. ML inference was first carried out using IQ-TREE ⁶ with all ddRADseq loci concatenated (314,363 bp). The best model of DNA substitution for this dataset, TPM2u+F+R3, was selected among 286 possible ones according to the bayesian information criterion (BIC), and 1000 ultrafast bootstrap replicates ⁶ were used to measure node support on this phylogeny. In addition to this approach, we also inferred a species tree under the multi-species coalescent in order to account for incomplete lineage sorting and incongruence between gene trees ⁷. This was done by selecting unlinked SNPs from the initial matrix, *i.e.* SNPs that were either located on different contigs of the reference genome or SNPs located on the same contig but >10,000 bp apart. These 2,461 SNPs were then used in the program SVDquartets ⁸, assembling all possible quartets and using 100 bootstrap replicates to measure branch support. In both cases, trees were rooted thanks to the inclusion of three outgroups from the Primulaceae family, located at increasing phylogenetic distances from our ingroup: *A. septentrionalis* L., *Primula hirsuta* All., and *Lysimachia nummularia* L..

Both phylogenetic inference methods were largely congruent and led to a highly supported phylogenetic hypothesis (Fig. S2, Fig. S3). They first recovered the split of sect. *Aretia* into two large clades ⁹: one of them is made up of species from North-America and Europe, mostly specialists of subalpine and alpine habitats (clade /Dicranothrix), and the second one mostly consists of mostly cushion-forming species from the Alps and adjacent mountain ranges that grow at the highest altitudes and frequently occur in the nival zone (clade /Eu-Aretia). Furthermore, ML and species tree inference supported the existence of five subclades. One of them, /Douglasia, corresponds to the former genus *Douglasia* Lindley and the four others are named after their most widespread species: /Halleri, /Vitaliana, /Argentea, and /Helvetica. Among these clades, /Douglasia

received 100% bootstrap support in both analyses, while /Vitaliana and /Helvetica were also strongly supported as monophyletic (bootstrap support > 83% in both analyses). Of the twelve species for which multiple individuals were included, only *A. alpina* and *A. halleri* were not recovered as being monophyletic (Fig. S2). In the first case, the apparent paraphyly of *A. alpina* is weakly supported, and subsequent analyses including more samples and focused on clade /Helvetica clearly support the monophyly of this species (see below). In the second case, the paraphyly of *A. halleri* confirms previous phylogenetic results suggesting that *A. rioxana* is nested within it ¹⁰.

These results represent a major improvement over previous studies of *Androsace* sect. *Aretia*. While this group, and more broadly the genus *Androsace*, have been the focus of several phylogenetic studies, all of them have relied on traditional Sanger sequencing with emphasis on chloroplastic markers and present conflicts between DNA and morphology ^{9,11}. Our use of ddRADseq data solves all of these issues and recovers five clades whose composition aligns well with both geography and morphology. This comes from the vast amount of DNA sequence data analyzed here (> 10 million bp for the largest dataset), from the fact that it is mostly nuclear DNA, but also from the use of the multispecies coalescent allowed by this kind of data which strengthens our confidence in phylogenetic inferences. Such an improved knowledge of phylogenetic relationships using multilocus sequence data had already been obtained in a closely related group of plants from the European Alpine System, *Primula* sect. *Auricula* ³.

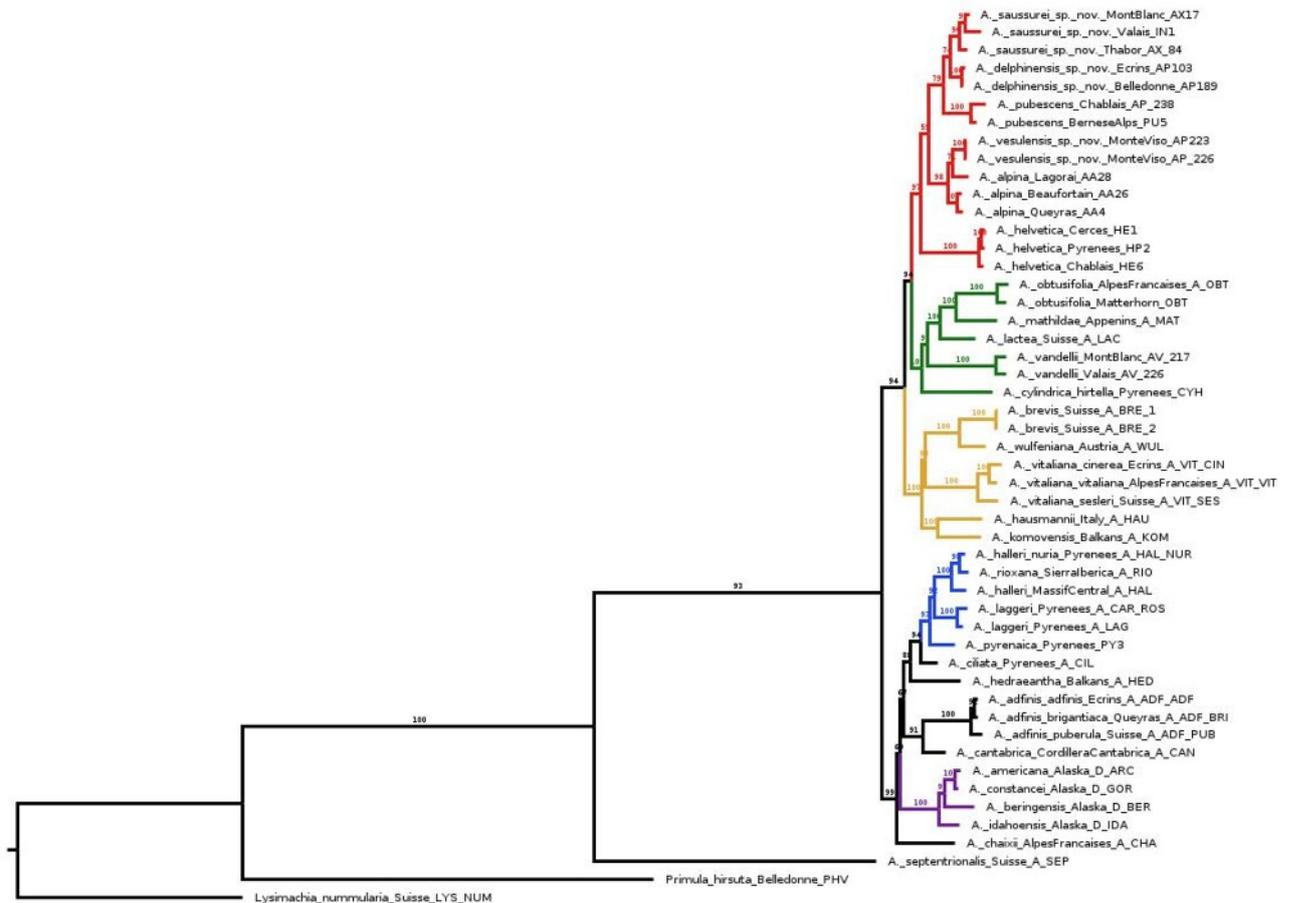


Fig. S2. Phylogenetic relationships within *Androsace* sect. *Aretia* inferred by ML using a concatenation of all ddRAD tags mapped to the reference genome (314,363 bp). Bootstrap support is shown above branches and the five clades that are supported by both this ML inference and a species tree analysis have been colored and labeled. The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

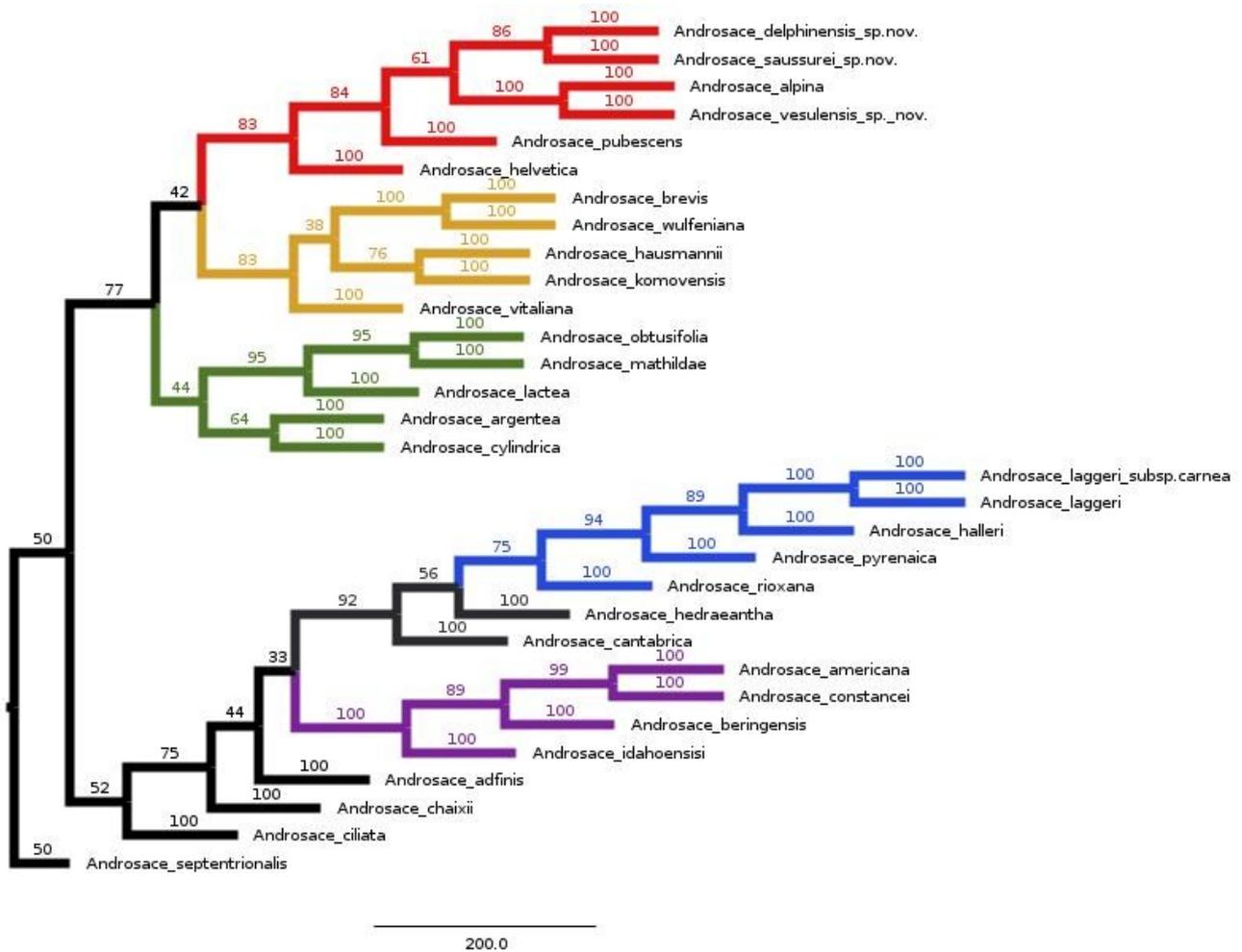


Fig. S3. Phylogenetic relationships within *Androsace* sect. *Aretia* inferred using species tree inference from 2,461 unlinked SNPs mapped to the reference genome. Bootstrap support is shown above branches and the five clades that are supported by both this species tree analysis and ML inference have been colored. The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

2.2. Divergence time estimation

In order to estimate the time frame of diversification of *Androsace* sect. *Aretia*, we then proceeded to date the ML phylogram using penalized likelihood ¹². To do so, we compared seven different values of the smoothing parameter λ (0.001, 0.01, 0.1, 0.5, 1, 2, 10), and retained the single one that gave the lowest Φ IC ¹³. We calibrated two nodes of the phylogeny using median ages estimates from a previous study of Primulaceae ⁴: the crown node of *Androsace* sect. *Aretia* (8.16 Ma, 95% HPD: 4.36-14.54 Ma), as well as the divergence between the genera *Androsace* and *Primula* (33.3 Ma, 95% HPD: 24.15-57.96 Ma). While secondary calibration is generally prone to error propagation ¹⁴, this was the only analytically-tractable solution here given the size of the phylogenomic dataset, which precluded more computationally intensive methods.

Results suggested that all five subclades might have originated before the Pleistocene, most likely in the Pliocene (Fig. S4). The youngest one of them is /Halleri (2.33 Ma, 95% HPD: 1.24-4.15 Ma) and the oldest is /Vitaliana (5.60 Ma, 95% HPD: 2.99-9.97 Ma). High-alpine cushion species of the /Helvetica clade were estimated to have originated at 4.66 Ma (95% HPD: 2.49-8.31 Ma).

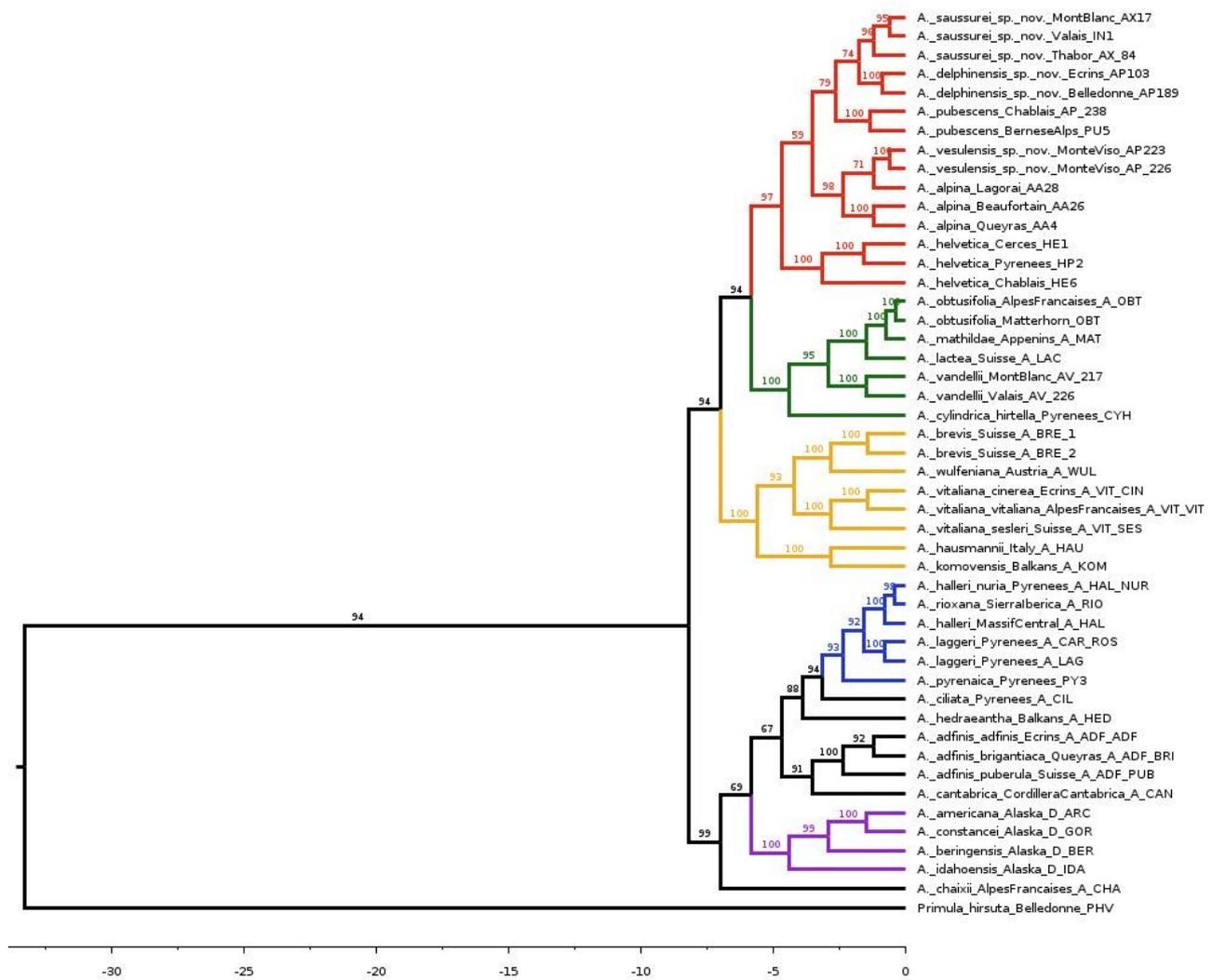


Fig. S4. Time-calibrated phylogeny of *Androsace* sect. *Aretia* based on a concatenation of 2,700 ddRADseq tags mapped to the reference genome (314,363 bp) and dated using penalized likelihood. Time is shown in million years on the x-axis and bootstrap support is shown above branches. The five clades that are supported by both this ML inference and a species tree analysis have been colored as in Fig. S2 and S3. The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

3. Systematics of the /*Helvetica* clade

In order to revise the systematics of /*Helvetica* and to test the putative species status of newly discovered taxa, we used an integrative taxonomic approach combining genomics, morphology, geography, and bedrock affinities.

3.1. Assembly of ddRAD tags and SNP filtering

We started by doing a different SNP calling for the 51 individuals of the /*Helvetica* clade plus one outgroup individual from *A. vitaliana*, using the same pipeline as described above for the whole section *Aretia*, and in particular the same parameters in ipyrad. This resulted in 23,780 loci aligned to the reference genome, containing a total of 276,745 bp and 7,806 SNPs.

In order to use population genetic measures on this rather recently diverged clade (4.66 Ma following the estimation done above), we strictly filtered this initial SNP dataset: we only kept SNPs that had less than 40% missing data, that had minor allele frequencies >4% (i.e., alleles genotyped at least three times, thus in two individuals minimum), and that were unlinked (i.e., located either on different contigs of the reference genome or > 10,000 bp apart on the same contig). This yielded a final dataset of 381 SNPs. Although this number can be considered low compared to other studies that tackled the same questions (e.g., 15, 16), we preferred working with these high-quality SNPs only rather than using many more SNPs. SNPs datasets obtained from de novo assembly of ddRADseq tags may indeed be prone to include PCR or sequencing errors as well as paralogs. However, for analyses that could handle huge datasets (i.e., ML phylogenetic inference and genetic clustering), we did confirm results obtained from this reference mapping dataset with a ‘denovo+reference’ dataset as described above, which contained a total of 10,552,054 bp, and 2,234 SNPs when filtering with the same parameters as above (except that SNPs are now considered unlinked if they are present on different de novo-assembled RAD tags). Results from both analyses were highly similar to those obtained using the reference mapping dataset (see below).

3.2. Genetic structure

Genetic clusters were then inferred with no *a priori* grouping using an efficient algorithm aimed at estimating individual ancestry: sNMF¹⁷. Given that *H. helvetica* currently comprises three recognized species and since we expected up to three new taxa, we ran the program for a number of genetic clusters K ranging from 1 to 10 with 1,000 iterations and 20 repetitions per value of K . After verifying that different values of the regularization parameter α gave similar results we chose to use a value of 50, and the optimal number of clusters was chosen based on the cross-entropy of the best run for each value of K ¹⁷.

Using either only the 381 SNPs obtained after strict filtering of reads aligned to the reference genome (Fig. S5) or the 2,234 SNPs obtained after strict filtering of reads from the ‘denovo+reference’ dataset (Fig. S6) we inferred the same number of $K=7$ optimal clusters. Ancestry proportions of the different individuals are similar for both SNP datasets, when looking from 5 up to the optimal 7 clusters (Fig. S5, S6), and thus lead to the same delimitation of genetic clusters.

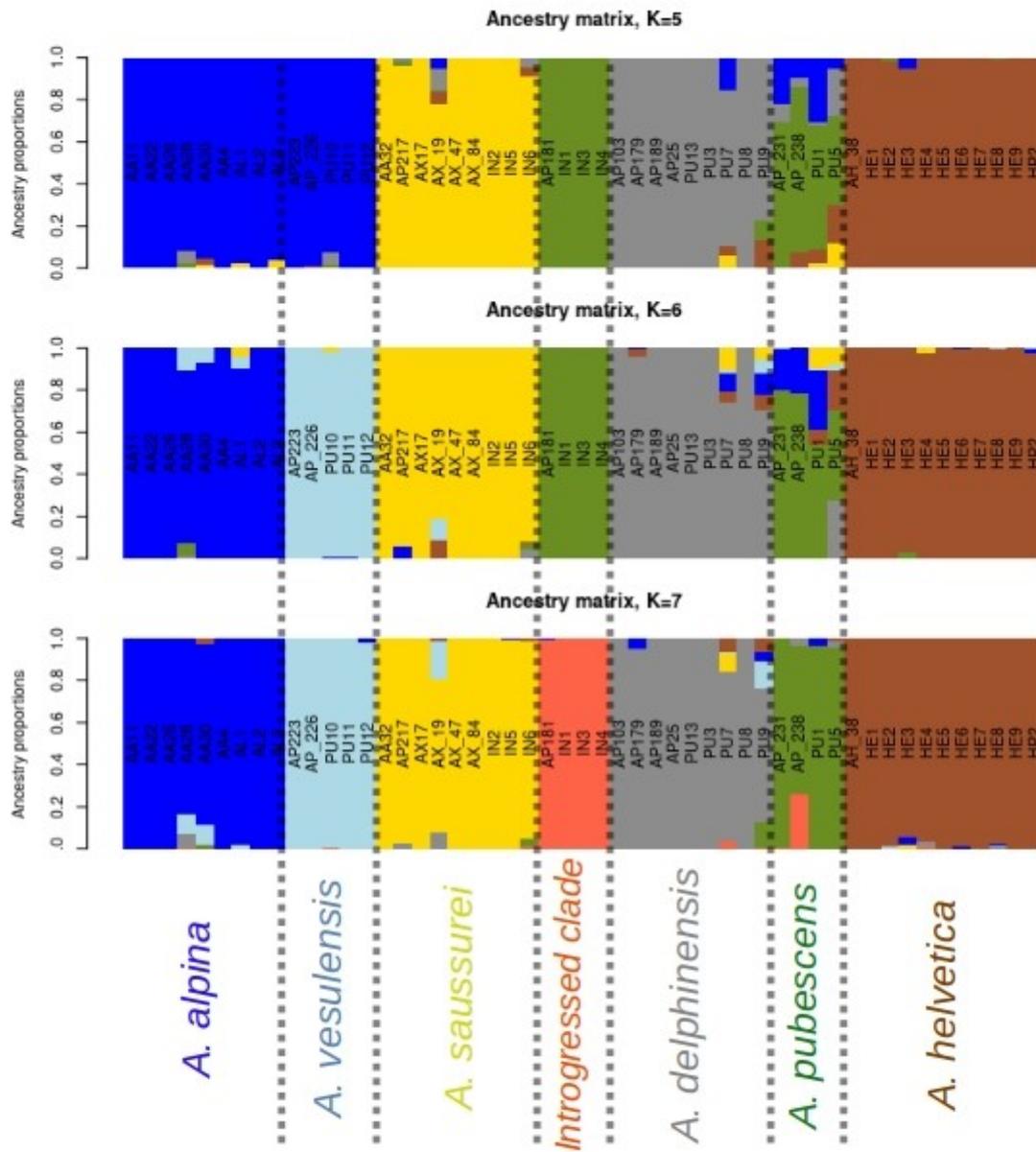


Fig. S5. Ancestry proportions for the 51 individuals of the /*Helvetica* clade , obtained using the most restricted dataset with only SNPs mapped onto the reference genome. Proportions are shown for K=5, K=6, and K=7 clusters (the optimal number here). Individual codes correspond to those given in Table S1, and the species each individual belongs to is indicated.

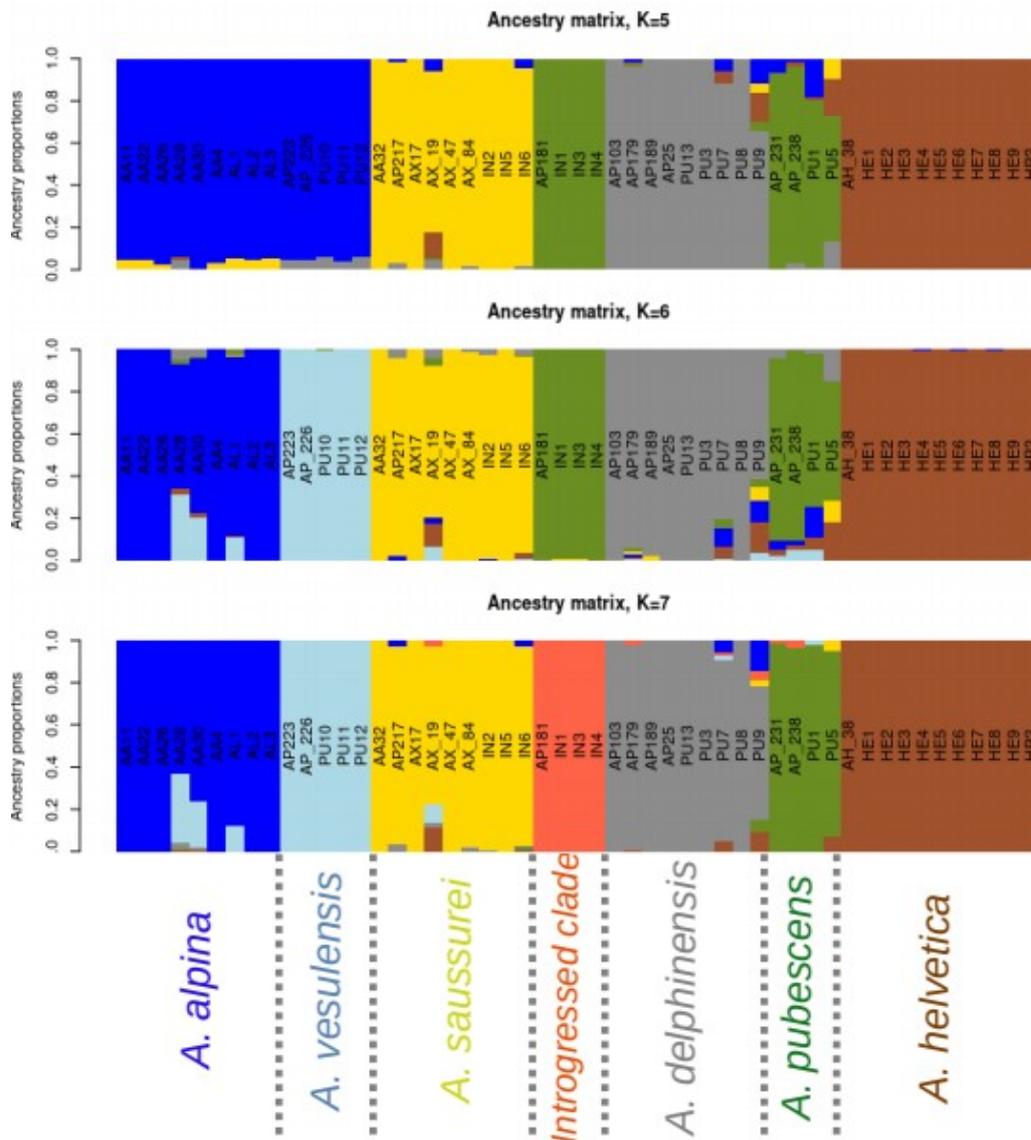


Fig. S6. Ancestry proportions for the 51 individuals of the /Helvetica clade , obtained using SNPs from the ‘de novo + reference’ dataset. Proportions are shown for K=5, K=6, and K=7 clusters (the optimal number here). Individual codes correspond to those given in Table S1 and are shown in the same order as in Fig. S5, and the species each individual belongs to is indicated.

Samples assigned to the three currently recognized species in /*Helvetica* were distributed among the seven inferred clusters as follows:

- all individuals assigned to *A. helvetica*, from both the Alps and the Pyrenees, were assigned to the same cluster (the brown one in Fig 3 & S5).

- individuals initially assigned to *A. alpina* were split into two distinct clusters: one comprising individuals from Monte Viso only (hereafter referred to as *A. vesulensis sp. nov.* and pictured in light blue in Fig. 3 & S5) and another one comprising all other individuals from across the Alps (*A. alpina*, pictured in dark blue in Fig. 3 & S5).

- individuals initially assigned to *A. pubescens* were split into three clusters. One included all individuals growing on limestone from the French and Swiss Alps (hereafter, *A. pubescens*, pictured in green in Fig. 3 & S5). The second cluster included individuals growing on acidic substrates in the Mont Blanc and neighboring ranges (hereafter referred to as *A. saussurei sp. nov.*, pictured in yellow in Fig. 3 & S5). Finally, the third cluster included individuals growing on acidic substrates in the Central French Alps (hereafter referred to as *A. delphinensis sp. nov.*, pictured in grey in Fig. 3 & S5).

Finally, the seventh, and last, genetic cluster corresponded to four individuals from the Mont Blanc and neighboring ranges that had intriguing leaf trichomes not seen in any other individual: these were antler-shaped as typically seen in some species (see *Determination key* below) but were much longer, as seen in the case of simply bifurcated trichomes. We thus tested whether this cluster could result from introgression between *A. saussurei sp. nov.* and *A. pubescens* as measured by Patterson's D-statistic, using the ABBA-BABA test¹⁸. Based on ML phylogenetic results (see below), this test was run with *A. alpina* as the outgroup, and *A. saussurei sp. nov.* plus *A. pubescens* as ingroup taxa on top of the putatively introgressed cluster. Two different topologies were tested, with the putatively introgressed cluster as P2 in the typical ABBA-BABA terminology, and exchanging the two other ingroup taxa between P1 and P3 positions (Fig. S7). In both cases, 1,000 bootstrap replicates of the D-statistic were obtained by randomly sampling one individual in each of

these four lineages and we then calculated a p-value for the test by counting the proportion of these replicates that exceeded 0. The two alternative phylogenetic topologies showed significant signals of introgression (p-value<0.043 for both), supporting an hybrid origin of this group of individuals from the Mont Blanc area, where the two parent taxa (*A. saussurei sp. nov.* and *A. pubescens*) both occur.

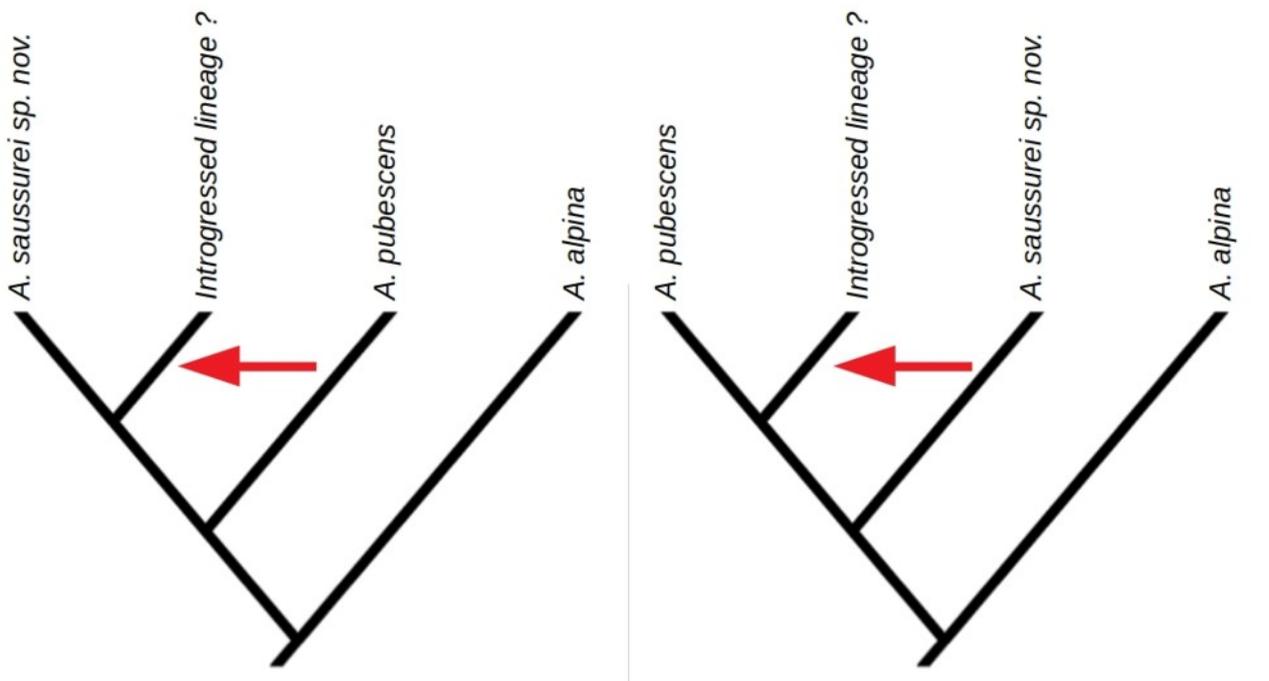
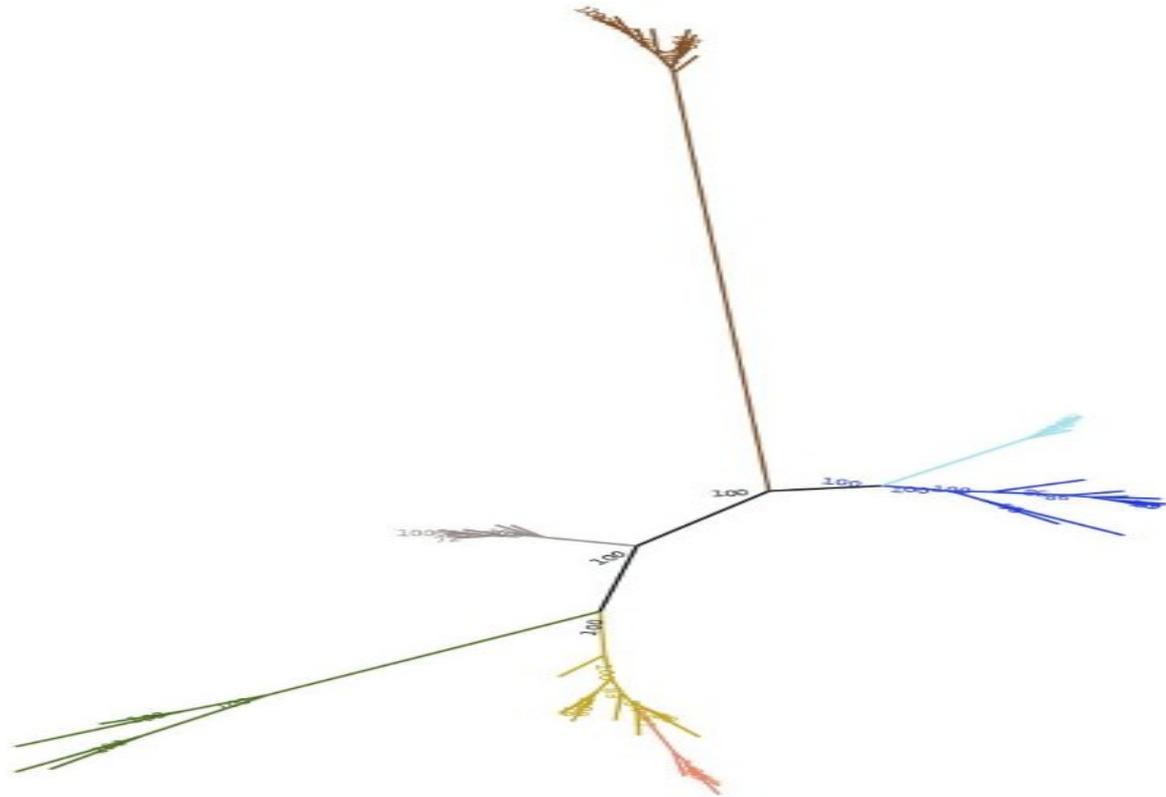


Fig. S7. Test for introgression in one of the seven genetic clusters. These graphs show the two phylogenetic topologies that were used to test for introgression in one of the seven clusters that contained four individuals with an intermediate trichome morphology (the ones colored in pink for K=7 in Fig. 3, S5 & S6). In both cases, the introgression event that is tested by the ABBA-BABA test is shown using the red arrow.

We complemented this clustering analysis with the inference of phylogenetic relationships within clade /Helvetica. To do so we inferred an ML phylogeny of all 51 individuals using concatenation of all 276,745bp. The best sequence evolution model selected according to BIC by IQ-TREE ⁶ was HKY+F+R2 and 1000 ultrafast bootstrap samples were generated to measure clade



support in the ML phylogeny. In this phylogeny, the seven distinct genetic clusters corresponded to seven clades that all received 100% bootstrap support, except that the introgressed lineage was nested within *A. saussurei* sp. nov. (Fig. S8). The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

Fig. S8. Unrooted phylogeny of 51 individuals of the /Helvetica clade based on a concatenated DNA matrix of 276,745 bp obtained from the alignment of ddRAD tags on the reference genome of *Primula veris*, and inferred using ML. Bootstrap support is shown at nodes, but only visible for the deepest ones in the tree. Tip labels have been omitted for clarity and colors of the different clades (or grade in the case of *A. saussurei* sp. nov., in yellow) match those in Fig. 3, S5 & S6.

Results were qualitatively unchanged when using a much larger (but potentially more error prone) ‘de novo + reference’ dataset. The best sequence evolution model was again HKY+F+R2 and 1000 ultrafast bootstrap samples were generated to measure clade support in the ML phylogeny. The seven distinct genetic clusters again corresponded to seven clades that all received 100% bootstrap support, except that the introgressed lineage was nested within *A. saussurei sp. nov.* (Fig. S9).

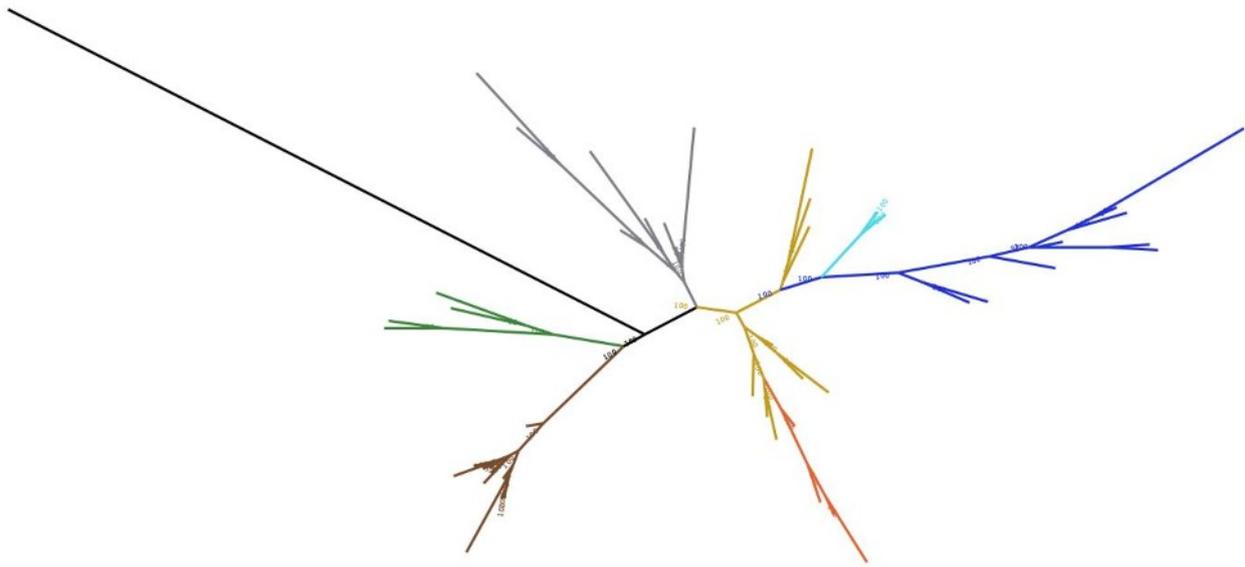


Fig. S9. Unrooted phylogeny of 51 individuals of the /Helvetica clade based on a concatenated DNA matrix of 10,552,054 bp obtained from the alignment of ddRAD tags from the ‘de novo + reference’ dataset, and inferred using ML. Bootstrap is shown at nodes, but only visible for the deepest ones in the tree. Tip labels have been omitted for clarity and colors of the different clades (or grade in the case of *A. saussurei sp. nov.*, in yellow) match those in Fig. 3, S5 & S6. An additional individual from *A. vitaliana* (not a member of /Helvetica) is shown in black but the tree is drawn unrooted for comparison with Fig. S8. The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

3.3. Species delimitation and taxonomic status

We tested the species status of the five clusters that did not correspond to already recognized species using the explicit approach of Bayes factor delimitation (BFD*,19) that relies on the SNAPP method to directly estimate a species tree from unlinked biallelic markers without explicitly reconstructing gene trees²⁰. To statistically test for alternative species delimitations, BFD* infers the respective species trees and compares them using Bayes factors¹⁹. Given the large computational time involved, we ran separate analyses for the two subclades, *A. alpina*/*A. vesulensis* and *A. pubescens*/*A. saussurei*/*A. delphinensis*, but we included all individuals that were assigned to each genomic cluster (*i.e.*, 4 individuals for *A. pubescens*, 5 individuals for *A. vesulensis*, and 9 in *A. saussurei*, *A. alpina* and *A. delphinensis*). In both cases, *A. helvetica* (represented by 8 individuals only to reduce computational time) was used as outgroup to root species trees, forward and backward mutation rates were arbitrarily set to 1 and the speciation rate for the Yule model of branching was assigned a Gamma prior.

In the first clade, we compared a scenario in which *A. alpina* and *A. vesulensis* would be considered as different species rather than being lumped into a single species (Fig. S10), using MCMC chains of 100,000 steps and 48 steps for path sampling of the marginal likelihood of each scenario. In the one species scenario, all but six sampling steps had effective sample sizes (hereafter, ESS) > 100 and all but one had ESS>50. In the two species scenario all steps had ESS>100. We found decisive support for the two species scenario (Bayes Factor = 1,052.42, Table S2), which leads us to recognize a new species: *A. vesulensis sp. nov.* (see description).

In the other clade, we compared three alternative scenarios (Fig. S10): (i) one in which *A. pubescens*, *A. saussurei* and *A. delphinensis* would be considered as distinct species, (ii) one in which *A. saussurei* and *A. delphinensis* would be lumped together but *A. pubescens* would remain a distinct species, and (iii) a last one lumping the three lineages into a single species, as assumed by current taxonomy. In this case we used MCMC chains of 250,000 to 300,000 steps and 48 steps for path sampling. In all three scenarios testes, all sampling steps had ESS>100. Here again, we found

decisive support for the scenario in which *A. pubescens*, *A. saussurei* and *A. delphinensis* would be considered as distinct species, rather than lumping *A. saussurei* and *A. delphinensis* (Bayes Factor = 690.68, Table S2), or even lumping the three clusters into a single species, as currently done (Bayes Factor = 1,698.15, Table S2). This leads us to recognize two new species: *A. saussurei* sp. nov. and *A. delphinensis* sp. nov. (see description).

<i>A. alpina</i> and related taxon		<i>A. pubescens</i> and related taxa	
Species delimitation scenario	Marginal likelihood (log)	Species delimitation scenario	Marginal likelihood (log)
1 sp.: { <i>A. alpina</i> + <i>A. vesulensis</i> sp. nov.}	-2086.8	1 sp.: { <i>A. pubescens</i> + <i>A. delphinensis</i> sp. nov. + <i>A. saussurei</i> sp. nov.}	-4872.4
2 spp.: <i>A. alpina</i> / <i>A. vesulensis</i> sp. nov.	-1560.6	2 spp.: <i>A. pubescens</i> / { <i>A. delphinensis</i> sp. nov. + <i>A. saussurei</i> sp. nov.}	-4368.7
-	-	3 spp.: <i>A. pubescens</i> / <i>A. delphinensis</i> sp. nov. / <i>A. saussurei</i> sp. nov.	-4023.3

Table S2. Marginal likelihoods of alternative species delimitation models. Bayes factors are calculated as the ratio of the marginal likelihoods of two models.

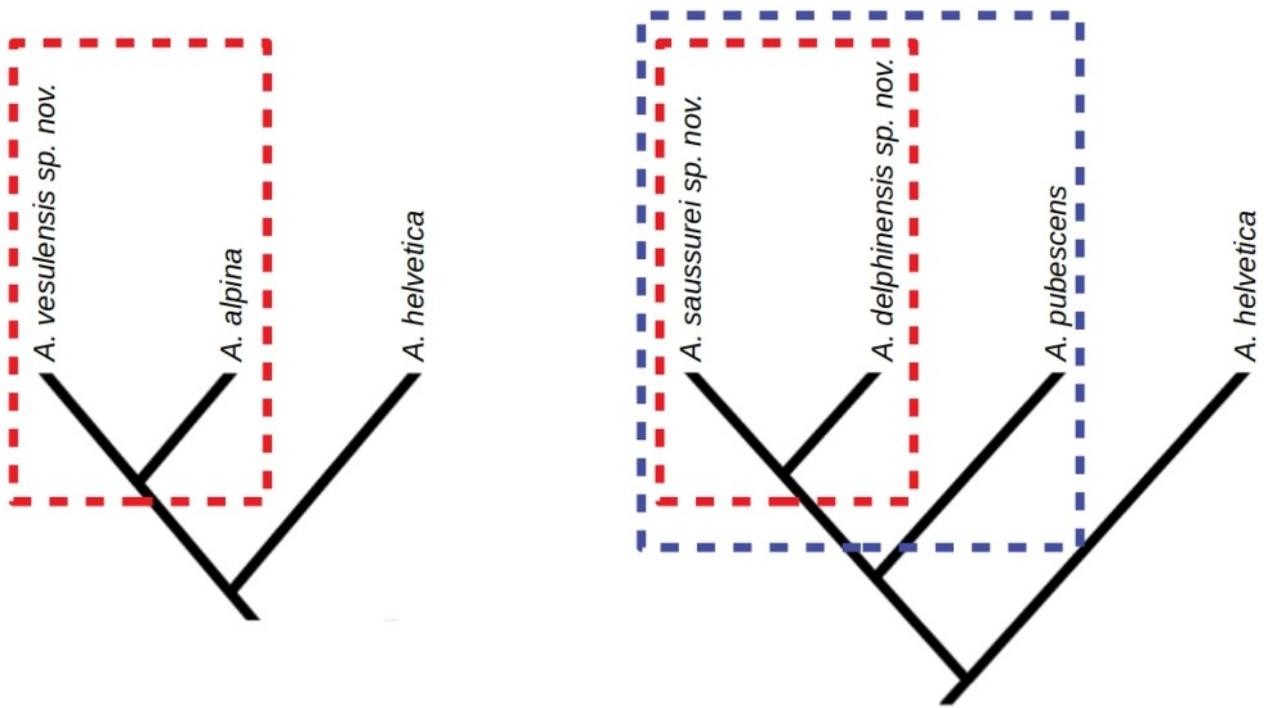


Fig. S10. Alternative species delimitation scenarios that were compared. The two sketches depict the two distinct species delimitation analyses that were run. Left: we compared a scenario in which three distinct species were considered to one in which *A. alpina* and *A. vesulensis* would be lumped into a single species (red dashed rectangle). Right: we compared a scenario in which *A. pubescens*, *A. saussurei* and *A. delphinensis* would be considered as distinct species, to one in which *A. saussurei* and *A. delphinensis* would be lumped together (red dashed rectangle) and a last scenario lumping the three lineages into a single species (blue dashed rectangle).

In order to confirm species delimitation results, we visualized genomic distances between the six proposed species, using a genetic PCA as implemented in the *adeigenet* R package²¹. This analysis confirmed that all proposed species except for *A. saussurei sp. nov.* and *A. delphinensis sp. nov.* are genetically distinct and not arbitrary portions of a larger genomic cline (Fig. S11).

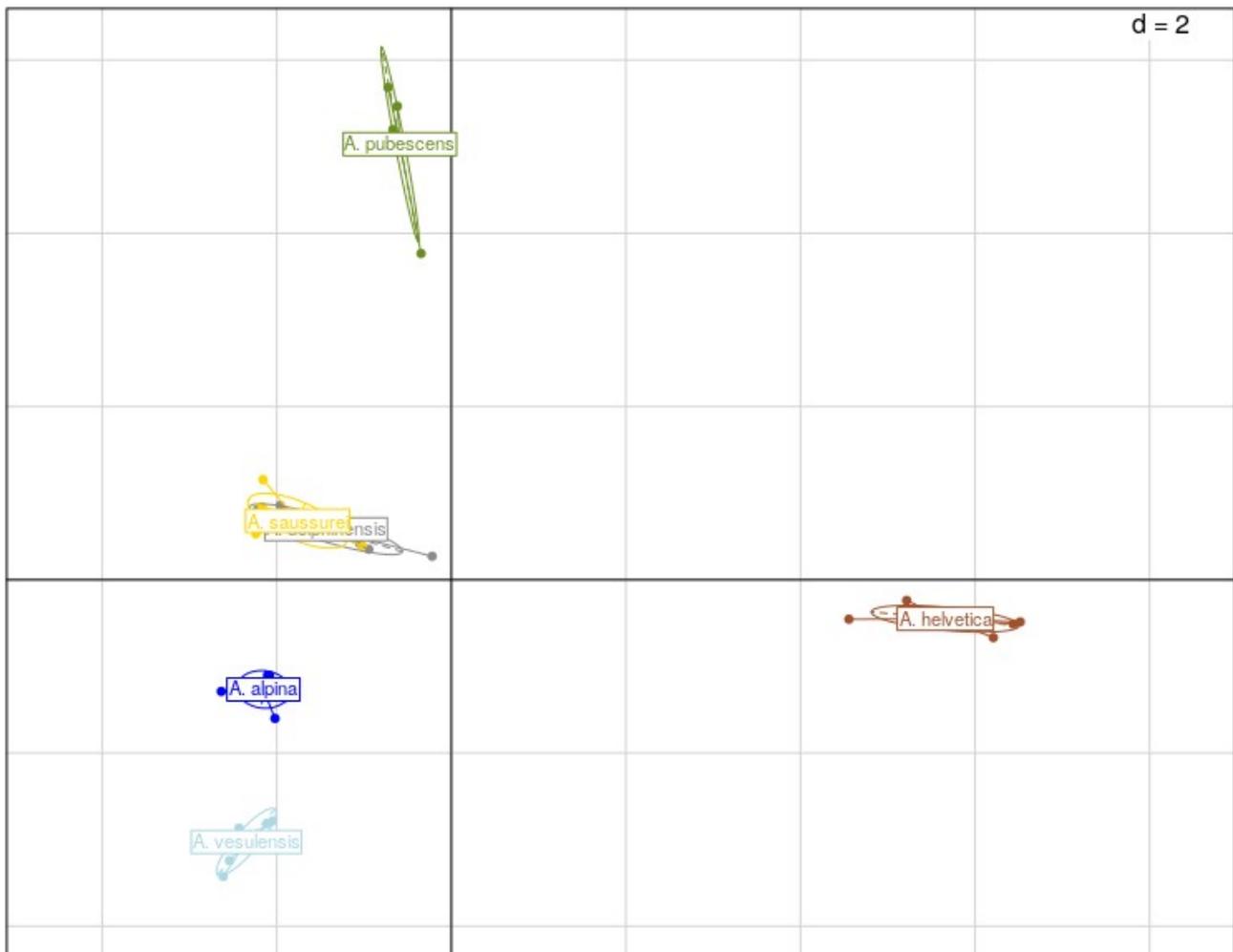


Fig. S11. Genetic PCA of individuals of /Helvetica. The graph shows the positions of the 51 individuals from /Helvetica that we sampled along the first two PCA axes, representing 26% and 9% of the total genetic variability of the dataset. Samples have been grouped by the species they belong to and colors match those used in Fig. 3, S5, S6, S8 & S9.

We then looked in more details at the two species that appear to overlap on this first PCA: *A. saussurei* *sp. nov.* and *A. delphinensis* *sp. nov.*. Evaluating this species pair is of particular importance since both species have almost identical morphologies and ecologies (see determination key), but allopatric geographic ranges. To do so we ran another PCA including individuals from these two taxa alone, which then confirmed that both species form discrete genomic clusters (Fig. S12).

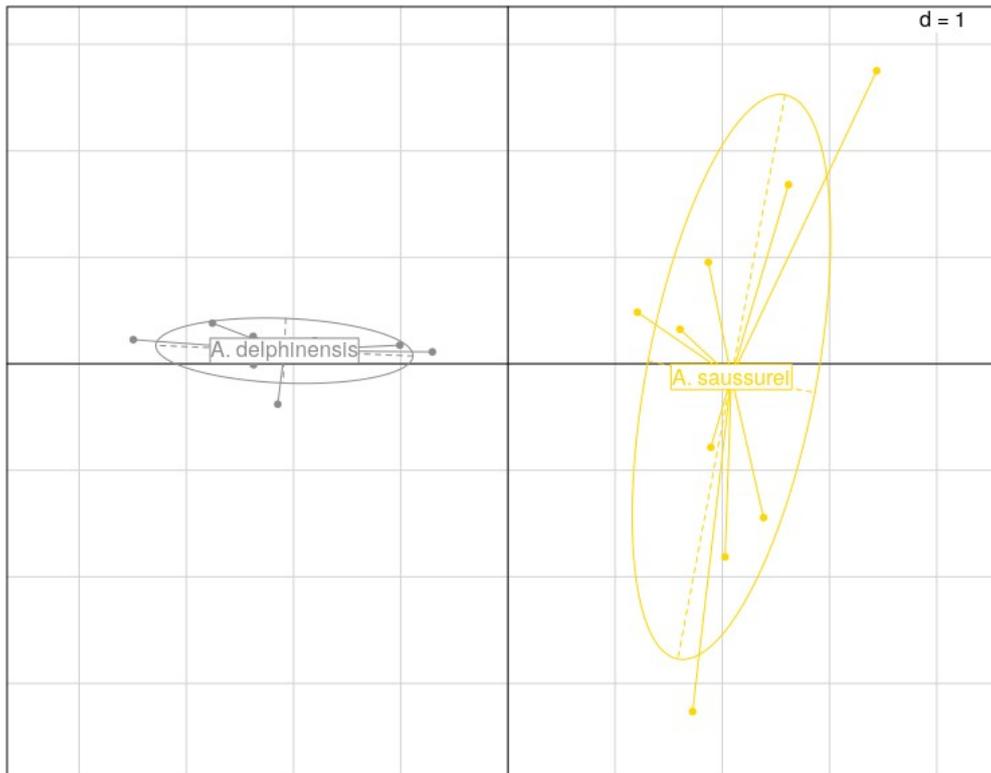


Fig. S12. Genetic PCA of individuals of /Helvetica. The graph shows the positions of the 18 individuals from *A. delphinensis* sp. nov. and *A. saussurei* sp. nov. that we sampled along the first two PCA axes, representing 32% and 10% of the total genetic variability of the dataset. Samples have been grouped by the species they belong to and colors match those used in Fig. 3, S5, S6, S8, S9 & S11.

Pairwise F_{ST} were then measured between all species pairs using the ‘pairwise.fst’ function in the R package *hierfstat*²². Values, averaged over all 381 strictly filtered SNPs, are shown in Table S3. F_{ST} between newly described species and their close relatives range from 0.08 to 0.3, in the same order of magnitude as between already described species like *A. pubescens* and *A. alpina* ($F_{ST}=0.29$) or *A. pubescens* and *A. helvetica* ($F_{ST}=0.17$).

	<i>A. alpina</i>	<i>A. delphinensis</i>	<i>A. helvetica</i>	<i>A. pubescens</i>	<i>A. saussurei</i>	<i>A. vesulensis</i>
<i>A. alpina</i>	-	-	-	-	-	-
<i>A. delphinensis</i>	0.18	-	-	-	-	-
<i>A. helvetica</i>	0.33	0.39	-	-	-	-
<i>A. pubescens</i>	0.12	0.13	0.17	-	-	-
<i>A. saussurei</i>	0.08	0.17	0.40	0.12	-	-
<i>A. vesulensis</i>	0.30	0.15	0.22	0.12	0.19	-

Table S3. Pairwise F_{ST} values measured between all species pairs averaged over all 381 strictly filtered SNPs

Finally, we tested whether the genetic structure that we interpret as evidence of the presence of two distinct species, *A. delphinensis sp. nov.* and *A. saussurei sp. nov.*, could be due to a simple pattern of isolation by distance (hereafter, IBD), as suggested by some authors²³. To do so we measured the correlation between the genetic and geographic distances separating individuals. Results were similar for several measures of genetic distance (raw distances, Jukes-Cantor, Kimura or the logDet distance). A mantel correlogram (Fig. S13) showed that genetic distances are strongly and positively correlated to geographic distances at short distances (between 0 and 27.75 km), this correlation remains positive for slightly larger distances (between 27.75 and 55.5 km), but that turns negative for larger distances (over 55.5 km). As this larger distance class corresponds to the spatial distance between the mountain ranges where these two taxa occur, these results show that while IBD is present within *A. saussurei sp. nov.* and *A. delphinensis sp. nov.* separately, it does not exist between them. This two taxa thus cannot be considered as arbitrary ends of a single genetic continuum but rather represent well delimited genetic lineages.

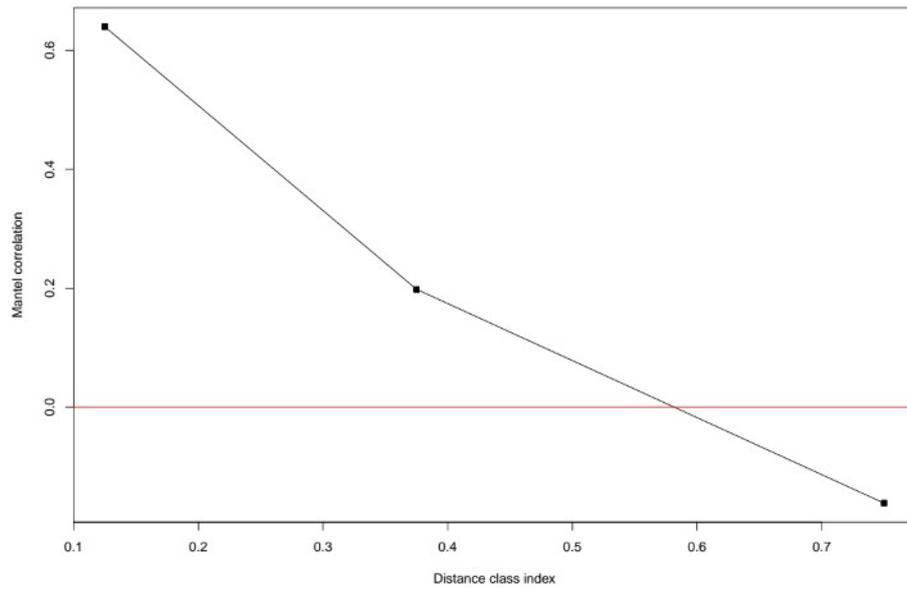


Fig. S13. Correlation between genetic and geographic distances between individuals of *A. saussurei* and *delphinensis*. Genetic distances were measured over full concatenated ddRAD sequences of 276,745bp, using the Jukes-Cantor model. The three points represent the three following geographic distance classes : 0-27.75 km, 27.75-55.5 km and 55.5-150 km. All three correlation coefficients are significantly different from 0 (represented by the red line), as estimated using 999 permutations in the Mantel test.

3.4. Test of the hybrid origin of the newly described species

The three new species that we described here were formerly considered as belonging to either *A. alpina* or *A. pubescens* since differences between these newly described species and former ones are sometimes rather cryptic. Furthermore, the newly described species have rather intermediate morphologies between *A. alpina* and *A. pubescens*, especially regarding trichomes (Fig. 3B). However, SNP data showed no sign that this could be the case: all clades had high support in phylogenetic trees (Fig. S2, S3, S4, S8, S9), there was no evidence of shared ancestry using clustering analyses (Fig. S5, S6), and these new species did not have an intermediate position in the genetic PCA (Fig. S11). This is why we did not test this hypothesis initially.

However, based on recommendations from one reviewer of this manuscript, we tested the possibility that each of these three species are of hybrid origin. We did so using the Approximate Bayesian Computation software diyABC²⁴. In each case, we compared three scenarios: one in which the new species resulted from hybrid speciation between *A. alpina* and *A. pubescens*, one in which it was sister to *A. alpina*, and one in which it was sister to *A. pubescens* (Fig. S14).

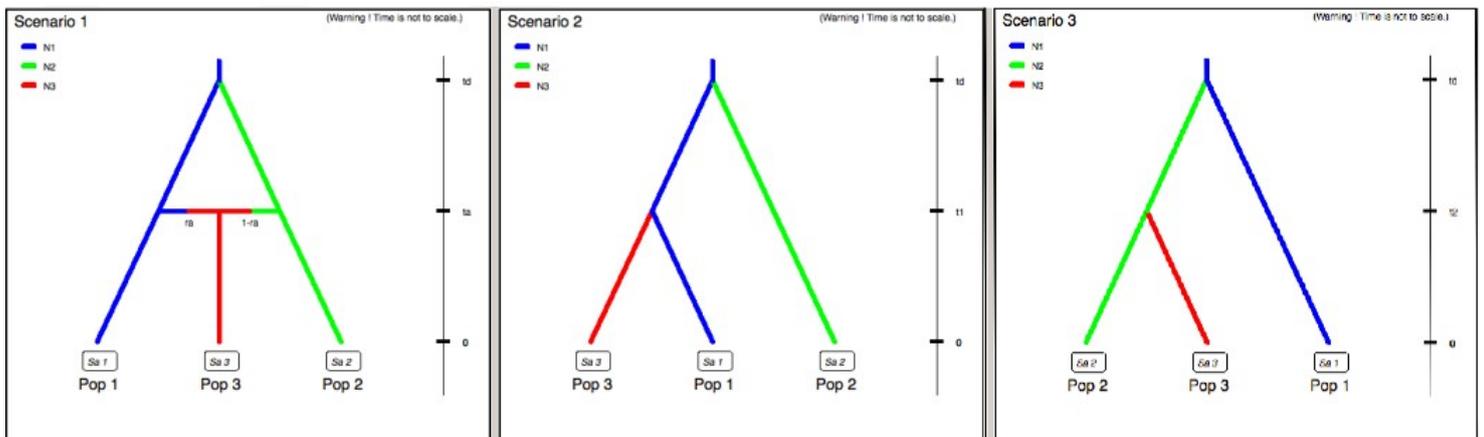


Fig. S14. Depiction of the three historical scenarios that were statistically compared for each of the three newly described species using diyABC. In each of them the blue lineage ('Pop 1' on the sketches) represents *A. alpina*, the green lineage ('Pop 2') represents *A. pubescens*, and the red lineage ('Pop 3') represents the newly described species (*A. delphinensis* sp. nov., *A. saussurei* sp.

nov., or *A. vesulensis sp. nov.*). Parameters used in the simulations are shown: N1, N2, and N3 are effective population sizes (adding up at coalescence); t1,t2 and td are divergence times; ta is the time of hybrid species formation; ra is the relative genetic contribution from *A. alpina* in the hybrid species.

In all three cases we used the same settings for simulations:

- constant effective population sizes on each branch
- wide, uninformative priors for effective population size (all log-uniform with minimum 10 and maximum 10,000), divergence or reticulation events (all log-uniform with minimum 10 and maximum 10,000), and the proportion of genetic input from *A. alpina* in the hybrid speciation scenario (uniform between 0.001 and 0.999)
- uniform priors on the three scenarios
- 5.10⁶ simulated datasets (upon recommendation from software developers)
- almost all available summary statistics for within population genetic diversities, pairwise Fst values and Nei's distances and admixture estimates (for each statistic we measured the proportion of zero values, and the mean and variance of non-zero values)

After running simulations, we used the same procedure in all three cases to conclude on the hybrid origin of each of the three newly described taxa:

- we first checked that observed summary statistics fell within the distribution generated by the prior and posteriors, which was always the case for all three scenarios.
- we then compared the posterior probabilities of each of three scenarios, using the 5,000 simulations closest to the observed statistics (out of 5,000,000).

For both *A. delphinensis sp. nov.* (posterior = 0.60, 95% CI: 0.56-0.64) and *A. saussurei sp. nov.* (posterior = 0.53, 95% CI: 0.49-0.58) the best supported scenario was the one in which the new

species was sister to *A. pubescens*, rejecting their hybrid origin and confirming all other genomic results.

For *A. vesulensis sp. nov.* results were ambiguous: the scenario with the highest posterior was actually the one with an hybrid origin of *A. vesulensis sp. nov.* (posterior = 0.41, 95% CI: 0.37-0.46), closely followed by the scenario in which this new species was sister to *A. alpina* (posterior = 0.32, 95% CI: 0.28-0.36). In the best supported hybrid speciation scenario, posterior parameter estimates suggested that *A. vesulensis sp. nov.* originated with roughly equal genetic contributions from both *A. alpina* and *A. pubescens* (relative genetic contribution from *A. alpina* : 55.1%, 95% CI: 9.3%-94.5%). This result is difficult to interpret. On the one hand it lends support to the observation that the morphology of *A. vesulensis sp. nov.* is intermediate between that of *A. alpina* and *A. pubescens*, but this support is rather weak. On the other hand, this results is at odds with all other analyses that clearly point towards *A. vesulensis sp. nov.* as being the sister taxon of *A. alpina* (Supporting Information sections 2.1, 3.2, 3.3. and 3.5 below). It is thus impossible to clearly conclude on the origins of *A. vesulensis sp. nov.* given the data at hand here and one should increase the number of individuals sequenced for both *A. pubescens* and *A. vesulensis sp. nov.* in order to answer this question.

3.5. Phylogenetic relationships between newly described species

Once we had confirmed that these six taxa deserved species status, we inferred their phylogenetic relationships using species tree inference from our strict selection of 381 unlinked SNPs. Here again, we relied on SNAPP to directly estimate a species tree from unlinked biallelic markers without explicitly reconstructing gene trees²⁰. In this analysis each of the six species was represented by all individuals for which we had genetic data (51 individuals in total). We ran four independent chains of 500,000 steps, which we then combined after removing the first 10% steps of each, having verified that this led to effective sample sizes > 100 for all parameters of the model. From this combined chain we generated a maximum clade credibility tree with median heights for the nodes, in arbitrary coalescent units. The species tree was then time-calibrated using the crown age of *A. helvetica* derived from the dated phylogeny of *Androsace* sect. *Aretia* obtained above, *i.e.* 4.66 Myrs.

The topology of this tree was strongly supported: except for the most basal divergence between *A. helvetica* and the rest of the clade, which received only 0.46 posterior support, all other nodes received 1.00 posterior support (Fig. S15). Time calibration suggested that the three newly described species are extremely young: they all probably originated within the last million years (Fig. S15).

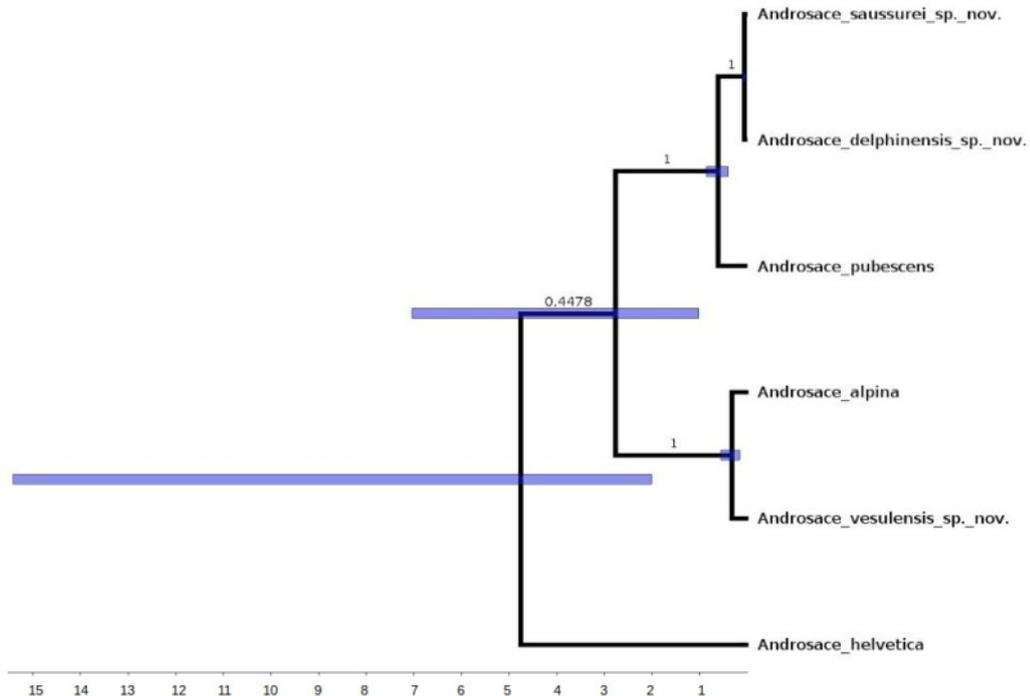


Fig. S15. Time calibrated species tree of *A. helvetica*. Time is shown on the x-axis in million years, with blue bars at node showing the 95% high-probability-density for node ages. Posterior support is

shown above branches. The figure was drawn using the program FigTree (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>).

4. Geographic distribution of species from the /*Helvetica* clade

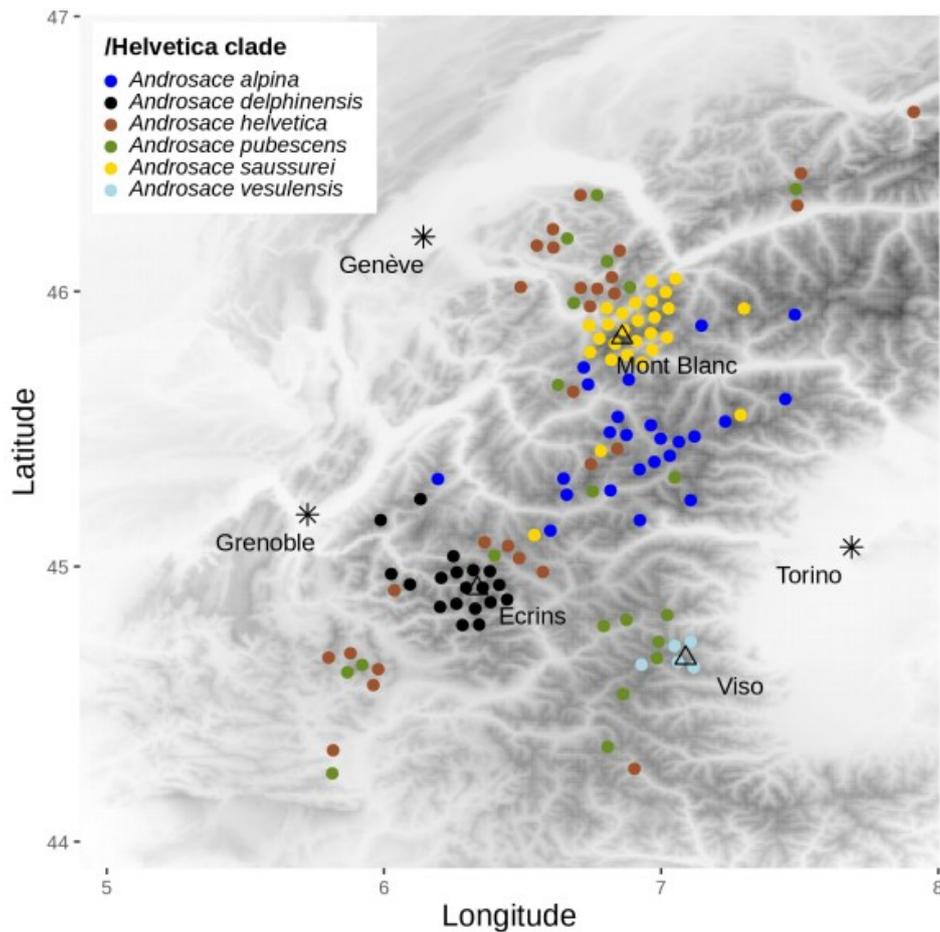


Fig. S16. Updated chorology of the six species from /*Helvetica*, based on field collections performed by the authors on this study and on georeferenced herbarium collections checked during the "Herbonautes" citizen science project (<http://lesherbonautes.mnhn.fr/missions/13798338>). The background map shows elevation in shades of grey, main cities are shown with stars and summits with triangles. It was drawn using the R package *raster*. Introgressed individuals of *A. saussurei* are not depicted on this map, as potential introgression was not systematically investigated in all populations represented.

5. Determination key

1. Flowers white.....2
- 1'. Flowers purple, or white to purplish (including buds) on the same cushion7

2. Hairs of leaves strictly simple. Plants growing on limestone.....3
- 2'. At least some hairs on leaves bi-furcated (even with only a small branch at the top). Plants growing on siliceous substrates or ophiolite.....4

3. Cushions compact and (hemi-)spherical. Leaves short, imbricated, densely hairy. Rosettes dense, forming short and tight columns.....***A. helvetica***
- 3'. Cushions creeping. Leaves lanceolate, sparsely hairy. Rosettes loose, not forming columns.....
.....***A. pubescens***

4. All leaf hairs clearly deer-antler-shaped.....5
- 4'. Leaf hairs simple and bifurcated, tri-furcated mainly on pedicels.....6

5. Hairs of two types : the shortest up to 0.1 mm long, the biggest up to 0.2 mm long. Plant forming a cushion, more or less loose. Plant of Monte Viso (Italy) and surroundings.....***A. vesulensis***
- 5'. Hairs of only one type, 0.1 mm long. Plant forming a creeping cushion. Plant of siliceous substrates (Alps).....***A. alpina***

6. Rosettes dense. Leaves often with reddish tips. Plant of the Mont Blanc range.....***A. saussurei***
- 6'. Rosettes loose. Leaves rarely with reddish tips. Plant of the Ecrins range..... ***A. delphinensis***

7. Hairs 0.1 mm long (on leaves, pedicels, calyx), strictly deer-antler-shaped. Plant forming a creeping cushion.....***A. alpina***
- 7'. Hairs more than 0.2 mm long, simple and bifurcated on leaves, mainly tri-furcated on pedicels.
Plant forming a denser cushion ***A. saussurei***

References

1. Peterson, B. K., Weber, J. N., Kay, E. H., Fisher, H. S. & Hoekstra, H. E. Double Digest RADseq: An Inexpensive Method for De Novo SNP Discovery and Genotyping in Model and Non-Model Species. *PLoS One* **7**, e37135 (2012).
2. Nowak, M. D. *et al.* The draft genome of *Primula veris* yields insights into the molecular basis of heterostyly. *Genome Biol.* **16**, 12 (2015).
3. Boucher, F. C., Casazza, G., Szövényi, P. & Conti, E. Sequence capture using RAD probes clarifies phylogenetic relationships and species boundaries in *Primula* sect. *Auricula*. *Mol. Phylogenet. Evol.* **104**, 60–72 (2016).
4. Boucher, F. C., Zimmermann, N. E. & Conti, E. Allopatric speciation with little niche divergence is common among alpine Primulaceae. *J. Biogeogr.* **43**, 591–602 (2016).
5. Stamatakis, A. RAxML version 8: A tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics* **30**, 1312–1313 (2014).
6. Nguyen, L.-T., Schmidt, H. A., von Haeseler, A. & Minh, B. Q. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Mol. Biol. Evol.* **32**, 268–274 (2015).
7. Rannala, B. & Yang, Z. Bayes estimation of species divergence times and ancestral population sizes using DNA sequences from multiple loci. *Genetics* **164**, 1645–1656 (2003).
8. Chifman, J. & Kubatko, L. Quartet Inference from SNP Data Under the Coalescent Model. *Bioinformatics* **30**, 3317–3324 (2014).
9. Schneeweiss, G., Schönswetter, P., Kelso, S. & Niklfeld, H. Complex biogeographic patterns in *Androsace* (Primulaceae) and related genera: evidence from phylogenetic analyses of nuclear internal transcribed spacer and plastid trnL-F sequences. *Syst. Biol.* **53**, 856–876 (2004).
10. Dixon, C. J., Schönswetter, P. & Schneeweiss, G. M. Traces of ancient range shifts in a mountain plant group (*Androsace halleri* complex, Primulaceae). *Mol. Ecol.* **16**, 3890–3901 (2007).
11. Boucher, F. C. *et al.* Reconstructing the origins of high-alpine niches and cushion life form in the genus *Androsace* s.l. (Primulaceae). *Evolution (N. Y.)* **66**, 1255–1268 (2012).
12. Sanderson, M. J. Estimating Absolute Rates of Molecular Evolution and Divergence Times: A Penalized Likelihood Approach. *Mol. Biol. Evol.* **19**, 101–109 (2002).
13. Paradis, E. Molecular dating of phylogenies by likelihood methods: A comparison of models and a new information criterion. *Mol. Phylogenet. Evol.* **67**, 436–444 (2013).
14. Forest, F. Calibrating the tree of life: Fossils, molecules and evolutionary timescales. *Ann. Bot.* **104**, 789–794 (2009).

15. Janzen, D. H. *et al.* Nuclear genomes distinguish cryptic species suggested by their DNA barcodes and ecology. (2017). doi:10.1073/pnas.1621504114
16. Devitt, T. J., Wright, A. M., Cannatella, D. C. & Hillis, D. M. Species delimitation in endangered groundwater salamanders : Implications for aquifer management and biodiversity conservation. 1–10 (2018). doi:10.1073/pnas.1815014116
17. Frichot, E., Mathieu, F., Trouillon, T., Bouchard, G. & François, O. Fast and Efficient Estimation of Individual Ancestry Coefficients. *Genetics* **196**, 973 LP – 983 (2014).
18. Durand, E. Y., Patterson, N., Reich, D. & Slatkin, M. Testing for ancient admixture between closely related populations. *Mol. Biol. Evol.* **28**, 2239–2252 (2011).
19. Leaché, A. D., Fujita, M. K., Minin, V. N. & Bouckaert, R. R. Species delimitation using genome-wide SNP data. *Syst. Biol.* **63**, 534–542 (2014).
20. Bryant, D., Bouckaert, R., Felsenstein, J., Rosenberg, N. A. & RoyChoudhury, A. Inferring species trees directly from biallelic genetic markers: bypassing gene trees in a full coalescent analysis. *Mol. Biol. Evol.* **29**, 1917–1932 (2012).
21. Jombart, T. & Ahmed, I. adegenet 1.3-1: new tools for the analysis of genome-wide SNP data. *Bioinformatics* **27**, 3070–3071 (2011).
22. Goudet, J. hierfstat, a package for r to compute and test hierarchical F-statistics. *Mol. Ecol. Notes* **5**, 184–186 (2005).
23. Chambers, E. A. & Hillis, D. M. The Multispecies Coalescent Over-Splits Species in the Case of Geographically Widespread Taxa. *Syst. Biol.* **69**, 184–193 (2019).
24. Cornuet, J.-M. *et al.* DIYABC v2.0: a software to make approximate Bayesian computation inferences about population history using single nucleotide polymorphism, DNA sequence and microsatellite data. *Bioinformatics* **30**, 1187–1189 (2014).

Sample code	Species name	Clade	Country	Mountain range	Locality description	Date (d/m/y)	Elevation	Substrate	Lat	Long	Collectors / Providers	Raw number of reads	Number of reads after filtering
D_ARC	<i>A. americana</i> Wendelbo	/Douglasia	USA	Alaska	Ridge dividing Essie	08/01/2001	na	na	62,53283333	-152,571	University of Alaska Herbarium	62,2796	62,2796
D_BER	<i>A. costensis</i> Wendelbo	/Douglasia	USA	Alaska	Little Black River	21/06/2001	na	na	143,03673333	-143,03673333	University of Alaska Herbarium	59,7915	59,7915
A_VIT_CN	<i>A. vitifera</i> (L.) Lapeyr.	/Vitaliana	USA	Alaska	Nulato Hills, Debatsh	29/06/1998	na	na	64,51666667	-159,88333333	University of Alaska Herbarium	768822	768822
A_ADF_BRI	<i>A. adriana</i> (L.) Lapeyr.	/Vitaliana	France	Queyras	Gallier	03/07/2009	na	Dolomite	45,06400778092722	6,40852715983999	R. Douzet, C. Rouquet, M. Boivin	357,4480	357,4480
A_ADF_ADF	<i>A. adriana</i> Briot	undetermined	France	Queyras	Col de Tizard	na	na	Dolomite	44,819775394136	6,73513320166106	Physiokaps project	278,1539	278,1539
A_CHA	<i>A. chalybii</i> Gen. & Gord.	undetermined	France	Emmes	Serre Eyraud	na	na	Schist	44,653165	6,311374	C. Dentant	288,7087	288,7087
A_BRE_1	<i>A. brevis</i> (Hegi) Coss.	/Vitaliana	Switzerland	Bronines	Combe Marrens	06/05/2009	na	Limestone	44,232559949821	5,700700010294	Physiokaps project	266,8875	266,8875
A_WUL	<i>A. wulfeniana</i> Brand-Mazz.	/Vitaliana	Austria	Ticino	Piuro-Casico	07/07/2010	na	na	46,1179665113497	8,07250686500813	Physiokaps project	215,9337	215,9337
LVS_NLM	<i>Lupinus nomenclator</i> L.	outgroup	Switzerland	Eastern Alps	Tribenial	15/07/2019	na	na	47,0637413	14,54401	Physiokaps project	217,2248	217,2248
A_HED	<i>A. herbertiana</i> Griseb.	undetermined	Switzerland	Bernese canton	Suiberg	25/09/2002	2150	na	43,39445467	7,33318933	Physiokaps project	720,664	720,664
A_LMI	<i>A. meridionalis</i> Lapeyr.	/Argentina	Italy	Balkans	Monte Magier, 200m Bar	05/09/2016	2700	Dolomite	42,4177831	22,86935469	J. Smyčka, M. Simek, D. Podhrouš	211,8407	211,8407
A_HJU	<i>A. hirsutissima</i> Lapeyr.	/Vitaliana	Italy	Apennins	Gran Sasso, 200m Bar	15/08/2016	na	Dolomite	42,4177831	13,9521067	Physiokaps project	698,691	698,691
A_VIT_SES	<i>A. vitifera</i> (L.) Lapeyr.	/Vitaliana	Italy	Dolomites	Lepo Zoi, Col dai Beni	04/08/2016	na	Dolomite	46,346598	12,064176	Physiokaps project	546,9387	546,9387
A_ADF_PUB	<i>A. adriana</i> Briot	undetermined	Italy	Dolomites	Abvete Rittigo	21/06/2012	na	Dolomite	46,41769	11,841838	Physiokaps project	542,1930	542,1930
A_LAG	<i>A. lagascea</i> (L.) Lapeyr.	undetermined	Italy	Valsais	Col du Grand Salet	11/06/2016	na	Limestone	45,8709536877333	6,973433333	Physiokaps project	338,0653	338,0653
A_CGN	<i>A. cantabrica</i> (Coss & P. Monts.) Kress	undetermined	Spain	Pyrénées	Puerto de Espio, Estrat	06/07/2016	na	na	45,8709536877333	-4,35422222	Physiokaps project	204,3047	204,3047
A_LLAC	<i>A. laeta</i> L.	/Argentina	Switzerland	Cordillera Cantabriga	Ganisch	08/08/2009	2075	Limestone	46,7119358154824	7,4403286853004	Physiokaps project	165,2891	165,2891
AA11	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Vanoise	Plan Richard	14/08/2016	2616	na	45,4876516	6,8163767	S. Lavigne	226,1222	226,1222
AA28	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Vanoise	Colbrun	08/07/2017	2516	na	46,27461	11,75194	S. Lavigne, J. Smyčka	414,1986	414,1986
AA30	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Vanoise	China del Deserno, 10	11/07/2017	2760	na	46,20119	9,56335	S. Lavigne, J. Smyčka	336,8499	336,8499
AL1	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	Italy	Valsais	Fenete de Ferret	02/09/2016	2888	Schist	45,87556667	7,14555	S. Lavigne, F. Bouchet, L. Boulangeat	100,679	100,679
PUS	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Grandes Rousses	Chaerons de Montmor, 40/62/2018	07/08/2018	2821	Limestone	45,089945	6,9632129	S. Lavigne	238,9832	238,9832
HER	<i>A. heretica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Grandes Rousses	Chaerons de Montmor, 40/62/2018	07/08/2018	2638	Limestone	44,6273014	5,9167259	L. Boulangeat, N. Bardiucci	114,9627	114,9627
OBT	<i>A. obtusifolia</i> All.	/Argentina	Switzerland	Valsais	Schwarzen, along the 101/08/2018	07/07/2018	3450	Limestone	44,6273014	5,9167259	L. Boulangeat, N. Bardiucci	52,4800	52,4800
IN1	<i>A. pubescens</i> DC.	/Hevetica	Switzerland	Valsais	Grand Combin, Comb, 23/09/2018	07/07/2018	3600	na	45,937583	7,289102	S. Lavigne	380,6533	380,6533
AP_238	<i>A. pubescens</i> DC.	/Hevetica	France	Chablais	Dent-Coché, Plan Chn	08/06/2018	1880	Limestone	46,3468333	6,7867873	S. Lavigne, N. Bardiucci	277,0144	277,0144
D_IDA	<i>A. dolobrensis</i> (Douglas) M. Hendl	/Douglasia	USA	Chablais	Dent-Coché, Plan Chn	08/06/2018	na	na	44,398361	-11,5741606	M. Hancock	767,656	767,656
PZ2	<i>A. pyramidalis</i> Lam.	/Hevetica	Spain	Pyrénées	Puenteas	08/09/2010	na	Limestone	42,38513	0,07205	S. Lavigne	362,387	362,387
AE26	<i>A. veridensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	Italy	Cottian Alps	Monte Viso	18/07/2017	3750	Dolomite	44,66756	7,06978	S. Lavigne, J. Smyčka	251,2843	251,2843
HE3	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Bailliforain	Col de la Nova	30/06/2017	2770	Physch	45,653546	6,863954	S. Lavigne, P. Dulor	707,9959	707,9959
AP_231	<i>A. pubescens</i> DC.	/Hevetica	France	Chablais	La Pointe, col de Ball	08/06/2018	2770	Physch	45,653546	6,863954	S. Lavigne, P. Dulor	947,6193	947,6193
AL2	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Bailliforain	Col de Villaret	14/07/2018	2480	Limestone	46,1817373	6,6212335	S. Lavigne, N. Bardiucci	142,9891	142,9891
AL3	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Bailliforain	Col de Villaret	14/07/2018	2480	Gneiss	45,3179	6,1946	F. Bouchet	1524,032	1524,032
AA4	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Vanoise	Col de Thiersen	11/07/2018	2790	Schist	45,41158	7,0282	F. Bouchet	217,5159	217,5159
AA22	<i>A. alpina</i> (L.) Lam	/Hevetica	France	Vanoise	Col de Thiersen	24/07/2016	2796	Schist	45,270685	6,667427	L. Bardiucci	383,5314	383,5314
AV_217	<i>A. argentea</i> (C.F. Gaertn.) Lapeyr.	/Argentina	France	Thabor	Tour du Cheval Blanc, 02/2017	09/2017	3200	Calcare	45,124838	6,511129	S. Lavigne, M. Boida	337,0379	337,0379
AV_226	<i>A. argentea</i> (C.F. Gaertn.) Lapeyr.	/Argentina	France	Thabor	Manuel	02/2017	3200	Calcare	45,9532417	7,014275	S. Ibanz	482,9781	482,9781
A_BRE_2	<i>A. brevis</i> (Hegi) Coss.	/Vitaliana	Switzerland	Valsais	Dent-Coché	07/07/2010	3469	Gneiss	46,3033	7,6	S. Ibanz	421,3054	421,3054
A_CIL	<i>A. cilicaria</i> DC.	undetermined	Spain	Pyrénées	Piuro-Casico	08/07/1905	2800	na	46,134735277287	9,06394569163893	Physiokaps project	309,6451	309,6451
CVH	<i>A. deprenensis</i> DC.	/Argentina	Spain	Pyrénées	Living plant collection, 29/07/2018	08/07/1905	na	Limestone	42,8787025	-0,6431169	C. Rouquet	321,8241	321,8241
PUI7	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Sicc. E surmit	26/09/2018	3190	Limestone	42,8787458	-0,7003311	S. Lavigne, M. Boida	347,2847	347,2847
PUI8	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Flembaun, surmit	26/09/2018	3550	Migmatite	44,78008	6,313754	C. Dentant	197,1060	197,1060
PUI9	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Gleichen, surmit	26/09/2017	2460	Gneiss & gyps	44,92713	6,33978	C. Dentant	1056,686	1056,686
AP25	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Raena, S. Sloce	16/07/2009	3500	Gneiss	44,916365	6,379336	C. Dentant	839,886	839,886
PUI3	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Pointe Brevoort, S14g	20/08/2014	3620	Gneiss	44,982853	6,2698442	S. Ibanz, P. Secore	421,0072	421,0072
AP179	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Pointe Brevoort, S14g	07/08/2015	3620	Gneiss	44,9869586	6,3037025	S. Lavigne, C. Dentant	854,826	854,826
AP189	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Emmes	Pied du Champ de l'Évy, 07/08/2015	07/08/2015	2900	Migmatite	44,9359063	6,3196811	S. Lavigne, J. Chamon	338,357	338,357
AP103	<i>A. deprenensis</i> Dentant, Lavergne, F.C. Boucher & S. Ibanz	/Hevetica	France	Bailliforain	Aiguilles Occidentales, 08/07/2016	08/07/2016	2900	Gneiss	45,2447219	6,316978	S. Lavigne, M. Boida	564,7188	564,7188
A_HAL	<i>A. haereri</i> L.	/Hevetica	France	Massif Central	Les Roules, Roubliers	24/07/2013	3330	Gneiss & smt	44,829331	6,261304	S. Lavigne, T. Balle	538,3265	538,3265
HE1	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Pileau de Bure	03/2016	2570	Limestone	45,5239444	6,282533333	J. Smyčka	1208,933	1208,933
HE2	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE3	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE4	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE5	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE6	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE7	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE8	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE9	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE10	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE11	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE12	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE13	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE14	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE15	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE16	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE17	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE18	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE19	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5428
HE20	<i>A. hevetica</i> (L.) All.	/Hevetica	France	Davouly	Col de Salenton	07/2018	2526	Limestone	44,6334578	5,908646	E. Huskabe, L. Grollier	154,5428	154,5

Annexe II

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

family	species_name	nunatak	date_of_observation
Asteraceae	Achillea nana L., 1753	couvercle	2020
Asteraceae	Achillea nana L., 1753	couvercle	1868
Asteraceae	Achillea nana L., 1753	leschaux	2020
Asteraceae	Achillea nana L., 1753	leschaux	1868
Asteraceae	Achillea nana L., 1753	tacul	1868
Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	couvercle	2020
Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	couvercle	1868
Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	leschaux	2020
Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	tacul	2020
Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	talefre	2020
Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	talefre	1868
Asteraceae	Adenostyles leucophylla (Willd.) Rchb., 1831	leschaux	2020
Asteraceae	Adenostyles leucophylla (Willd.) Rchb., 1831	leschaux	1868
Asteraceae	Adenostyles leucophylla (Willd.) Rchb., 1831	talefre	1868
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	couvercle	2020
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	couvercle	1868
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	leschaux	2020
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	leschaux	1868
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	tacul	2020
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	talefre	2020
Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	talefre	1868
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	couvercle	2020
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	couvercle	1868
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	grands_mulets	2020
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	grands_mulets	1868
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	leschaux	2020
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	tacul	2020
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	talefre	2020
Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	talefre	1868
Poaceae	Agrostis schraderiana Bech., 1938	couvercle	2020
Poaceae	Agrostis schraderiana Bech., 1938	leschaux	2020
Poaceae	Agrostis schraderiana Bech., 1938	tacul	2020
Poaceae	Agrostis schraderiana Bech., 1938	talefre	2020
Poaceae	Agrostis schraderiana Bech., 1938	talefre	1868
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	couvercle	2020
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	couvercle	1868
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	leschaux	2020
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	leschaux	1868
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	tacul	2020
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	talefre	2020
Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	talefre	1868
Rosaceae	Alchemilla fissa Günther & Schummel, 1819	couvercle	1868
Rosaceae	Alchemilla fissa Günther & Schummel, 1819	leschaux	2020
Rosaceae	Alchemilla fissa Günther & Schummel, 1819	tacul	2020
Rosaceae	Alchemilla fissa Günther & Schummel, 1819	talefre	2020
Rosaceae	Alchemilla fissa Günther & Schummel, 1819	talefre	1868
Rosaceae	Alchemilla flabellata Buser, 1891	couvercle	2020
Rosaceae	Alchemilla flabellata Buser, 1891	leschaux	2020
Rosaceae	Alchemilla glabra Neygenf., 1821	leschaux	2020
Rosaceae	Alchemilla pentaphyllea L., 1753	couvercle	2020
Rosaceae	Alchemilla pentaphyllea L., 1753	couvercle	1868
Rosaceae	Alchemilla pentaphyllea L., 1753	leschaux	2020
Rosaceae	Alchemilla pentaphyllea L., 1753	tacul	2020
Rosaceae	Alchemilla pentaphyllea L., 1753	talefre	2020
Rosaceae	Alchemilla pentaphyllea L., 1753	talefre	1868
Rosaceae	Alchemilla subsericea Reut., 1854	couvercle	2020
Rosaceae	Alchemilla subsericea Reut., 1854	leschaux	1868
Rosaceae	Alchemilla transiens (Buser) Buser, 1898	leschaux	2020
Rosaceae	Alchemilla xanthochlora Rothm., 1937	leschaux	2020
Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher&S.Ibanez, 2020	grands_mulets	2020
Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher&S.Ibanez, 2020	grands_mulets	1868
Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher&S.Ibanez, 2020	heureux-retour	2020
Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher&S.Ibanez, 2020	leschaux	2020
Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher&S.Ibanez, 2020	leschaux	1868
Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher&S.Ibanez, 2020	talefre	2020
Ranunculaceae	Anemone vernalis L., 1753	couvercle	2020
Ranunculaceae	Anemone vernalis L., 1753	leschaux	1868
Asteraceae	Antennaria carpatica (Wahlenb.) Bluff & Fingerh., 1825	couvercle	2020
Asteraceae	Antennaria carpatica (Wahlenb.) Bluff & Fingerh., 1825	leschaux	2020
Asteraceae	Antennaria carpatica (Wahlenb.) Bluff & Fingerh., 1825	talefre	1868
Asteraceae	Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791	tacul	2020
Asteraceae	Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791	talefre	2020
Asteraceae	Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791	talefre	1868
Asteraceae	Antennaria dioica (L.) Gaertn., 1791	leschaux	1868

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Poaceae	<i>Anthoxanthum alpinum</i> Á.Löve & D.Löve, 1948	couvercle	2020
Poaceae	<i>Anthoxanthum alpinum</i> Á.Löve & D.Löve, 1948	couvercle	1868
Poaceae	<i>Anthoxanthum alpinum</i> Á.Löve & D.Löve, 1948	leschaux	2020
Poaceae	<i>Anthoxanthum alpinum</i> Á.Löve & D.Löve, 1948	tacul	2020
Poaceae	<i>Anthoxanthum alpinum</i> Á.Löve & D.Löve, 1948	talefre	1868
Brassicaceae	<i>Arabis alpina</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Brassicaceae	<i>Arabis alpina</i> L., 1753	leschaux	2020
Ericaceae	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng., 1825	tacul	2020
Caryophyllaceae	<i>Arenaria biflora</i> L., 1767	couvercle	2020
Caryophyllaceae	<i>Arenaria biflora</i> L., 1767	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Arenaria biflora</i> L., 1767	talefre	1868
Caryophyllaceae	<i>Arenaria marschlinii</i> W.D.J.Koch, 1841	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Arenaria marschlinii</i> W.D.J.Koch, 1841	talefre	1868
Asteraceae	<i>Arnica montana</i> L., 1753	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Arnica montana</i> L., 1753	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Arnica montana</i> L., 1753	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Arnica montana</i> L., 1753	talefre	2020
Asteraceae	<i>Arnica montana</i> L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	<i>Artemisia umbelliformis</i> Lam., 1783	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Artemisia umbelliformis</i> Lam., 1783	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Artemisia umbelliformis</i> Lam., 1783	leschaux	1868
Aspleniaceae	<i>Asplenium septentrionale</i> (L.) Hoffm., 1795	couvercle	2020
Apiaceae	<i>Astrantia minor</i> L., 1753	couvercle	2020
Apiaceae	<i>Astrantia minor</i> L., 1753	tacul	2020
Athyriaceae	<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz, 1820	leschaux	2020
Athyriaceae	<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz, 1820	tacul	2020
Athyriaceae	<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz, 1820	talefre	2020
Athyriaceae	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth, 1799	couvercle	2020
Athyriaceae	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth, 1799	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman, 2001	couvercle	2020
Caryophyllaceae	<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman, 2001	couvercle	1868
Caryophyllaceae	<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman, 2001	leschaux	2020
Caryophyllaceae	<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman, 2001	tacul	2020
Caryophyllaceae	<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman, 2001	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Atocion rupestre</i> (L.) Oxelman, 2001	talefre	1868
Poaceae	<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drejer, 1838	couvercle	2020
Orobanchaceae	<i>Bartsia alpina</i> L., 1753	leschaux	2020
Orobanchaceae	<i>Bartsia alpina</i> L., 1753	tacul	2020
Orobanchaceae	<i>Bartsia alpina</i> L., 1753	talefre	2020
Orobanchaceae	<i>Bartsia alpina</i> L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	<i>Bellidiastrum michelii</i> Cass., 1817	leschaux	2020
Betulaceae	<i>Betula pendula</i> Roth, 1788	couvercle	2020
Polygonaceae	<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	leschaux	2020
Polygonaceae	<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	tacul	2020
Polygonaceae	<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	talefre	2020
Polygonaceae	<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre, 1800	talefre	1868
Ophioglossaceae	<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw., 1802	leschaux	2020
Ophioglossaceae	<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw., 1802	tacul	2020
Ophioglossaceae	<i>Botrychium lunaria</i> (L.) Sw., 1802	talefre	1868
Apiaceae	<i>Bupleurum stellatum</i> L., 1753	couvercle	2020
Apiaceae	<i>Bupleurum stellatum</i> L., 1753	couvercle	1868
Apiaceae	<i>Bupleurum stellatum</i> L., 1753	leschaux	2020
Apiaceae	<i>Bupleurum stellatum</i> L., 1753	leschaux	1868
Apiaceae	<i>Bupleurum stellatum</i> L., 1753	talefre	1865
Ericaceae	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull, 1808	couvercle	2020
Campanulaceae	<i>Campanula barbata</i> L., 1759	leschaux	2020
Campanulaceae	<i>Campanula barbata</i> L., 1759	leschaux	1868
Campanulaceae	<i>Campanula barbata</i> L., 1759	tacul	2020
Campanulaceae	<i>Campanula barbata</i> L., 1759	talefre	1865
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	couvercle	2020
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	couvercle	1868
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	grands_mulets	2020
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	tacul	2020
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	talefre	2020
Campanulaceae	<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill., 1779	talefre	1868
Brassicaceae	<i>Cardamine alpina</i> Willd., 1800	leschaux	2020
Brassicaceae	<i>Cardamine alpina</i> Willd., 1800	talefre	2020
Brassicaceae	<i>Cardamine alpina</i> Willd., 1800	talefre	1868
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	couvercle	2020
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	couvercle	1868
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	grands_mulets	1868
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	leschaux	2020
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	tacul	2020

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	talefre	2020
Brassicaceae	<i>Cardamine resedifolia</i> L., 1753	talefre	1868
Cyperaceae	<i>Carex curvula</i> subsp. <i>curvula</i> All., 1785	couvercle	2020
Cyperaceae	<i>Carex curvula</i> subsp. <i>curvula</i> All., 1785	talefre	2020
Cyperaceae	<i>Carex curvula</i> subsp. <i>curvula</i> All., 1785	talefre	1868
Cyperaceae	<i>Carex foetida</i> All., 1785	couvercle	2020
Cyperaceae	<i>Carex foetida</i> All., 1785	couvercle	1868
Cyperaceae	<i>Carex foetida</i> All., 1785	tacul	2020
Cyperaceae	<i>Carex foetida</i> All., 1785	talefre	2020
Cyperaceae	<i>Carex foetida</i> All., 1785	talefre	1868
Cyperaceae	<i>Carex frigida</i> All., 1785	couvercle	2020
Cyperaceae	<i>Carex frigida</i> All., 1785	leschaux	2020
Cyperaceae	<i>Carex frigida</i> All., 1785	talefre	2020
Cyperaceae	<i>Carex myosuroides</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Cyperaceae	<i>Carex parviflora</i> Host, 1801	leschaux	2020
Cyperaceae	<i>Carex parviflora</i> Host, 1801	grands_mulets	1868
Cyperaceae	<i>Carex parviflora</i> Host, 1801	couvercle	1868
Cyperaceae	<i>Carex sempervirens</i> Vill., 1787	couvercle	2020
Cyperaceae	<i>Carex sempervirens</i> Vill., 1787	leschaux	2020
Cyperaceae	<i>Carex sempervirens</i> Vill., 1787	tacul	2020
Cyperaceae	<i>Carex sempervirens</i> Vill., 1787	talefre	2020
Cyperaceae	<i>Carex sempervirens</i> Vill., 1787	talefre	1868
Cyperaceae	<i>Cerastium alpinum</i> L., 1753	talefre	1868
Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton, 1894	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton, 1894	talefre	1868
Caryophyllaceae	<i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton, 1894	couvercle	1868
Caryophyllaceae	<i>Cerastium pedunculatum</i> Gaudin, 1828	couvercle	2020
Caryophyllaceae	<i>Cerastium pedunculatum</i> Gaudin, 1828	leschaux	2020
Caryophyllaceae	<i>Cerastium pedunculatum</i> Gaudin, 1828	leschaux	1868
Caryophyllaceae	<i>Cerastium pedunculatum</i> Gaudin, 1828	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Cerastium pedunculatum</i> Gaudin, 1828	talefre	1868
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	tacul	2020
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	talefre	2020
Asteraceae	<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop., 1769	talefre	1868
Orchidaceae	<i>Coeloglossum viride</i> (L.) Hartm., 1820	leschaux	2020
Orchidaceae	<i>Coeloglossum viride</i> (L.) Hartm., 1820	tacul	2020
Orchidaceae	<i>Coeloglossum viride</i> (L.) Hartm., 1820	couvercle	1868
Rosaceae	<i>Cotoneaster integerrimus</i> Medik., 1793	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Crepis aurea</i> (L.) Tausch, 1828	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Crepis aurea</i> (L.) Tausch, 1828	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Crepis aurea</i> (L.) Tausch, 1828	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Crepis aurea</i> (L.) Tausch, 1828	talefre	1868
Pteridaceae	<i>Cryptogramma crispa</i> (L.) R.Br., 1842	couvercle	2020
Pteridaceae	<i>Cryptogramma crispa</i> (L.) R.Br., 1842	leschaux	2020
Pteridaceae	<i>Cryptogramma crispa</i> (L.) R.Br., 1842	leschaux	1868
Pteridaceae	<i>Cryptogramma crispa</i> (L.) R.Br., 1842	tacul	2020
Pteridaceae	<i>Cryptogramma crispa</i> (L.) R.Br., 1842	talefre	2020
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza majalis</i> (Rchb.) P.F.Hunt & Summerh., 1965	couvercle	2020
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza majalis</i> (Rchb.) P.F.Hunt & Summerh., 1965	tacul	2020
Poaceae	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv., 1812	couvercle	2020
Poaceae	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv., 1812	couvercle	1868
Poaceae	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv., 1812	talefre	1868
Asteraceae	<i>Doronicum clusii</i> (All.) Tausch, 1828	talefre	1868
Brassicaceae	<i>Draba dubia</i> Suter, 1807	couvercle	1868
Brassicaceae	<i>Draba dubia</i> Suter, 1807	talefre	1868
Brassicaceae	<i>Draba fladnizensis</i> Wulfen, 1779	grands_mulets	2020
Brassicaceae	<i>Draba fladnizensis</i> Wulfen, 1779	grands_mulets	1868
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray, 1848	tacul	2020
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray, 1848	talefre	2020
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray, 1848	talefre	1868
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray, 1848	leschaux	2020
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, 1834	couvercle	2020
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, 1834	leschaux	2020
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, 1834	tacul	2020
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, 1834	talefre	2020
Ericaceae	<i>Empetrum nigrum</i> subsp. <i>hermaphroditum</i> (Hagerup) Böcher, 1952	leschaux	2020
Ericaceae	<i>Empetrum nigrum</i> subsp. <i>hermaphroditum</i> (Hagerup) Böcher, 1952	leschaux	1868
Ericaceae	<i>Empetrum nigrum</i> subsp. <i>hermaphroditum</i> (Hagerup) Böcher, 1952	tacul	2020
Onagraceae	<i>Epilobium alsinifolium</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Onagraceae	<i>Epilobium anagallidifolium</i> Lam., 1786	leschaux	2020
Onagraceae	<i>Epilobium anagallidifolium</i> Lam., 1786	tacul	2020

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Onagraceae	<i>Epilobium anagallidifolium</i> Lam., 1786	talefre	2020
Onagraceae	<i>Epilobium anagallidifolium</i> Lam., 1786	talefre	1868
Onagraceae	<i>Epilobium angustifolium</i> L., 1753	leschaux	2020
Onagraceae	<i>Epilobium angustifolium</i> L., 1753	tacul	2020
Onagraceae	<i>Epilobium dodonaei</i> subsp. <i>fleischeri</i> (Hochst.) Schinz & Thell., 1923	leschaux	2020
Onagraceae	<i>Epilobium dodonaei</i> subsp. <i>fleischeri</i> (Hochst.) Schinz & Thell., 1923	leschaux	1868
Onagraceae	<i>Epilobium dodonaei</i> subsp. <i>fleischeri</i> (Hochst.) Schinz & Thell., 1923	talefre	2020
Asteraceae	<i>Erigeron alpinus</i> L., 1753	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Erigeron alpinus</i> L., 1753	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Erigeron alpinus</i> L., 1753	talefre	2020
Asteraceae	<i>Erigeron alpinus</i> L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	<i>Erigeron glabratus</i> Hoppe & Hornsch. ex Bluff & Fingerh., 1825	talefre	1868
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	grands_mulets	1868
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	tacul	2020
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	talefre	2020
Asteraceae	<i>Erigeron uniflorus</i> L., 1753	talefre	1868
Cyperaceae	<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck., 1782	talefre	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC., 1805	couvercle	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC., 1805	leschaux	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC., 1805	leschaux	1868
Orobanchaceae	<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC., 1805	tacul	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC., 1805	talefre	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC., 1805	talefre	1865
Orobanchaceae	<i>Euphrasia picta</i> Wimm., 1857	couvercle	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia picta</i> Wimm., 1857	couvercle	1868
Orobanchaceae	<i>Euphrasia picta</i> Wimm., 1857	leschaux	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia picta</i> Wimm., 1857	talefre	2020
Orobanchaceae	<i>Euphrasia picta</i> Wimm., 1857	talefre	1868
Orobanchaceae	<i>Euphrasia picta</i> Wimm., 1857	tacul	1868
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	couvercle	2020
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	couvercle	1868
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	grands_mulets	2020
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	grands_mulets	1868
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	leschaux	2020
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	tacul	2020
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	talefre	2020
Poaceae	<i>Festuca halleri</i> All., 1785	talefre	1868
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i> Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	couvercle	2020
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i> Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	couvercle	1868
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i> Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	leschaux	2020
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i> Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	tacul	2020
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i> Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	talefre	2020
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i> Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	talefre	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	couvercle	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	couvercle	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	leschaux	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	leschaux	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	talefre	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana acaulis</i> L., 1753	talefre	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana bavarica</i> L., 1753	talefre	1867
Gentianaceae	<i>Gentiana brachyphylla</i> Vill., 1779	grands_mulets	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana brachyphylla</i> Vill., 1779	grands_mulets	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana brachyphylla</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana nivalis</i> L., 1753	couvercle	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana nivalis</i> L., 1753	leschaux	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana nivalis</i> L., 1753	tacul	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana nivalis</i> L., 1753	talefre	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana nivalis</i> L., 1753	talefre	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana punctata</i> L., 1753	couvercle	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana punctata</i> L., 1753	tacul	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana punctata</i> L., 1753	talefre	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana punctata</i> L., 1753	talefre	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana purpurea</i> L., 1753	leschaux	1868
Gentianaceae	<i>Gentiana purpurea</i> L., 1753	couvercle	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana purpurea</i> L., 1753	tacul	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana purpurea</i> L., 1753	talefre	2020
Gentianaceae	<i>Gentiana purpurea</i> L., 1753	talefre	1868
Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	couvercle	2020
Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	couvercle	1868
Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	leschaux	2020
Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	leschaux	1868

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	tacul	2020
Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	talefre	2020
Rosaceae	<i>Geum montanum</i> L., 1753	talefre	1868
Orchidaceae	<i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R.Br., 1813	couvercle	2020
Orchidaceae	<i>Gymnadenia nigra</i> subsp. <i>rhellicani</i> (Teppner & E.Klein) J.-M.Tison, 2010	couvercle	2020
Orchidaceae	<i>Gymnadenia nigra</i> subsp. <i>rhellicani</i> (Teppner & E.Klein) J.-M.Tison, 2010	couvercle	1868
Orchidaceae	<i>Gymnadenia nigra</i> subsp. <i>rhellicani</i> (Teppner & E.Klein) J.-M.Tison, 2010	leschaux	2020
Orchidaceae	<i>Gymnadenia nigra</i> subsp. <i>rhellicani</i> (Teppner & E.Klein) J.-M.Tison, 2010	talefre	2020
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	couvercle	2020
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	couvercle	1868
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	leschaux	2020
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	leschaux	1868
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	tacul	2020
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	talefre	2020
Poaceae	<i>Helictochloa versicolor</i> subsp. <i>versicolor</i> (Vill.) Romero Zarco, 2011	talefre	1868
Asteraceae	<i>Hieracium alpinum</i> L., 1753	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Hieracium alpinum</i> L., 1753	tacul	2020
Asteraceae	<i>Hieracium alpinum</i> L., 1753	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Hieracium alpinum</i> L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	<i>Hieracium halleri</i> Vill., 1788	talefre	1868
Asteraceae	<i>Hieracium glanduliferum</i> Hoppe, 1815	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Hieracium glanduliferum</i> Hoppe, 1815	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Hieracium piliferum</i> Hoppe, 1799	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Hieracium glanduliferum</i> Hoppe, 1815	talefre	2020
Asteraceae	<i>Hieracium glanduliferum</i> Hoppe, 1815	talefre	1868
Asteraceae	<i>Hieracium valdepilosum</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass., 1821	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass., 1821	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass., 1821	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass., 1821	tacul	2020
Asteraceae	<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass., 1821	talefre	2020
Asteraceae	<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass., 1821	talefre	1868
Brassicaceae	<i>Hornungia alpina</i> (L.) O.Appel, 1997	couvercle	2020
Lycopodiaceae	<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., 1829	leschaux	2020
Lycopodiaceae	<i>Huperzia selago</i> (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., 1829	tacul	2020
Hypericaceae	<i>Hypericum richeri</i> Vill., 1779	couvercle	2020
Apiaceae	<i>Imperatoria ostruthium</i> L., 1753	couvercle	2020
Apiaceae	<i>Imperatoria ostruthium</i> L., 1753	leschaux	2020
Apiaceae	<i>Imperatoria ostruthium</i> L., 1753	talefre	2020
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	tacul	2020
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	tacul	1868
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	talefre	2020
Asteraceae	<i>Jacobaea incana</i> (L.) Veldkamp, 2006	talefre	1868
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	couvercle	2020
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	couvercle	1868
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	leschaux	2020
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	leschaux	1868
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	tacul	2020
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	talefre	2020
Juncaceae	<i>Juncus jacquinii</i> L., 1767	talefre	1868
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	couvercle	2020
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	couvercle	1868
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	leschaux	2020
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	leschaux	1868
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	tacul	2020
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	talefre	2020
Juncaceae	<i>Juncus trifidus</i> L., 1753	talefre	1868
Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>nana</i> (Hook.) Syme, 1868	couvercle	2020
Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>nana</i> (Hook.) Syme, 1868	leschaux	2020
Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>nana</i> (Hook.) Syme, 1868	leschaux	1868
Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>nana</i> (Hook.) Syme, 1868	tacul	2020
Cupressaceae	<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>nana</i> (Hook.) Syme, 1868	talefre	2020
Ericaceae	<i>Kalmia procumbens</i> (L.) Gift, Kron & P.F.Stevens ex Galasso, Banfi & F.Conti, 2005	tacul	2020
Ericaceae	<i>Kalmia procumbens</i> (L.) Gift, Kron & P.F.Stevens ex Galasso, Banfi & F.Conti, 2005	leschaux	1868
Brassicaceae	<i>Kernera saxatilis</i> (L.) Sweet	couvercle	2014
Asteraceae	<i>Lactuca alpina</i> (L.) Benth. & Hook.f., 1876	tacul	2020
Apiaceae	<i>Laserpitium halleri</i> Crantz, 1767	couvercle	2020
Apiaceae	<i>Laserpitium halleri</i> Crantz, 1767	couvercle	1868
Apiaceae	<i>Laserpitium halleri</i> Crantz, 1767	talefre	1868
Asteraceae	<i>Leontodon hispidus</i> L., 1753	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Leontodon hispidus</i> L., 1753	talefre	2020

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Asteraceae	Leontodon hispidus L., 1753	couvercle	1868
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	couvercle	2020
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	grands_mulets	2020
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	grands_mulets	1868
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	leschaux	2020
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	leschaux	1868
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	tacul	2020
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	talefre	2020
Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	talefre	1868
Asteraceae	Leucanthemum adustum (W.D.J.Koch) Greml, 1898	couvercle	2020
Liliaceae	Lilium martagon L., 1753	couvercle	2020
Liliaceae	Lilium martagon L., 1753	couvercle	1868
Plantaginaceae	Linaria alpina (L.) Mill., 1768	leschaux	2020
Plantaginaceae	Linaria alpina (L.) Mill., 1768	leschaux	1868
Plantaginaceae	Linaria alpina (L.) Mill., 1768	talefre	1868
Linaceae	Linum catharticum L., 1753	couvercle	1868
Fabaceae	Lotus corniculatus subsp. alpinus (DC.) Rothm., 1963	couvercle	2020
Fabaceae	Lotus corniculatus subsp. alpinus (DC.) Rothm., 1963	leschaux	2020
Fabaceae	Lotus corniculatus subsp. alpinus (DC.) Rothm., 1963	leschaux	1868
Fabaceae	Lotus corniculatus subsp. alpinus (DC.) Rothm., 1963	tacul	2020
Fabaceae	Lotus corniculatus subsp. alpinus (DC.) Rothm., 1963	talefre	2020
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	couvercle	2020
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	couvercle	1868
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	leschaux	2020
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	leschaux	1868
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	tacul	2020
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	talefre	2020
Juncaceae	Luzula alpinopilosa (Chaix) Breistr., 1947	talefre	1868
Juncaceae	Luzula campestris (L.) DC., 1805	couvercle	2020
Juncaceae	Luzula lutea (All.) DC., 1805	couvercle	2020
Juncaceae	Luzula lutea (All.) DC., 1805	leschaux	2020
Juncaceae	Luzula lutea (All.) DC., 1805	leschaux	1868
Juncaceae	Luzula lutea (All.) DC., 1805	talefre	2020
Juncaceae	Luzula lutea (All.) DC., 1805	talefre	1868
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	couvercle	2020
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	couvercle	1868
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	grands_mulets	2020
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	grands_mulets	1868
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	leschaux	2020
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	leschaux	1868
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	talefre	2020
Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	talefre	1868
Lycopodiaceae	Lycopodium alpinum L., 1753	leschaux	1868
Saxifragaceae	Micranthes stellaris (L.) Galasso, Banfi & Soldano, 2005	leschaux	2020
Saxifragaceae	Micranthes stellaris (L.) Galasso, Banfi & Soldano, 2005	tacul	2020
Saxifragaceae	Micranthes stellaris (L.) Galasso, Banfi & Soldano, 2005	talefre	2020
Saxifragaceae	Micranthes stellaris (L.) Galasso, Banfi & Soldano, 2005	talefre	1868
Caryophyllaceae	Minuartia sedoides (L.) Hiern, 1899	couvercle	2020
Caryophyllaceae	Minuartia sedoides (L.) Hiern, 1899	leschaux	2020
Caryophyllaceae	Minuartia sedoides (L.) Hiern, 1899	leschaux	1868
Caryophyllaceae	Minuartia sedoides (L.) Hiern, 1899	tacul	2020
Caryophyllaceae	Minuartia sedoides (L.) Hiern, 1899	talefre	2020
Caryophyllaceae	Minuartia sedoides (L.) Hiern, 1899	talefre	1868
Poaceae	Molinia caerulea (L.) Moench, 1794	couvercle	2020
Brassicaceae	Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm., 1939	couvercle	2020
Brassicaceae	Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm., 1939	leschaux	2020
Brassicaceae	Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm., 1939	talefre	2020
Brassicaceae	Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm., 1939	talefre	1868
Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	couvercle	2020
Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	couvercle	1868
Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	leschaux	2020
Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	tacul	2020
Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	talefre	2020
Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	talefre	1868
Boraginaceae	Myosotis alpestris F.W.Schmidt, 1794	couvercle	2020
Boraginaceae	Myosotis alpestris F.W.Schmidt, 1794	leschaux	2020
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	couvercle	2020
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	couvercle	1868
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	leschaux	2020
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	leschaux	1868
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	tacul	2020
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	talefre	2020
Poaceae	Nardus stricta L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	Omalotheca norvegica (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	couvercle	2020
Asteraceae	Omalotheca norvegica (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	leschaux	2020

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Asteraceae	<i>Omalotheca norvegica</i> (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Omalotheca norvegica</i> (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	tacul	2020
Asteraceae	<i>Omalotheca norvegica</i> (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	talefre	2020
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1838	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1838	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1838	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1839	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1838	tacul	2020
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1838	talefre	2020
Asteraceae	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC., 1838	talefre	1868
Orchidaceae	<i>Orchis mascula</i> (L.) L., 1755	couvercle	1868
Polygonaceae	<i>Oxyria digyna</i> (L.) Hill, 1768	leschaux	2020
Polygonaceae	<i>Oxyria digyna</i> (L.) Hill, 1768	tacul	2020
Polygonaceae	<i>Oxyria digyna</i> (L.) Hill, 1768	talefre	2020
Apiaceae	<i>Pachypleurum mutellinoides</i> (Crantz) Holub, 1983	leschaux	2020
Apiaceae	<i>Pachypleurum mutellinoides</i> (Crantz) Holub, 1983	couvercle	1868
Apiaceae	<i>Pachypleurum mutellinoides</i> (Crantz) Holub, 1983	talefre	2020
Apiaceae	<i>Pachypleurum mutellinoides</i> (Crantz) Holub, 1983	talefre	1868
Asparagaceae	<i>Paradisea liliastrum</i> (L.) Bertol., 1840	couvercle	2020
Asparagaceae	<i>Paradisea liliastrum</i> (L.) Bertol., 1840	couvercle	1868
Orobanchaceae	<i>Pedicularis kernerii</i> Dalla Torre, 1882	couvercle	2020
Orobanchaceae	<i>Pedicularis kernerii</i> Dalla Torre, 1882	leschaux	2020
Orobanchaceae	<i>Pedicularis kernerii</i> Dalla Torre, 1882	leschaux	1868
Orobanchaceae	<i>Pedicularis kernerii</i> Dalla Torre, 1882	tacul	2020
Orobanchaceae	<i>Pedicularis kernerii</i> Dalla Torre, 1882	talefre	2020
Poaceae	<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	couvercle	2020
Poaceae	<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	leschaux	2020
Poaceae	<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	tacul	2020
Poaceae	<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	talefre	2020
Poaceae	<i>Phleum alpinum</i> L., 1753	talefre	1868
Campanulaceae	<i>Phyteuma betonicifolium</i> Vill., 1785	couvercle	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma betonicifolium</i> Vill., 1785	tacul	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	couvercle	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	grands_mulets	1868
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	leschaux	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	leschaux	1868
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	tacul	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	talefre	2020
Campanulaceae	<i>Phyteuma hemisphaericum</i> L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	<i>Pilosella glacialis</i> (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Pilosella glacialis</i> (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Pilosella glacialis</i> (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Pilosella glacialis</i> (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Pilosella glacialis</i> (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	talefre	2020
Asteraceae	<i>Pilosella glacialis</i> (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	talefre	1868
Asteraceae	<i>Pilosella peleteriana</i> (Mérat) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	leschaux	2020
Lentibulariaceae	<i>Pinguicula vulgaris</i> L., 1753	talefre	2020
Plantaginaceae	<i>Plantago alpina</i> L., 1753	couvercle	2020
Plantaginaceae	<i>Plantago alpina</i> L., 1753	leschaux	2020
Plantaginaceae	<i>Plantago alpina</i> L., 1753	talefre	2020
Plantaginaceae	<i>Plantago alpina</i> L., 1753	talefre	1868
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	couvercle	2020
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	couvercle	1868
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	grands_mulets	1868
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	leschaux	2020
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	tacul	2020
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	talefre	2020
Poaceae	<i>Poa alpina</i> L., 1753	talefre	1868
Poaceae	<i>Poa cenisia</i> All., 1789	leschaux	2020
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	couvercle	2020
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	couvercle	1868
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	grands_mulets	2020
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	grands_mulets	1868
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	heureux-retour	2020
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	leschaux	2020
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	talefre	2020
Poaceae	<i>Poa laxa</i> Haenke, 1791	talefre	1868
Poaceae	<i>Poa nemoralis</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Poaceae	<i>Poa nemoralis</i> L., 1753	grands_mulets	1868
Poaceae	<i>Poa nemoralis</i> L., 1753	leschaux	2020
Poaceae	<i>Poa nemoralis</i> L., 1753	leschaux	1868
Poaceae	<i>Poa nemoralis</i> L., 1753	talefre	2020
Poaceae	<i>Poa supina</i> Schrad., 1806	leschaux	2020

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Dryopteridaceae	Polystichum lonchitis (L.) Roth, 1799	leschaux	1868
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	couvercle	2020
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	couvercle	1868
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	leschaux	2020
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	leschaux	1868
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	tacul	2020
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	talefre	2020
Rosaceae	Potentilla aurea L., 1756	talefre	1868
Rosaceae	Potentilla brauneana Hoppe, 1804	couvercle	1868
Rosaceae	Potentilla frigida Vill., 1788	grands_mulets	2020
Rosaceae	Potentilla frigida Vill., 1788	grands_mulets	1868
Rosaceae	Potentilla frigida Vill., 1788	couvercle	1868
Rosaceae	Potentilla frigida Vill., 1788	talefre	1868
Rosaceae	Potentilla grandiflora L., 1753	couvercle	2020
Rosaceae	Potentilla grandiflora L., 1753	couvercle	1868
Rosaceae	Potentilla grandiflora L., 1753	leschaux	2020
Rosaceae	Potentilla grandiflora L., 1753	talefre	1868
Primulaceae	Primula farinosa L., 1753	leschaux	2020
Primulaceae	Primula hirsuta All., 1773	couvercle	2020
Primulaceae	Primula hirsuta All., 1773	couvercle	1868
Primulaceae	Primula hirsuta All., 1773	grands_mulets	2020
Primulaceae	Primula hirsuta All., 1773	leschaux	2020
Primulaceae	Primula hirsuta All., 1773	talefre	2020
Primulaceae	Primula hirsuta All., 1773	talefre	1868
Orchidaceae	Pseudorchis albida (L.) Á.Löve & D.Löve, 1969	couvercle	2020
Orchidaceae	Pseudorchis albida (L.) Á.Löve & D.Löve, 1969	couvercle	1868
Orchidaceae	Pseudorchis albida (L.) Á.Löve & D.Löve, 1969	tacul	2020
Ericaceae	Pyrola minor L., 1753	leschaux	2020
Ericaceae	Pyrola minor L., 1753	tacul	2020
Ranunculaceae	Ranunculus glacialis L., 1753	leschaux	2020
Ranunculaceae	Ranunculus glacialis L., 1753	talefre	2020
Ranunculaceae	Ranunculus glacialis L., 1753	talefre	1868
Ranunculaceae	Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr., 1854	couvercle	2020
Ranunculaceae	Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr., 1854	couvercle	1868
Ranunculaceae	Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr., 1854	leschaux	2020
Ranunculaceae	Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr., 1854	leschaux	1868
Ranunculaceae	Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr., 1854	talefre	2020
Ranunculaceae	Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr., 1854	talefre	1868
Orobanchaceae	Rhinanthus glacialis Personnat, 1863	couvercle	2020
Ericaceae	Rhododendron ferrugineum L., 1753	couvercle	2020
Ericaceae	Rhododendron ferrugineum L., 1753	leschaux	2020
Ericaceae	Rhododendron ferrugineum L., 1753	leschaux	1868
Ericaceae	Rhododendron ferrugineum L., 1753	tacul	2020
Rosaceae	Rosa pendulina L., 1753	couvercle	2020
Polygonaceae	Rumex scutatus L., 1753	leschaux	2020
Caryophyllaceae	Sagina saginoides (L.) H.Karst., 1882	leschaux	2020
Caryophyllaceae	Sagina saginoides (L.) H.Karst., 1882	talefre	2020
Caryophyllaceae	Sagina saginoides (L.) H.Karst., 1882	talefre	1868
Salicaceae	Salix appendiculata Vill., 1789	couvercle	2020
Salicaceae	Salix appendiculata Vill., 1789	leschaux	2020
Salicaceae	Salix appendiculata Vill., 1789	talefre	2020
Salicaceae	Salix hastata L., 1753	talefre	2020
Salicaceae	Salix hastata L., 1753	leschaux	1868
Salicaceae	Salix helvetica Vill., 1789	couvercle	2020
Salicaceae	Salix helvetica Vill., 1789	leschaux	2020
Salicaceae	Salix helvetica Vill., 1789	tacul	2020
Salicaceae	Salix herbacea L., 1753	couvercle	2020
Salicaceae	Salix herbacea L., 1753	leschaux	2020
Salicaceae	Salix herbacea L., 1753	tacul	2020
Salicaceae	Salix herbacea L., 1753	talefre	2020
Salicaceae	Salix herbacea L., 1753	talefre	1868
Salicaceae	Salix retusa L., 1759	leschaux	2020
Salicaceae	Salix retusa L., 1759	tacul	2020
Saxifragaceae	Saxifraga aizoides L., 1753	leschaux	2020
Saxifragaceae	Saxifraga aizoides L., 1753	leschaux	1868
Saxifragaceae	Saxifraga androsacea L., 1753	tacul	1868
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	couvercle	2020
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	couvercle	1868
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	grands_mulets	2020
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	grands_mulets	1868
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	leschaux	2020
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	leschaux	1868
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	tacul	2020
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	talefre	2020
Saxifragaceae	Saxifraga bryoides L., 1753	talefre	1868

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> Vill., 1779	grands_mulets	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> Vill., 1779	grands_mulets	1868
Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> Vill., 1779	talefre	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga moschata</i> Wulfen, 1781	grands_mulets	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga moschata</i> Wulfen, 1781	grands_mulets	1868
Saxifragaceae	<i>Saxifraga moschata</i> Wulfen, 1781	leschaux	1868
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	grands_mulets	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	grands_mulets	1868
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	heureux-retour	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	leschaux	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	talefre	1868
Saxifragaceae	<i>Saxifraga paniculata</i> Mill., 1768	leschaux	2020
Saxifragaceae	<i>Saxifraga paniculata</i> Mill., 1768	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> var. <i>helvetica</i> (Mérat) B.Bock, 2012	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> var. <i>helvetica</i> (Mérat) B.Bock, 2012	couvercle	1868
Asteraceae	<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> var. <i>helvetica</i> (Mérat) B.Bock, 2012	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> var. <i>helvetica</i> (Mérat) B.Bock, 2012	tacul	2020
Asteraceae	<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> var. <i>helvetica</i> (Mérat) B.Bock, 2012	talefre	2020
Asteraceae	<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> var. <i>helvetica</i> (Mérat) B.Bock, 2012	talefre	1868
Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i> Vill., 1779	couvercle	2020
Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i> Vill., 1779	couvercle	1868
Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i> Vill., 1779	leschaux	2020
Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i> Vill., 1779	tacul	2020
Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i> Vill., 1779	talefre	2020
Crassulaceae	<i>Sedum alpestre</i> Vill., 1779	talefre	1868
Crassulaceae	<i>Sedum dasyphyllum</i> L., 1753	leschaux	1868
Selaginellaceae	<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.Beauv. ex Schrank & Mart., 1829	tacul	2020
Selaginellaceae	<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.Beauv. ex Schrank & Mart., 1829	leschaux	1868
Crassulaceae	<i>Sempervivum arachnoideum</i> L.	talefre	1865
Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i> L., 1753	couvercle	2020
Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i> L., 1753	leschaux	2020
Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i> L., 1753	leschaux	1868
Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i> L., 1753	tacul	2020
Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i> L., 1753	talefre	2020
Crassulaceae	<i>Sempervivum montanum</i> L., 1753	talefre	1868
Asteraceae	<i>Senecio doronicum</i> (L.) L., 1759	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Senecio doronicum</i> (L.) L., 1759	leschaux	2020
Rosaceae	<i>Sibbaldia procumbens</i> L., 1753	couvercle	2020
Rosaceae	<i>Sibbaldia procumbens</i> L., 1753	leschaux	2020
Rosaceae	<i>Sibbaldia procumbens</i> L., 1753	leschaux	1868
Rosaceae	<i>Sibbaldia procumbens</i> L., 1753	talefre	2020
Rosaceae	<i>Sibbaldia procumbens</i> L., 1753	talefre	1868
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	couvercle	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	couvercle	1868
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	grands_mulets	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	grands_mulets	1868
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	heureux-retour	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	heureux-retour	1787
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	leschaux	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	leschaux	1868
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	tacul	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	tacul	1868
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	talefre	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	talefre	1868
Caryophyllaceae	<i>Silene nutans</i> L., 1753	couvercle	2020
Caryophyllaceae	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke, 1869	couvercle	2020
Primulaceae	<i>Soldanella alpina</i> L., 1753	leschaux	2020
Primulaceae	<i>Soldanella alpina</i> L., 1753	tacul	2020
Asteraceae	<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>minuta</i> (L.) Arcang., 1882	couvercle	2020
Asteraceae	<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>minuta</i> (L.) Arcang., 1882	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>minuta</i> (L.) Arcang., 1882	leschaux	1868
Asteraceae	<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>minuta</i> (L.) Arcang., 1882	talefre	1868
Asteraceae	<i>Taraxacum panalpinum</i> Soest, 1959	leschaux	2020
Asteraceae	<i>Taraxacum panalpinum</i> Soest, 1959	talefre	2020
Asteraceae	<i>Taraxacum panalpinum</i> Soest, 1959	talefre	1868
Ranunculaceae	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> L., 1753	couvercle	2020
Santalaceae	<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	couvercle	2020
Santalaceae	<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	leschaux	2020
Santalaceae	<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	leschaux	1868
Santalaceae	<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	tacul	2020
Cyperaceae	<i>Trichophorum cespitosum</i> (L.) Hartm., 1849	leschaux	2020
Cyperaceae	<i>Trichophorum cespitosum</i> (L.) Hartm., 1849	leschaux	1868
Lamiaceae	<i>Thymus polytrichus</i> A.Kern. ex Borbás, 1890	couvercle	2020
Lamiaceae	<i>Thymus polytrichus</i> A.Kern. ex Borbás, 1890	leschaux	2020

Table Sx1. List of plant species observed in the study nunataks.

Fabaceae	Trifolium alpinum L., 1753	couvercle	2020
Fabaceae	Trifolium alpinum L., 1753	couvercle	1868
Fabaceae	Trifolium alpinum L., 1753	leschaux	2020
Fabaceae	Trifolium alpinum L., 1753	tacul	2020
Fabaceae	Trifolium alpinum L., 1753	talefre	2020
Fabaceae	Trifolium alpinum L., 1753	talefre	1868
Fabaceae	Trifolium pallescens Schreb., 1804	leschaux	2020
Fabaceae	Trifolium pallescens Schreb., 1804	leschaux	1868
Poaceae	Trisetum spicatum (L.) K.Richt., 1890	grands_mulets	2020
Poaceae	Trisetum spicatum (L.) K.Richt., 1890	grands_mulets	1868
Ericaceae	Vaccinium myrtillus L., 1753	couvercle	2020
Ericaceae	Vaccinium myrtillus L., 1753	leschaux	2020
Ericaceae	Vaccinium myrtillus L., 1753	tacul	2020
Ericaceae	Vaccinium myrtillus L., 1753	talefre	2020
Ericaceae	Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum (Lange) Tolm., 1936	couvercle	2020
Ericaceae	Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum (Lange) Tolm., 1936	leschaux	2020
Ericaceae	Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum (Lange) Tolm., 1936	leschaux	1868
Ericaceae	Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum (Lange) Tolm., 1936	tacul	2020
Ericaceae	Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum (Lange) Tolm., 1936	talefre	2020
Ericaceae	Vaccinium vitis-idaea L., 1753	couvercle	2020
Ericaceae	Vaccinium vitis-idaea L., 1753	leschaux	2020
Ericaceae	Vaccinium vitis-idaea L., 1753	leschaux	1868
Ericaceae	Vaccinium vitis-idaea L., 1753	tacul	2020
Melanthiaceae	Veratrum album L., 1753	couvercle	2020
Melanthiaceae	Veratrum album L., 1753	leschaux	2020
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	couvercle	2020
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	couvercle	1868
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	leschaux	2020
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	tacul	2020
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	tacul	1868
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	talefre	2020
Plantaginaceae	Veronica alpina L., 1753	talefre	1868
Plantaginaceae	Veronica aphylla L., 1753	talefre	1868
Plantaginaceae	Veronica bellidioides L., 1753	couvercle	2020
Plantaginaceae	Veronica bellidioides L., 1753	couvercle	1868
Plantaginaceae	Veronica bellidioides L., 1753	leschaux	2020
Plantaginaceae	Veronica bellidioides L., 1753	leschaux	1868
Plantaginaceae	Veronica bellidioides L., 1753	talefre	2020
Plantaginaceae	Veronica bellidioides L., 1753	talefre	1868
Plantaginaceae	Veronica fruticans Jacq., 1762	couvercle	2020
Plantaginaceae	Veronica fruticans Jacq., 1762	leschaux	1868
Violaceae	Viola biflora L., 1753	couvercle	2020
Violaceae	Viola biflora L., 1753	couvercle	1868
Violaceae	Viola biflora L., 1753	leschaux	2020
Violaceae	Viola calcarata L., 1753	couvercle	2020
Violaceae	Viola calcarata L., 1753	couvercle	1868

Table Sx2. List of herbarium samples.

CDREF	FAMILY	FULL_NAME	ISLET	GMH_NUMBER
80183	Asteraceae	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern., 1871	Leschaux	MHNGr.2022.49566
80190	Asteraceae	Adenostyles leucophylla (Willd.) Rchb., 1831	Leschaux	MHNGr.2022.49567
80564	Poaceae	Agrostis alpina Scop., 1771	Couvercle	MHNGr.2022.49507
80729	Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	Couvercle	MHNGr.2022.49508
80729	Poaceae	Agrostis rupestris All., 1785	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49540
81033	Rosaceae	Alchemilla alpina L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49509
81075	Rosaceae	Alchemilla fissa Günther & Schummel, 1819	Leschaux	MHNGr.2022.49568
81076	Rosaceae	Alchemilla flabellata Buser, 1891	Couvercle	MHNGr.2022.49510
81076	Rosaceae	Alchemilla flabellata Buser, 1891	Leschaux	MHNGr.2022.49569
81171	Rosaceae	Alchemilla subsericea Reut., 1854	Couvercle	MHNGr.2022.49511
999999	Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher & S.Ibanez, 2020	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49541
999999	Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher & S.Ibanez, 2020	Heureux-Retour	MHNGr.2022.49564
999999	Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher & S.Ibanez, 2020	Leschaux	MHNGr.2022.49570
999999	Primulaceae	Androsace saussurei Dentant, Lavergne, F.Boucher & S.Ibanez, 2020	Talèfre	MHNGr.2022.49598
82914	Poaceae	Anthoxanthum alpinum Á.Löve & D.Löve, 1948	Couvercle	MHNGr.2022.49512
83279	Brassicaceae	Arabis alpina L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49542
83528	Ericaceae	Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng., 1825	Tacul	MHNGr.2022.49593
83546	Caryophyllaceae	Arenaria biflora L., 1767	Couvercle	MHNGr.2022.49513
84998	Athyriaceae	Athyrium distentifolium Tausch ex Opiz, 1820	Talèfre	MHNGr.2022.49599
85720	Asteraceae	Bellidiastrum michelii Cass., 1817	Leschaux	MHNGr.2022.49571
85903	Betulaceae	Betula pendula Roth, 1788	Couvercle	MHNGr.2022.49514
87724	Campanulaceae	Campanula scheuchzeri Vill., 1779	Couvercle	MHNGr.2022.49515
87724	Campanulaceae	Campanula scheuchzeri Vill., 1779	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49543
87970	Brassicaceae	Cardamine resedifolia L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49544
88708	Cyperaceae	Carex myosuroides Vill., 1779	Leschaux	MHNGr.2022.49572
88756	Cyperaceae	Carex parviflora Host, 1801	Leschaux	MHNGr.2022.49573
90071	Caryophyllaceae	Cerastium pedunculatum Gaudin, 1828	Couvercle	MHNGr.2022.49516
94267	Orchidaceae	Dactylorhiza majalis (Rchb.) P.F.Hunt & Summerh., 1965	Couvercle	MHNGr.2022.49517
95313	Brassicaceae	Draba fladnizensis Wulfen, 1779	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49545
95313	Brassicaceae	Draba fladnizensis Wulfen, 1779	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49546
95567	Dryopteridaceae	Dryopteris filix-mas (L.) Schott, 1834	Talèfre	MHNGr.2022.49600
134095	Ericaceae	Empetrum nigrum subsp. hermaphroditum (Hagerup) Böcher, 1952	Tacul	MHNGr.2022.49594
134114	Onagraceae	Epilobium dodonaei subsp. fleischeri (Hochst.) Schinz & Thell., 1923	Leschaux	MHNGr.2022.49574
96736	Asteraceae	Erigeron alpinus L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49518
96816	Asteraceae	Erigeron uniflorus L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49519
96816	Asteraceae	Erigeron uniflorus L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49547
96844	Cyperaceae	Eriophorum angustifolium Honck., 1782	Talèfre	MHNGr.2022.49601
97785	Orobanchaceae	Euphrasia picta Wimm., 1857	Couvercle	MHNGr.2022.49520
97785	Orobanchaceae	Euphrasia picta Wimm., 1857	Leschaux	MHNGr.2022.49575
98272	Poaceae	Festuca halleri All., 1785	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49548
98370	Poaceae	Festuca melanopsis Foggi, Gr.Rossi & Signorini, 1999	Talèfre	MHNGr.2022.49602
99870	Gentianaceae	Gentiana brachyphylla Vill., 1779	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49549
99870	Gentianaceae	Gentiana brachyphylla Vill., 1779	Leschaux	MHNGr.2022.49576
99910	Gentianaceae	Gentiana nivalis L., 1753	Leschaux	MHNGr.2022.49577
100607	Orchidaceae	Gymnadenia conopsea (L.) R.Br., 1813	Couvercle	MHNGr.2022.49521
102013	Asteraceae	Hieracium glanduliferum Hoppe, 1815	Talèfre	MHNGr.2022.49603
102350	Asteraceae	Hieracium piliferum Hoppe, 1799	Leschaux	MHNGr.2022.49578
103034	Lycopodiaceae	Huperzia selago (L.) Bernh. ex Schrank & Mart., 1829	Tacul	MHNGr.2022.49595
103324	Hypericaceae	Hypericum richeri Vill., 1779	Couvercle	MHNGr.2022.49522
104221	Juncaceae	Juncus jacquinii L., 1767	Leschaux	MHNGr.2022.49579
105502	Asteraceae	Leontodon hispidus L., 1753	Leschaux	MHNGr.2022.49580
105765	Asteraceae	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood, 1975	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49550
106818	Juncaceae	Luzula campestris (L.) DC., 1805	Couvercle	MHNGr.2022.49523
106859	Juncaceae	Luzula spicata (L.) DC., 1805	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49551
108718	Poaceae	Molinia caerulea (L.) Moench, 1794	Couvercle	MHNGr.2022.49524
108863	Brassicaceae	Murbeckiella pinnatifida (Lam.) Rothm., 1939	Couvercle	MHNGr.2022.49525
610917	Apiaceae	Mutellina adonidifolia (J.Gay) Gutermann, 2006	Couvercle	MHNGr.2022.49526
108987	Boraginaceae	Myosotis alpestris F.W.Schmidt, 1794	Leschaux	MHNGr.2022.49581
110062	Asteraceae	Omalothea norvegica (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	Couvercle	MHNGr.2022.49527
110062	Asteraceae	Omalothea norvegica (Gunnerus) Sch.Bip. & F.W.Schultz, 1861	Leschaux	MHNGr.2022.49582
110063	Asteraceae	Omalothea supina (L.) DC., 1838	Couvercle	MHNGr.2022.49528
110063	Asteraceae	Omalothea supina (L.) DC., 1838	Couvercle	MHNGr.2022.49529
112011	Apiaceae	Pachypleurum mutellinoides (Crantz) Holub, 1983	Talèfre	MHNGr.2022.49605
113381	Campanulaceae	Phyteuma hemisphaericum L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49552
717382	Asteraceae	Pilosella glacialis (Reyn. ex Lachen.) F.W.Schultz & Sch.Bip., 1862	Talèfre	MHNGr.2022.49606
114105	Poaceae	Poa alpina L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49553
114262	Poaceae	Poa laxa Haenke, 1791	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49554
114262	Poaceae	Poa laxa Haenke, 1791	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49555
114262	Poaceae	Poa laxa Haenke, 1791	Heureux-Retour	MHNGr.2022.49565
114297	Poaceae	Poa nemoralis L., 1753	Talèfre	MHNGr.2022.49607

Table Sx2. List of herbarium samples.

115486 Rosaceae	<i>Potentilla frigida</i> Vill., 1788	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49556
115875 Primulaceae	<i>Primula hirsuta</i> All., 1773	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49557
116543 Ericaceae	<i>Pyrola minor</i> L., 1753	Leschaux	MHNGr.2022.49583
117222 Ranunculaceae	<i>Ranunculus sartorianus</i> Boiss. & Heldr., 1854	Leschaux	MHNGr.2022.49584
117222 Ranunculaceae	<i>Ranunculus sartorianus</i> Boiss. & Heldr., 1854	Talèfre	MHNGr.2022.49608
117601 Orobanchaceae	<i>Rhinanthus glacialis</i> Personnat, 1863	Couvercle	MHNGr.2022.49530
118397 Rosaceae	<i>Rosa pendulina</i> L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49531
119827 Caryophyllaceae	<i>Sagina saginoides</i> (L.) H.Karst., 1882	Leschaux	MHNGr.2022.49585
119827 Caryophyllaceae	<i>Sagina saginoides</i> (L.) H.Karst., 1882	Talèfre	MHNGr.2022.49604
119933 Salicaceae	<i>Salix appendiculata</i> Vill., 1789	Couvercle	MHNGr.2022.49532
119933 Salicaceae	<i>Salix appendiculata</i> Vill., 1789	Couvercle	MHNGr.2022.49533
120056 Salicaceae	<i>Salix helvetica</i> Vill., 1789	Couvercle	MHNGr.2022.49534
120056 Salicaceae	<i>Salix helvetica</i> Vill., 1789	Leschaux	MHNGr.2022.49586
120056 Salicaceae	<i>Salix helvetica</i> Vill., 1789	Tacul	MHNGr.2022.49596
120057 Salicaceae	<i>Salix herbacea</i> L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49535
120988 Saxifragaceae	<i>Saxifraga bryoides</i> L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49558
121047 Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> Vill., 1779	Couvercle	MHNGr.2022.49536
121047 Saxifragaceae	<i>Saxifraga exarata</i> Vill., 1779	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49559
121115 Saxifragaceae	<i>Saxifraga moschata</i> Wulfen, 1781	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49560
121132 Saxifragaceae	<i>Saxifraga oppositifolia</i> L., 1753	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49561
141110 Caryophyllaceae	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i> (Jord.) Nyman, 1878	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49562
125687 Asteraceae	<i>Taraxacum panalpinum</i> Soest, 1959	Leschaux	MHNGr.2022.49587
126287 Santalaceae	<i>Thesium alpinum</i> L., 1753	Tacul	MHNGr.2022.49597
126563 Lamiaceae	<i>Thymus polytrichus</i> A.Kern. ex Borbás, 1890	Couvercle	MHNGr.2022.49537
126563 Lamiaceae	<i>Thymus polytrichus</i> A.Kern. ex Borbás, 1890	Leschaux	MHNGr.2022.49588
127193 Cyperaceae	<i>Trichophorum cespitosum</i> (L.) Hartm., 1849	Leschaux	MHNGr.2022.49589
127419 Fabaceae	<i>Trifolium pallescens</i> Schreb., 1804	Leschaux	MHNGr.2022.49590
127419 Fabaceae	<i>Trifolium pallescens</i> Schreb., 1804	Leschaux	MHNGr.2022.49591
127678 Poaceae	<i>Trisetum spicatum</i> (L.) K.Richt., 1890	Grands-Mulets	MHNGr.2022.49563
128345 Ericaceae	<i>Vaccinium myrtillus</i> L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49538
128355 Ericaceae	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., 1753	Couvercle	MHNGr.2022.49539
128789 Plantaginaceae	<i>Veronica alpina</i> L., 1753	Leschaux	MHNGr.2022.49592

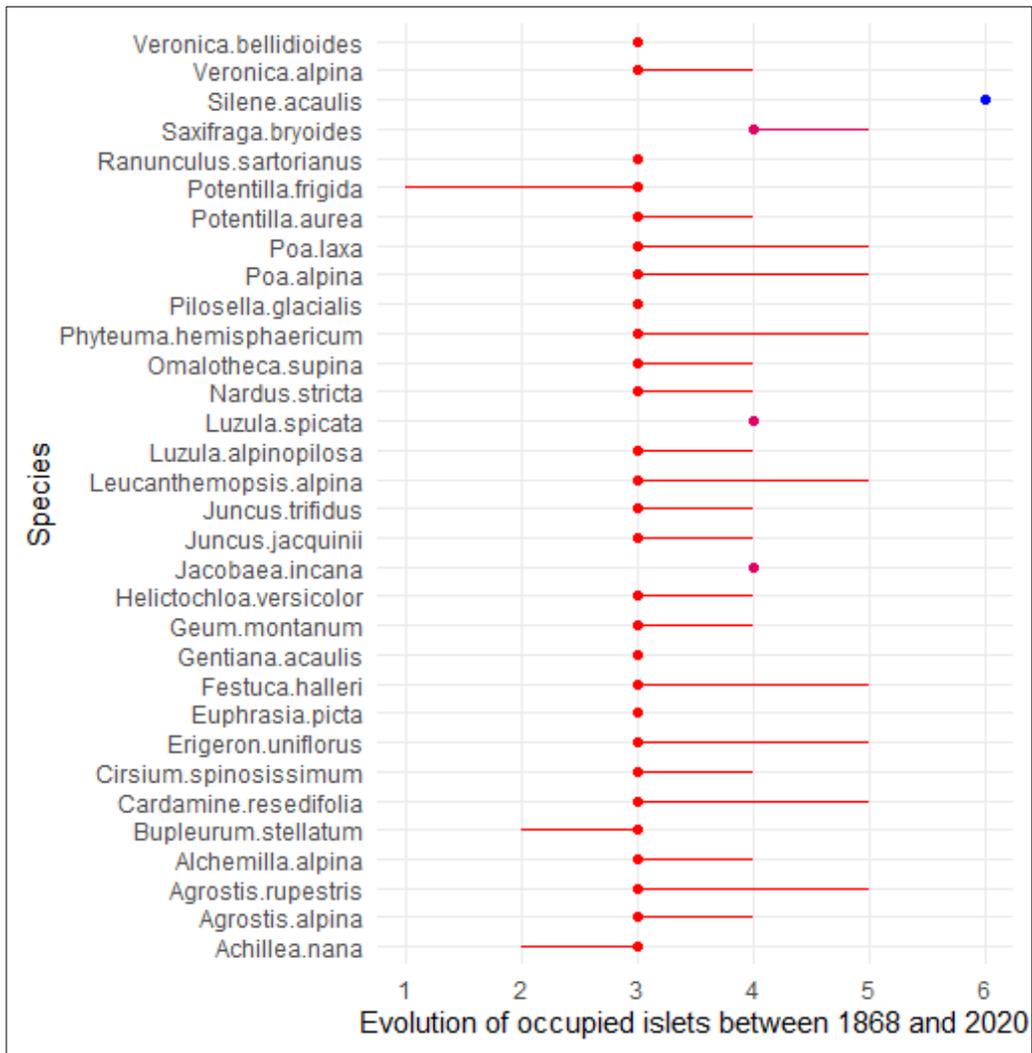


FIGURE Sx1. Temporal trends of nunatak occupancy for the species occupying at least half of the nunataks in 1868.

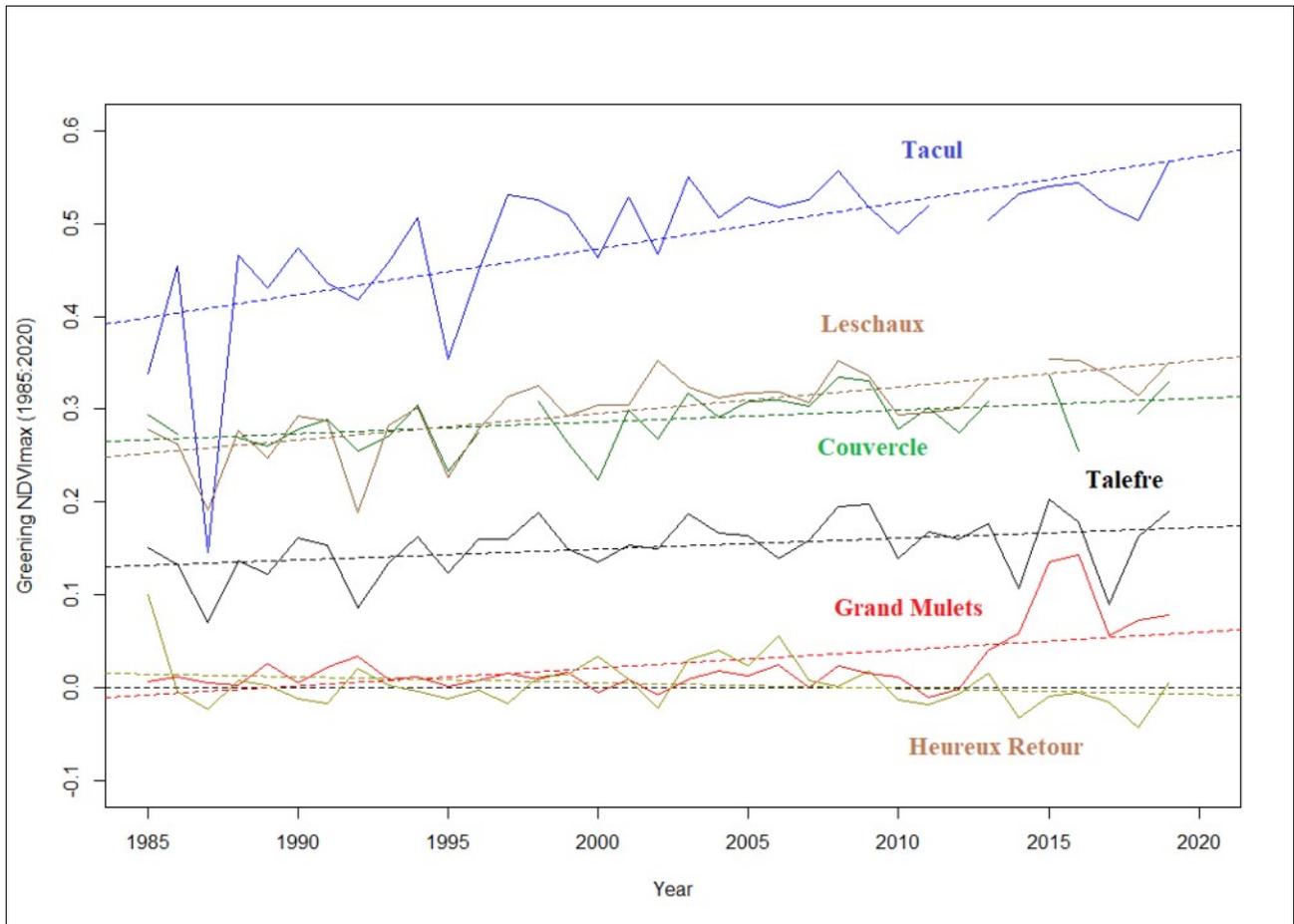


FIGURE Sx2. Temporal changes of greening signal (expressed in $\text{NDVImax}\cdot\text{year}^{-1}$) for all study nunataks between 1985 and 2020.

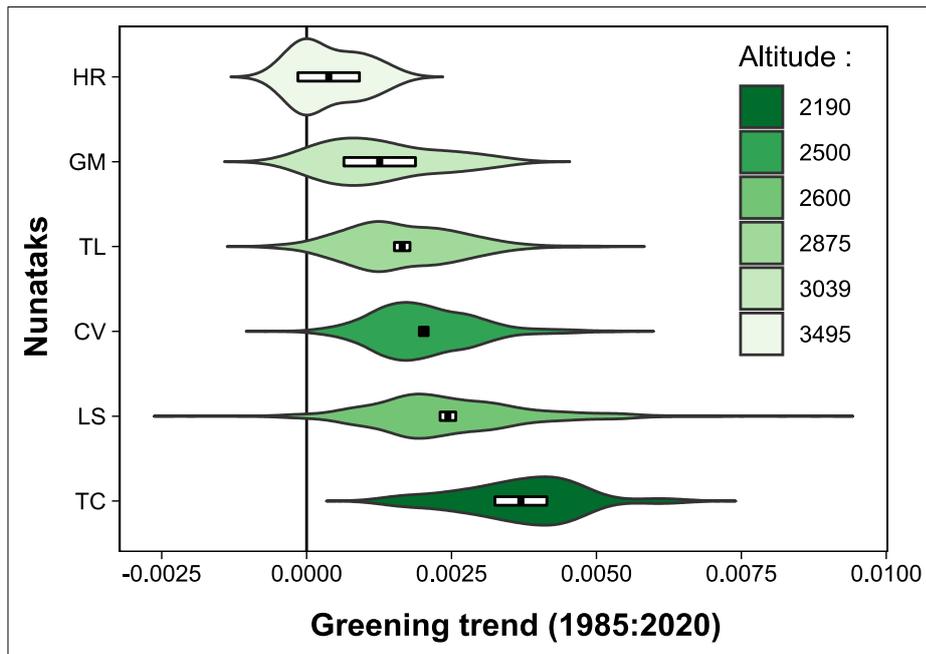


FIGURE Sx3. Violin plots depicting the dispersion of greening trend values ($\Delta\text{NDVI}>o$) for all study nunataks. The legend indicates each nunatak's altitude.

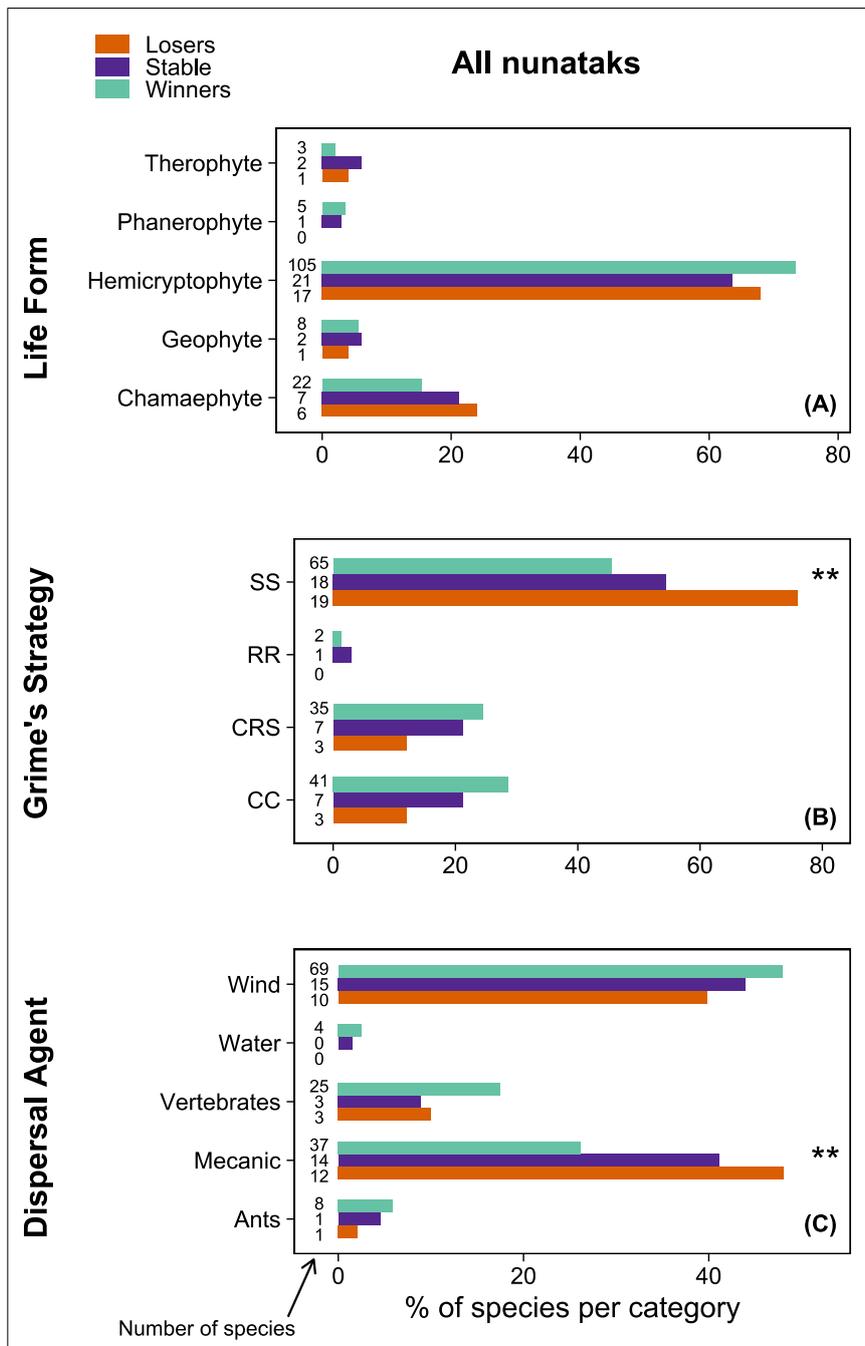


FIGURE Sx4. Contingency tables of species traits and classes of temporal dynamics, across all study nunataks : Life forms (A), Grime's Strategies (B), Dispersal Agents (C). (p-value<0.1 *, p-value<0.05 **).

Annexe III

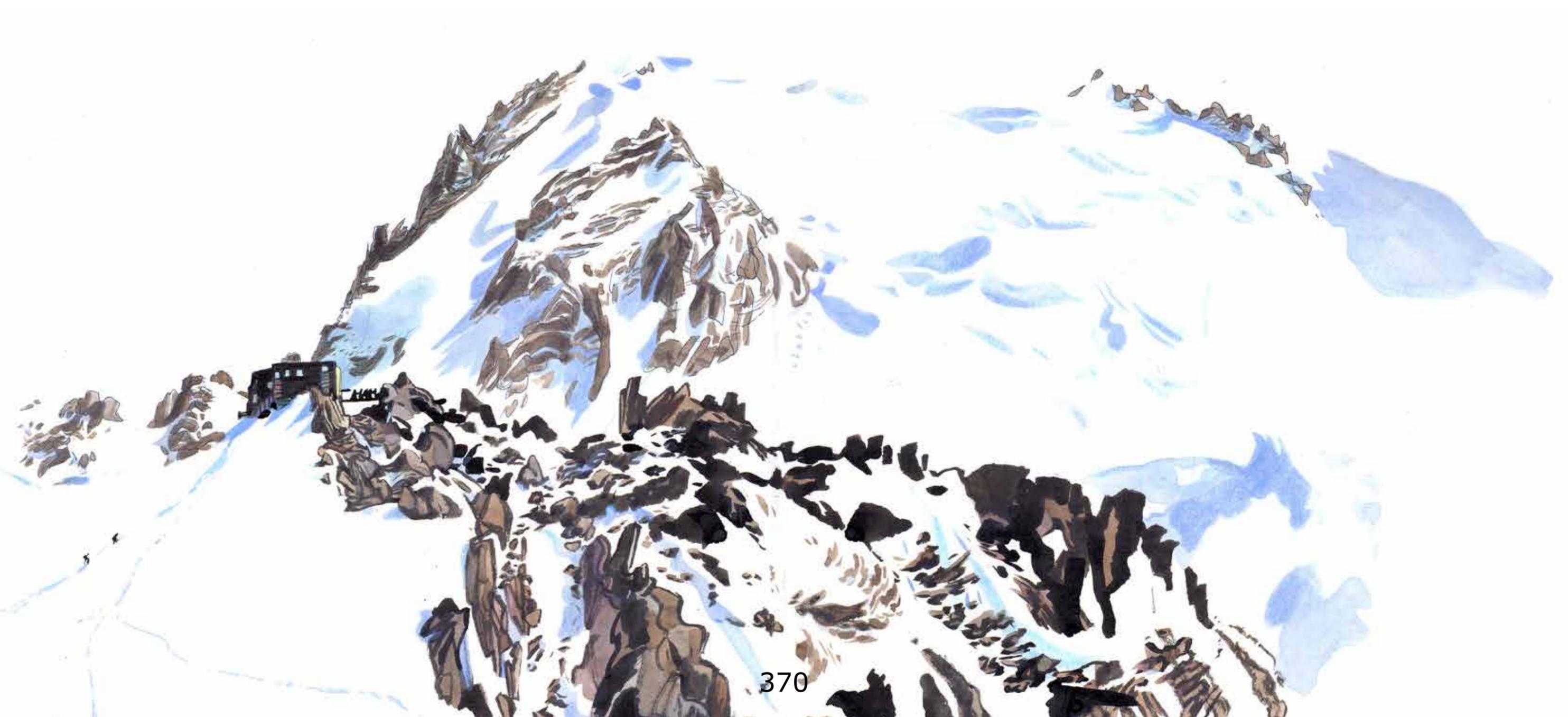
A LA FRONTIÈRE DU VIVANT

(TITRE PROVISOIRE)

Bande dessinée du réel

CÉCILE GUILLARD & CÉDRIC DENTANT

EN PARTENARIAT AVEC LE PARC DES ECRINS



INTENTION

Dans ce grand tout sale et mal rangé baptisé « nature », comment parvient-on à distinguer autant d'espèces – ces unités aussi floues que merveilleusement pratiques pour parler de biodiversité – alors même que nous vivons paradoxalement la 6e grande extinction du vivant ?

Voilà une question double qui implique à la fois notre tentative de compréhension du vivant autant que la relation que nous avons perdue avec lui. Notre usage boulimique du monde et l'asservissement des espèces est ici le moteur d'une extinction sans équivalent par sa rapidité. Et cette fois-ci, impossible d'incriminer une météorite exogène ou un volcanisme lunatique.

Très vaste question, qui pour être abordée avec un tant soit peu de pertinence, nécessite un focus, un cas illustratif. Alors nous avons décidé de prendre un peu de hauteur, au sens littéral du terme : aller en haute montagne. Voilà un espace de la biosphère tout à fait marginal, infiniment moins investi par les sciences du vivant (écologie, biologie) que ne l'ont été les déserts ou les abysses. Considérée comme un désert de cailloux et de glace, la haute montagne serait inapte à la vie car inapte à la nôtre. On pourrait sommairement la caractériser par l'aspect suivant : plus on monte, plus il fait froid ! C'est donc une chose d'y aller, c'en est une autre d'y rester. Car même si nous ne les voyons pas, certaines espèces restent à demeure là-haut, développent des trésors d'adaptation pour vivre dans un environnement aussi extrême. Souvent invisibilisées car moins proches de nous que les grosses bêtes dans lesquelles nous nous projetons aussi facilement qu'inconsciemment, les plantes sont celles qui atteignent crânement les limites du vivant. Plus loin que n'importe quel animal à poils ou à plumes. Elles sont de beaux exemples de la « fureur de vivre » propre à la nature.

C'est en s'immergeant dans cet espace singulier, et plus particulièrement dans le parc national des Écrins, que les auteurs tentent de donner vie à ces questionnements scientifiques (la diversité du vivant et ses changements), à celles et ceux qui essaient d'y répondre (les scientifiques), et peut-être plus encore à ces étonnantes plantes qui peuplent cette frontière du vivant. Une aventure mêlant sans scrupule rage de (sur)vivre et une science « en action » (1), avec l'ambition démesurée d'enfin voir et se réconcilier avec cette « part sauvage du monde » (2).

1 Titre d'un ouvrage du philosophe Bruno Latour (1987)

2 Titre d'un ouvrage de la philosophe Virginie Maris (2018)

LE TERRAIN

INVENTAIRE GÉNÉRALISÉ DE LA BIODIVERSITÉ COMMUNE DE CROTS, HAUTES-ALPES JUN 2022

Regroupement en un territoire et un temps donné d'une 20aine de spécialistes taxinomistes (insectes, mollusques, plantes, etc) pour inventorier et possiblement découvrir un maximum d'espèces. Et ainsi faire une « photographie » la plus panoramique possible de la biodiversité présente.

*

SUIVI D'UN ÉCOSYSTÈME « INSULAIRE » DE MONTAGNE MONT AIGUILLE, ISÈRE JUN 2022

Suivi d'une végétation singulière jamais impactée par l'humain, sur un site totalement hors norme, lieu de la première ascension de « l'inutile » : le Mont Aiguille, autrefois appelé « Mont imprenable » (jusqu'en 1492) . Ce travail se déroulera avec une équipe de l'INRAe (Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement).

*

ALPINISME ET IMMERSION EN HAUTE MONTAGNE POUR L'OBSERVATION DE PLANTES ECRINS JUILLET 2022

Parcours de plusieurs jours dans un espace spectaculaire (cœur des Ecrins), sur des localités d'espèces phares de la haute altitude. Passage en refuges, sur glaciers, etc.

*

MUSÉUM ET CONSERVATION DES SPÉCIMENS EN HERBIER INSTITUTIONNEL GRENOBLE MARS 2022

Dépot de parts d'herbiers issus de la caractérisation d'espaces atypiques de la haute montagne et d'espèces nouvelles pour la science. Visite de l'institution où s'est construite la notion même de biodiversité végétale.



VISUELLEMENT

Sacré défi de vouloir faire ressentir au lecteur ce que l'on ne voit pas. Comment montrer ce que l'on ne connaît pas ? C'est par un dessin sensible et expressif que je souhaite mener mon récit, à la recherche de l'invisible et de l'éphémère.

Les 4 reportages immersifs me permettront de capter et de recueillir des sensations et un savoir inédits. Ce contact privilégié avec des spécialistes est l'opportunité d'allier la science et l'art, afin d'interroger notre relation complexe et ambiguë avec le vivant. Notre album racontera cette histoire par le biais de Cédric et des personnalités que nous rencontrerons.

Ce roman graphique sera ainsi nourri par l'expérience sur le terrain et nos échanges avec Cédric. Il sera le reflet d'une réflexion en cours, intime et sensible, qui donnera à voir la beauté du monde.

Les croquis réalisés sur le vif cet été pourraient être intégrés au récit, ou à la fin de l'ouvrage, à la manière d'un carnet de bord. Cet engagement physique sur le terrain, préliminaire à l'écriture du scénario, est primordial dans notre démarche d'auteurs.

LES AUTEURS

CÉDRIC DENTANT

Botaniste, alpiniste et auteur, Cédric est recruté en 2009 au service scientifique du Parc national des Écrins. Il travaille avec différentes équipes de recherche sur la flore de haute altitude des Alpes, des Andes tropicales et de l'Himalaya. Cette recherche collaborative a notamment permis la description de plusieurs nouvelles espèces de plantes aux limites altitudinales du vivant. Il mène enfin depuis quelques années des recherches sur l'écologie historique et l'histoire des sciences sur cette marge terrestre que sont les montagnes.

*

OUVRAGES

Flora verticalis (2017) Ed. Le Naturographe
Et si Darwin avait été alpiniste ? (2020) Ed. Le Naturographe

ARTICLES SCIENTIFIQUES (SÉLECTION)

Dentant C. (2018) : *The highest vascular plants on Earth*
Revue : *Alpine Botany* (n. 128, volume 2)
<http://dx.doi.org/10.1007/s00035-018-0208-3>

Boucher, F.C., Dentant, C., Ibanez, S., Capblancq, T., Boleda, M., Boulangeat, L., Smyka, J., Roquet, C., & Lavergne, S. (2021) : *Discovery of cryptic plant diversity on the rooftops of the Alps*
Revue : *Nature-Scientific Reports* (n. 11, volume 1)
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-90612-w>

Dentant C., Lavergne S. (2013) : *Plantes de haute montagne: état des lieux, évolution et analyse diachronique dans le massif des Écrins* (France)
Revue : *Bulletin de la Société linnéenne de Provence* (n. 64)

Marx HE, Dentant C, Renaud J, Delunel R, Tank DC, Lavergne S. (2017) *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*
Revue : *Journal of Biogeography* (n. 44, volume 11)

CÉCILE GUILLARD

Autrice de bande dessinée passionnée par le vivant, Cécile s'est formée en illustration (Ecole Estienne) et en cinéma d'animation (Les Gobelins) afin de pouvoir dire le monde à travers le dessin.

Le besoin de se confronter au réel et d'interroger notre rapport à l'autre l'amènent à explorer de nouveaux territoires, et à envisager des récits sensibles en tant qu'autrice complète.

*

BANDE DESSINÉE

Cent mille ans, Bure ou le scandale enfoui des déchets nucléaires, (2020) co-édition La Revue Dessinée/Le Seuil, scénario G. D'Allens et P. Bonneau
Une vie de moche (2019), Ed. Marabulles, scénario F. Bégaudeau

PRESSE

Revue Pandora (Casterman), La Revue Dessinée, Hors Série La Revue Dessinée*Mediapart, Zadig, Socialter
Magazines Télérama, Internazionale (Italie)
Presse en ligne Reporterre, Basta

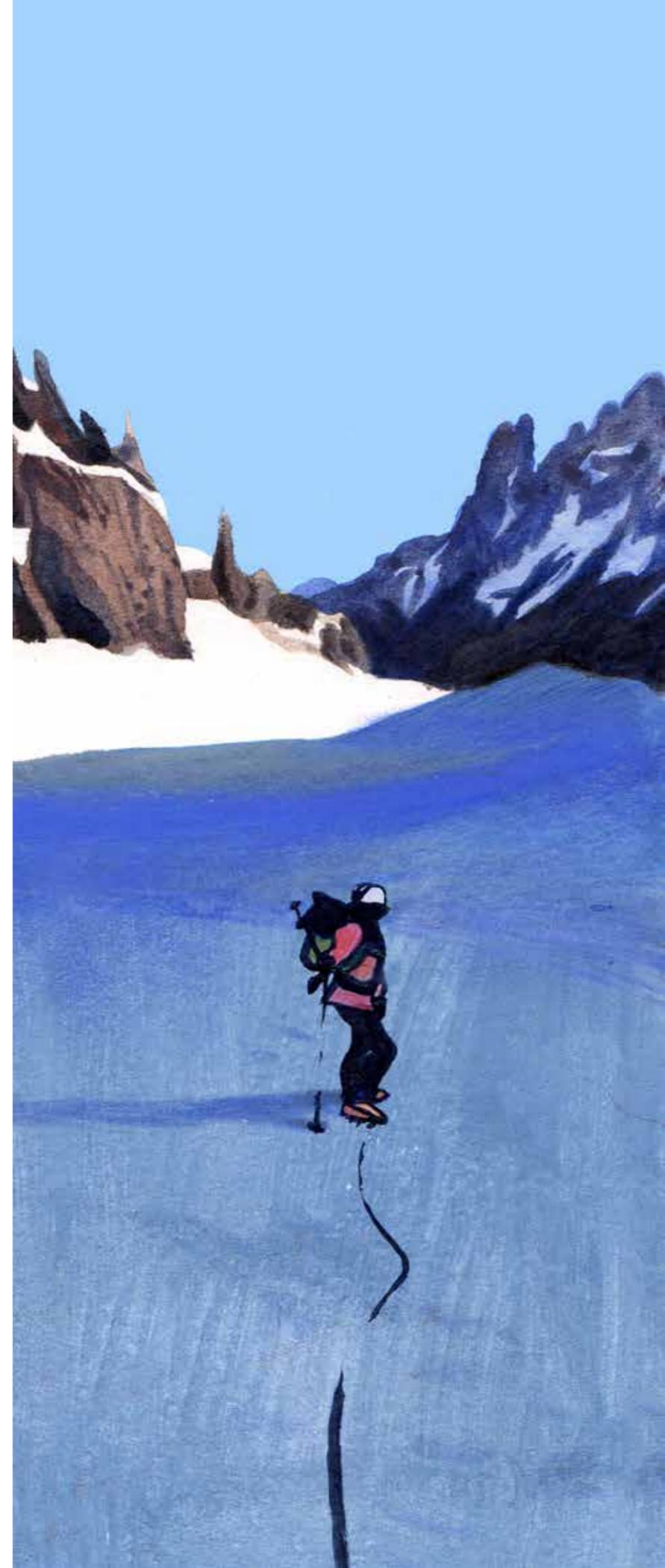
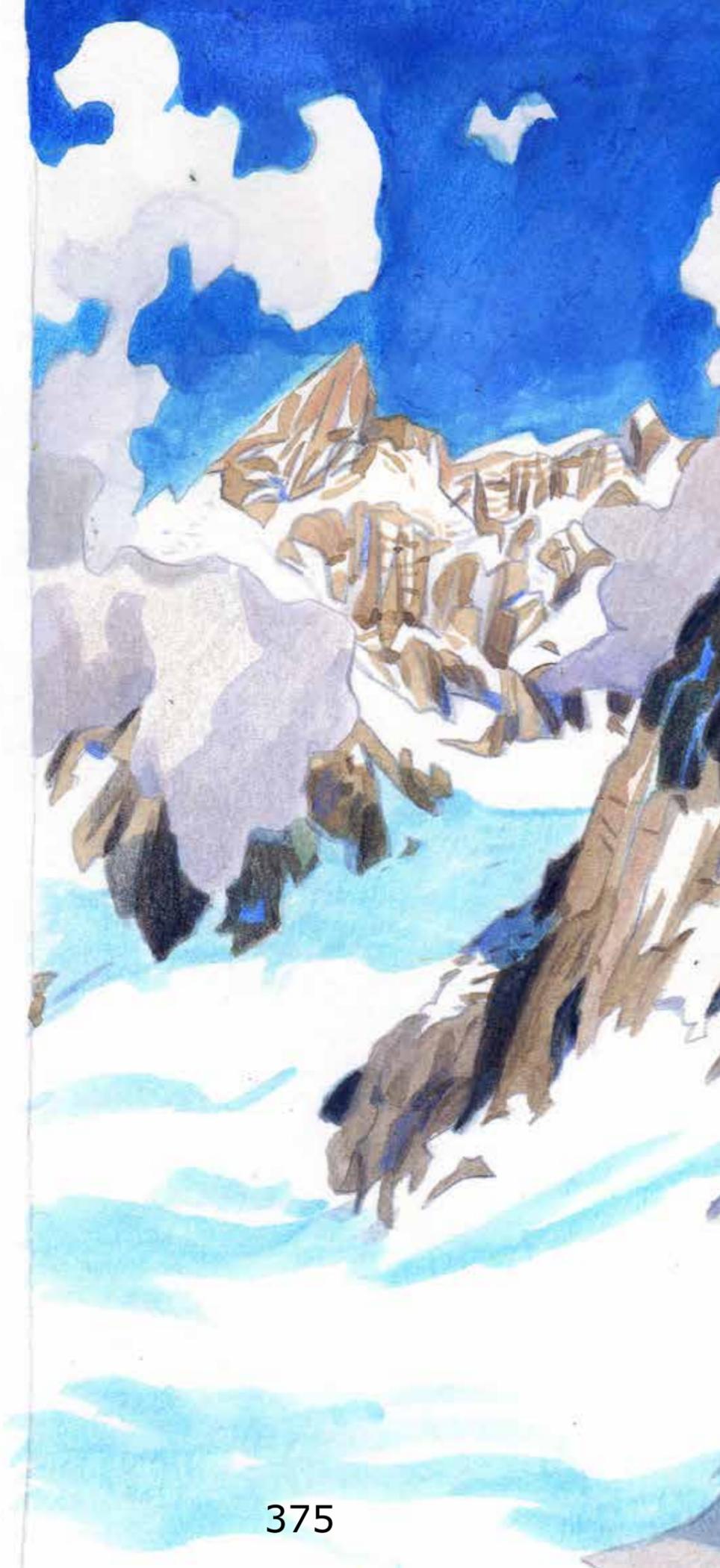
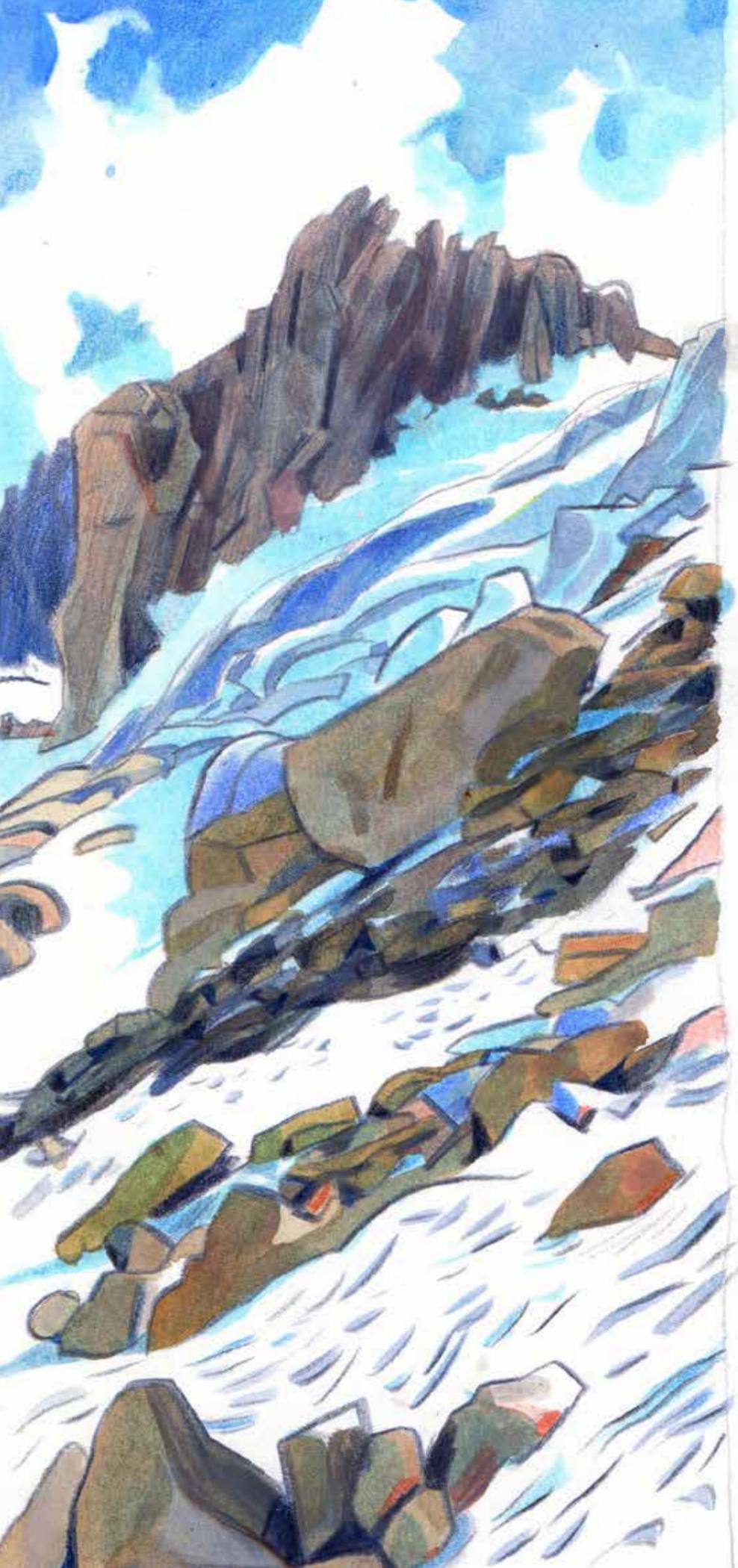
CINÉMA D'ANIMATION

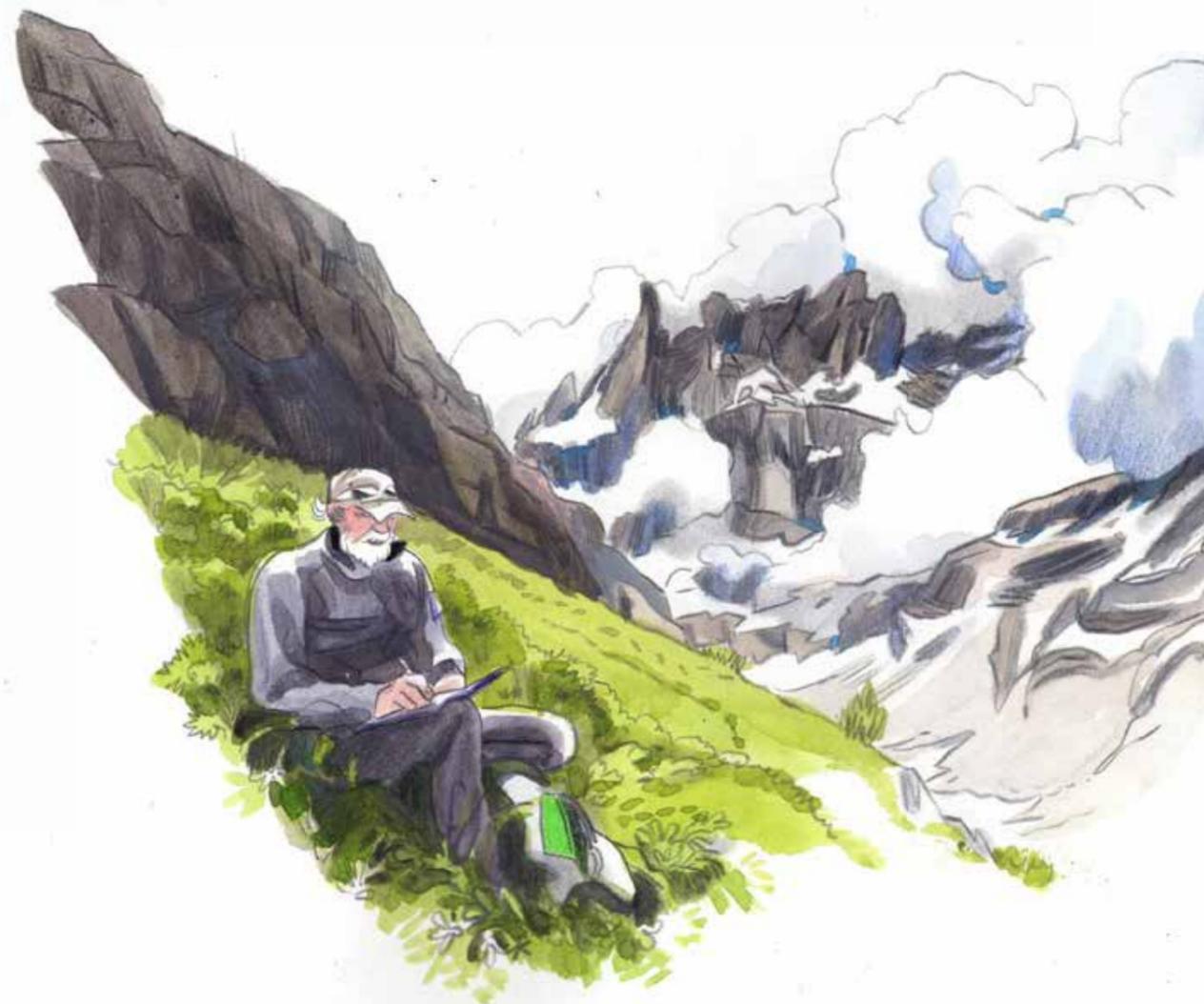
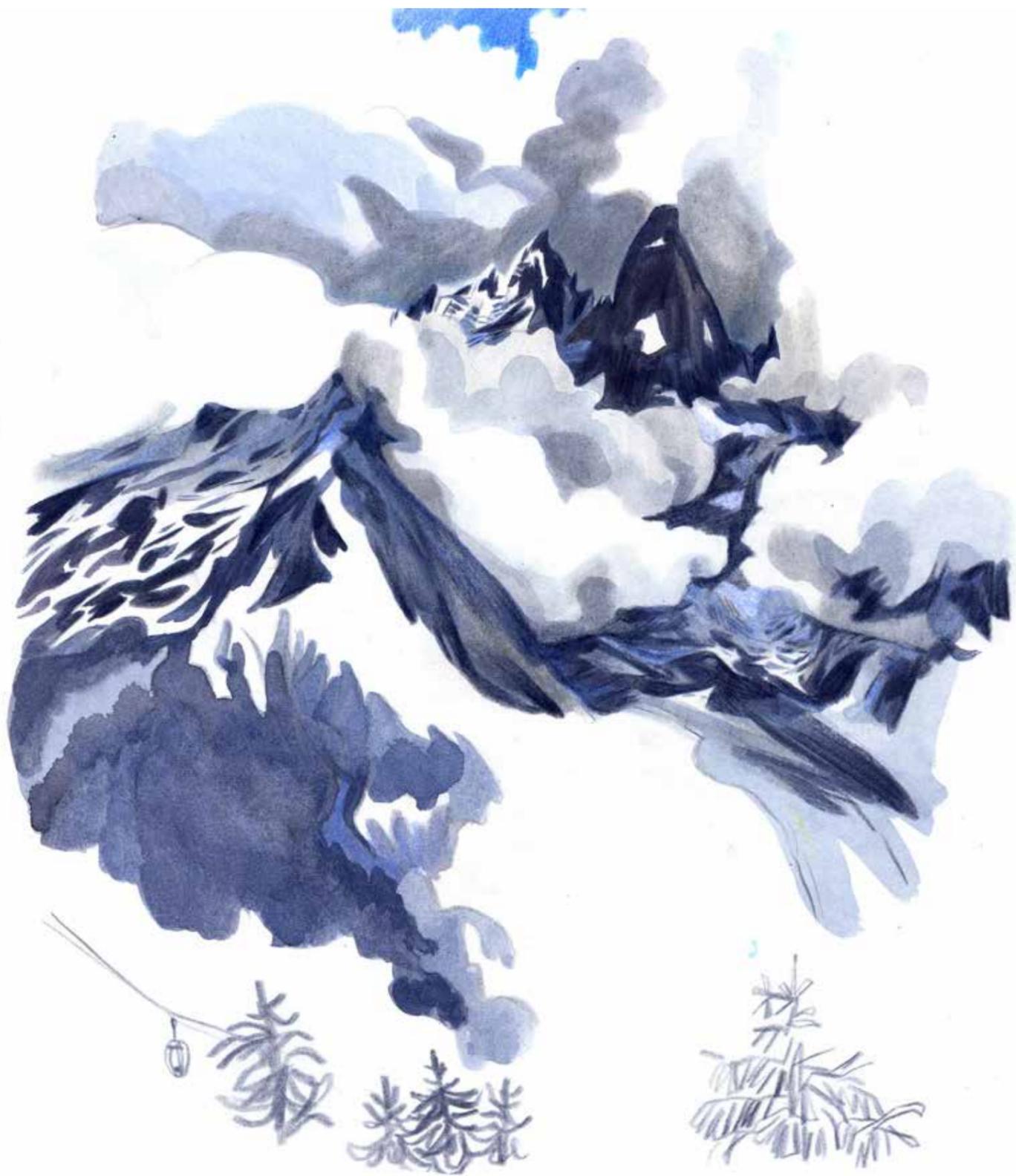
Développement visuel, storyboard et décors couleur pour des courts et longs métrages

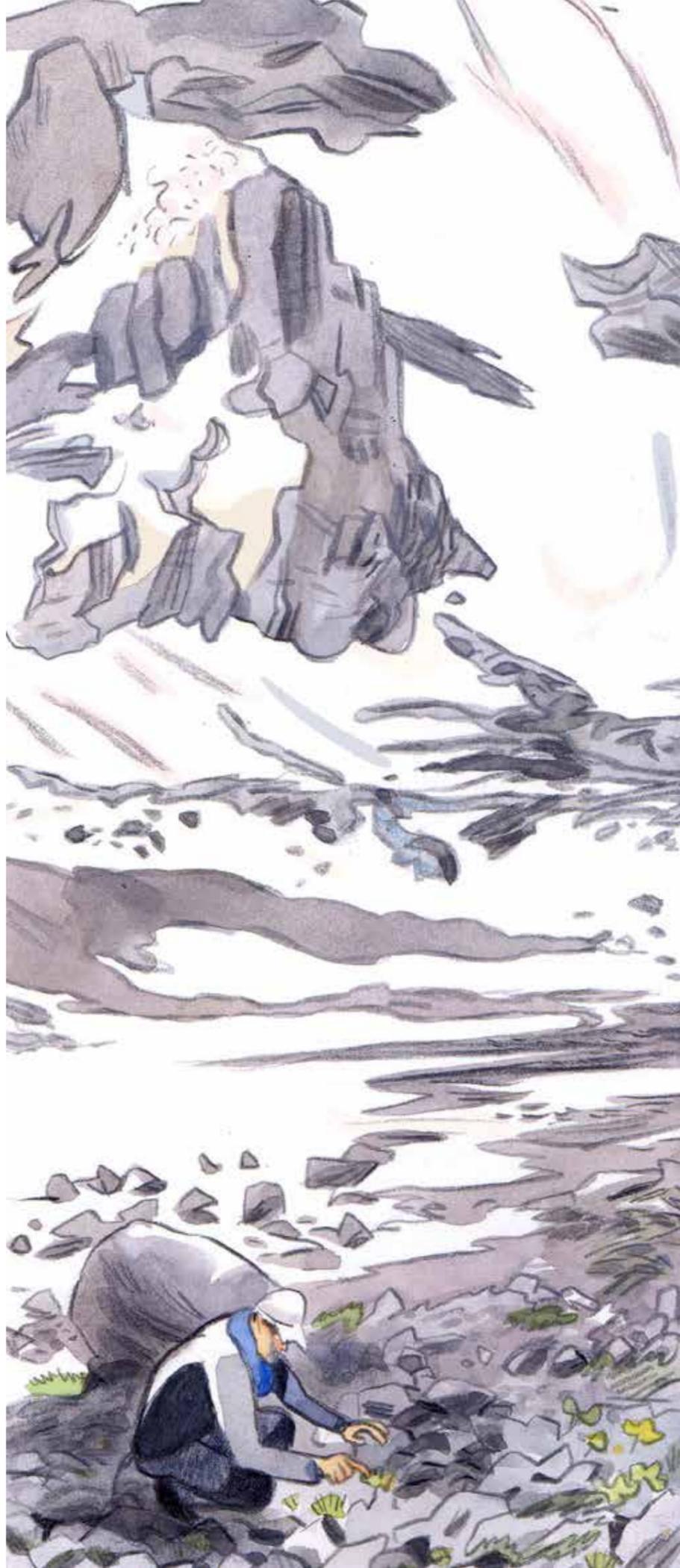
<https://cecileguillard.tumblr.com/>

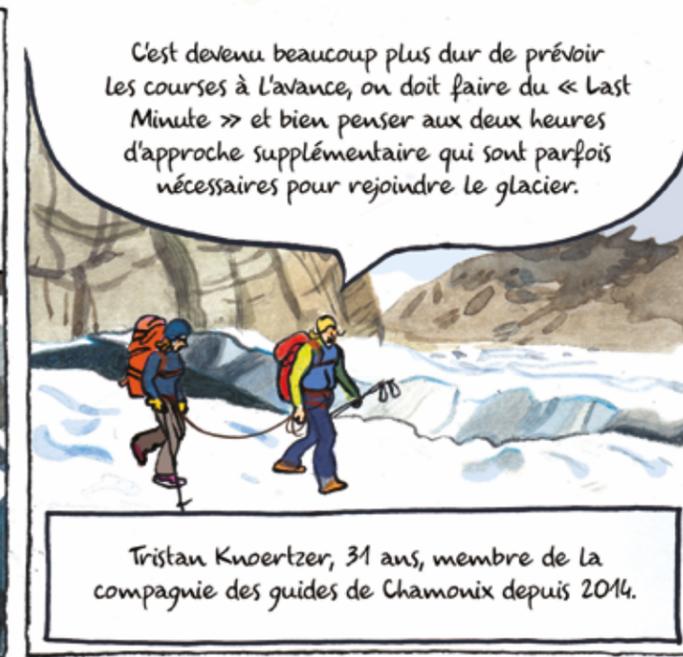
PORTFOLIO











CONTACT

CÉCILE GUILLARD
cecile.guillard@hotmail.com
06 48 60 66 00

CÉDRIC DENTANT
cedric.dentant@ecrins-parcnational.fr

