

Flore alpine et réchauffement à travers le XX^e siècle

par Pascal Vittoz¹, Sandrine Jutzeler², Antoine Guisan³

Bull. Murithienne 123: 49-59

Flore alpine et réchauffement climatique: observation de trois sommets valaisans à travers le XX^e siècle

– Le réchauffement climatique, particulièrement important dans les Alpes suisses, est susceptible d’induire un déplacement de la flore vers les sommets. Aux Grisons et en Autriche, des études précédentes ont déjà mis en évidence l’enrichissement floristique de sommets alpins depuis le début du XX^e siècle. Trois sommets valaisans sont considérés ici: le Gornergrat (avec un premier inventaire floristique en 1919), le Torrenthorn (environ 1885) et le Beaufort (environ 1920). Chaque sommet a été réinventorié en 2003 dans le cadre du projet «Permanent.Plot.ch.» Tous ont montré une forte augmentation du nombre d’espèces présentes. Au Gornergrat (3135 m), seize espèces n’ont pu être retrouvées mais trente-cinq nouvelles ont été observées, avec un total passant de cent deux à cent vingt et une, ce qui en fait un sommet exceptionnellement riche par rapport à son altitude. La richesse floristique a passé de vingt-quatre à soixante-trois espèces au Torrenthorn (2924 m) et de seize à quarante-huit au Beaufort (3048 m). Comme ailleurs, cet enrichissement semble être associé au réchauffement climatique car les nouvelles espèces sont liées, en moyenne, à des températures plus élevées que celles qui étaient déjà présentes. Au Gornergrat et au Beaufort, elles montrent un développement des pelouses alpines, alors qu’au Torrenthorn, ce sont plutôt des espèces des rochers et sols bruts qui s’installent. Cette différence pourrait être due à l’impact important des randonneurs sur la végétation de ce dernier sommet.

Mots clés

climat, Beaufort, Bourg-St-Pierre, biodiversité, flore, Gornergrat, Zermatt, Torrenthorn, Loèche-les-Bains, Guttet-Feschel, Valais

1 Université de Lausanne, Département d’écologie et d’évolution (Faculté de biologie et médecine) et Faculté des géosciences et de l’environnement, Bâtiment Biophore, CH – 1015 Lausanne, e-mail: Pascal.Vittoz@unil.ch, tél. 021 692 4270.

2 Ch. des Meules 7, 1052 Le Mont-sur-Lausanne

3 Université de Lausanne, Département d’écologie et d’évolution, Bâtiment Biophore, CH-1015 Lausanne

climatique: observation de trois sommets valaisans

Alpine flora and climate change: monitoring of three summits in Valais (Switzerland) during the 20th century

Climate change might trigger an upward shift of the flora in the Swiss Alps, especially since these experienced higher change in average than observed on a global scale. Previous investigations in the canton des Grisons (Switzerland) and Austria have revealed an increase of floristic diversity on alpine summits since the beginning of the 20th century. Three summits in Valais were revisited in this study: the Gornergrat (first inventory in 1919), the Torrenthorn (about in 1885) and the Beaufort (about in 1920). Every summit was newly inventoried in 2003 in the framework of the «Permanent.Plot.ch.» project. All showed a strong increase in species richness. On the Gornergrat (3135 m), 16 species were not found anymore, but 35 new ones were observed. The number of species on this exceptionally rich summit rose from 102 to 121. In comparison, the floristic richness increased from 24 to 63 species on the Torrenthorn (2924 m) and from 16 to 48 species on the Beaufort (3048 m). As in previous studies, this increase seems likely to be associated with climate change: the new species prefer, in average, higher temperature conditions than those previously prevailing on the summits. On the Gornergrat and Beaufort, our observations reveal a development of alpine meadows, whereas species typical of rocks and raw soils are predominantly colonising the Torrenthorn. This difference might be related to the important damage caused by wanderers on the vegetation of the Torrenthorn.

Keywords

climate, Beaufort, Bourg-St-Pierre, biodiversity, flora, Gornergrat, Zermatt, Torrenthorn, Loèche-les-Bains, Guttet-Feschel, Valais

Alpine Flora und Klimaerwärmung: Beobachtung von drei Walliser Berggipfeln im 20. Jahrhundert

Die Klimaerwärmung, besonders wichtig in den Schweizer Alpen, ist fähig, eine Bewegung der Flora in Richtung der Gipfel hervorzurufen. Im Graubünden und in Österreich haben frühere Forschungen schon eine floristische Bereicherung von alpinen Gipfeln seit Anfang des 20. Jahrhunderts bewiesen. Drei Walliser Gipfel werden hier betrachtet: der Gornergrat (mit einer ersten floristischen Bestandesaufnahme 1919), das Torrenthorn (ungefähr 1885) und der Beaufort (umgefähr 1920). Auf jedem Gipfel wurde 2003 im Rahmen des Projekts «Permanent.Plot.ch.» wieder ein Pflanzeninventar erstellt. Alle drei Bergspitzen haben eine starke Zunahme der anwesenden Arten erfahren. Auf dem Gornergrat (3135 m) wurden 16 Arten nicht wiedergefunden, jedoch 35 neue Arten gesehen. Insgesamt steigerte sich die Anzahl Arten von 102 auf 121, was ein ausnahmsweise artenreicher Gipfel ist im Vergleich zu seiner Höhe. Die floristische Diversität steigerte sich von 24 auf 63 Arten auf dem Torrenthorn (2924 m) und von 16 auf 48 auf dem Beaufort (3048 m). Wie in früheren Forschungen scheint diese Bereicherung mit der Klimaerwärmung verbunden zu sein, weil die neuen Arten durchschnittlich höhere Temperaturen vorziehen als diejenigen, die schon früher anwesend waren. Auf dem Gornergrat und dem Beaufort zeigt sich eine Entwicklung von alpinen Rasen, während sich auf dem Torrenthorn eher Arten von Gesteinen und Rohböden ansiedeln. Dieser Unterschied ist dem starken Einfluss der Wanderer auf diesem Gipfel zu verdanken.

• Übersetzung mit Erika Franc

Schlüsselwörter Klima, Beaufort, Bourg-St-Pierre, Biodiversität, Flora, Gornergrat, Zermatt, Torrenthorn, Leukerbad, Guttet-Feschel, Wallis



INTRODUCTION

La Terre se réchauffe, c'est un fait avéré. Si on peut en discuter les causes, les observations, elles, sont sans équivoque, et il est donc urgent d'en évaluer les conséquences, notamment sur le plan écologique. Selon l'intensité du scénario de changement climatique auquel on se réfère, ce réchauffement serait susceptible de modifier drastiquement la flore (THUILLER *et al.* 2005) et ainsi perturber de nombreux écosystèmes terrestres. Beaucoup de changements ont déjà pu être observés, comme la floraison plus précoce de nombreuses espèces en Europe, la migration de papillons, d'oiseaux et de plantes vers le nord, la montée de la limite de la forêt ou le développement des espèces thermophiles dans les océans (WALTHER *et al.* 2002).

Un des changements le mieux documenté pour la Suisse est l'enrichissement de la flore sommitale dans les Alpes. La comparaison d'inventaires floristiques de nombreux sommets grisons effectués au début du XX^e siècle (par ex. HEER 1885, RÜBEL 1912, BRAUN 1913, BRAUN-BLANQUET 1955, BRAUN-BLANQUET 1957) avec des inventaires récents (HOFER 1992, GRABHERR *et al.* 1994, 1995, CAMENISCH 2002) ont généralement montré une importante augmentation de la diversité, allant parfois jusqu'à tripler le nombre d'espèces. Cet enrichissement varie cependant beaucoup d'un sommet à l'autre. GRABHERR *et al.* (2001) ont montré que cette variabilité dépendait du substrat et de la topographie du sommet. Les enrichissements les plus importants ont été trouvés sur

des sommets constitués essentiellement de roches en place et lorsque la migration le long des pentes était assurée par une continuité des pelouses, ou la présence de petites fissures et d'autres microniches favorables à l'installation des espèces. Par contre, les sommets formés de gros blocs sont très peu favorables et ont conservé une faible biodiversité.

La disponibilité de telles données historiques est donc primordiale. Plus elles seront nombreuses, meilleure sera notre connaissance de l'impact du réchauffement climatique sur notre flore. Le projet «Permanent.Plot.ch.» (responsable P. Vittoz) vise précisément à répertorier les carrés permanents pour l'étude de la végétation en Suisse. Il s'intéresse donc à toutes surfaces étudiées dans le passé qui puissent être relocalisées précisément sur le terrain. Les sommets alpins inventoriés par RÜBEL, BRAUN-BLANQUET ou d'autres en font partie, mais aussi des surfaces plus petites, telles que celles mises en place par LÜDI pour étudier la recolonisation des moraines du glacier d'Aletsch (LÜDI 1945; RICHARD 1987). Le but est de rassembler dans une seule base de données toutes les observations effectuées en Suisse qui permettent d'étudier les changements de la végétation dans le temps, et ceci quelle qu'en soit la cause (gestion des milieux, changements climatiques, pollution atmosphérique, ...). Afin d'étudier si les changements floristiques à l'étage alpin des Alpes valaisannes sont comparables à ceux déjà observés aux Grisons, les trois sommets valaisans les plus accessibles – le Gornergrat, le Torrenthorn et le Beaufort – ont été retenus pour effectuer un nouvel inventaire. A notre connaissance, aucune donnée récente n'existait jusqu'alors sur ces sommets.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Méthodes de terrain

Trois sommets valaisans avec des données historiques ont été retenus pour cette étude (fig. 1). La qualité de ces données historiques nous est inconnue, ne sachant pas combien de temps les auteurs ont consacré à l'inventaire des espèces et combien de personnes y participaient. Cependant, dans tous les cas ces données faisaient partie d'études plus larges visant à comparer la diversité en fonction de l'altitude ou de mettre en évidence les formes biologiques dominantes, ce qui permet de penser que les auteurs ont cherché à être aussi exhaustifs que possible. Chaque sommet a fait l'objet d'une nouvelle visite d'au moins un jour à deux durant l'été 2003, avec une recherche aussi détaillée que possible des surfaces atteignables. Nous nous sommes cependant abstenus d'inventorier les falaises autrement qu'à l'aide d'une paire de jumelles, partant de l'idée que nos prédécesseurs n'avaient vraisemblablement pas été plus loin.

Il est évidemment très difficile de donner une estimation du recouvrement de ces espèces et peu de données historiques en comporte. Cependant, l'exhaustivité parfaite n'étant jamais réalisable sur de telles surfaces (quelques

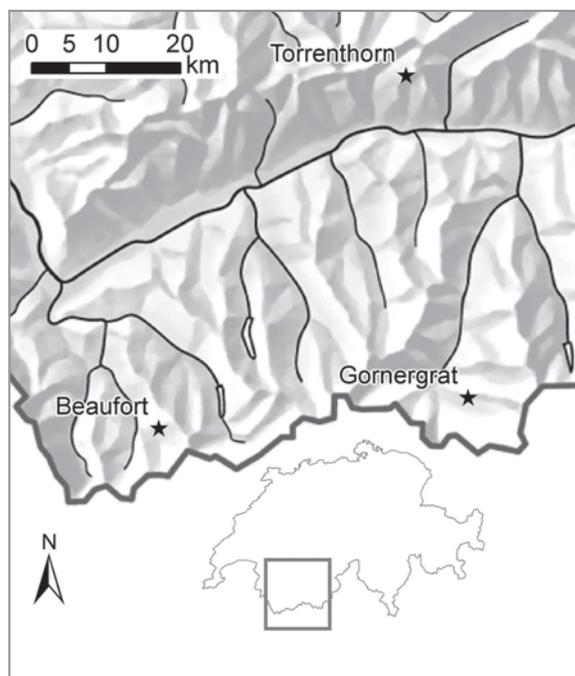


FIGURE 1 – Localisation des trois sommets dans les Alpes valaisannes. Beaufort, commune de Bourg-St-Pierre; Gornergrat, commune de Zermatt; Torrenthorn, communes de Loèche-les-Bains et Guttet-Feschel.



FIGURE 2 – (à gauche) La face sud du Gornergrat, un mélange de rochers, de fragments de pelouses et de plantes saxicoles. La part des pelouses augmente dans la partie basse, hors de la surface considérée dans cette étude.



FIGURE 3 – (à droite) Le sommet du Torrenthorn et les falaises de la face sud. – PHOTOS PASCAL VITTOZ

espèces très rares sont toujours oubliées), il est important d'avoir des indications, mêmes grossières, de l'abondance respective des espèces. En plus, de telles estimations permettent un suivi plus fin des changements intervenus (ou futurs) sur le sommet. L'échelle à cinq niveaux de GRABHERR *et al.* (2001) a été utilisée: **r!** – l'espèce est très rare, un ou deux individus; **r** – rare; **s** – (comme scattered) dispersée, peu abondante; **c** – commune, fréquente; **d** – dominante. Des répartitions très hétérogènes peuvent être indiquées par une double valeur, complétée par un **l**, comme localement (par ex. **r-lc** – rare, mais localement abondante). Pour les espèces très rares, localement plus abondantes ou avec une répartition limitée à un secteur du sommet, l'estimation du recouvrement était complétée par des indications de localisation (face où elle est présente, altitude maximale par exemple). Ces données ne sont pas publiées ici, mais sont à disposition des intéressés auprès du premier auteur.

Description des sommets

Le **Gornergrat** est un sommet parcouru depuis longtemps par les botanistes, mais aussi par les touristes, facile d'accès, et exceptionnellement riche pour son altitude (3135 m). Situé au milieu du cirque de Zermatt (626.83/92.46), il est caractérisé par de faibles précipitations relativement à son altitude (1400-1600 mm par année, UTTINGER 1967). La face sud (**fig. 2**), dominant le Gornergletscher, est composée de pelouses alpines écorchées et de rochers, sur une pente variable (35-60°). La crête est principalement occupée par les chemins et autres infrastructures touristiques, mais une petite surface est encore couverte de combe à neige acide. La face nord, également raide (40°), est occupée par des rochers et des éboulis. Son long enneigement se traduit par un très faible recouvrement de la végétation. Trois listes floristiques historiques nous sont connues. La plus ancienne date de 1885 et comporte 96 espèces au-dessus de 9000 pieds (2924 m, HEER 1885). BRAUN-BLANQUET a

visité le sommet le 17 août 1919 et nous a laissé son carnet de notes de terrain avec une liste comportant 80 espèces, essentiellement au-dessus de 3120 m; la publication issue de cette course, et vraisemblablement d'une autre visite, (BRAUN-BLANQUET & THELLUNG 1920) comporte 102 espèces observées au-dessus de 3100 m. Cette liste est particulièrement intéressante du fait que les espèces sont accompagnées par une estimation de leur abondance selon l'échelle suivante: **rr** – très rare; **r** – rare; **ar** – assez rare; **ac** – assez fréquente; **c** – fréquente. Cette liste a été réimprimée par RÜBEL & SCHRÖTER (1923). Nous avons retenu pour notre inventaire la limite de 3100 m utilisée par BRAUN-BLANQUET, celle de HEER (1885) correspondant à une surface trop étendue. Le nouvel inventaire a été réalisé essentiellement le 31 juillet 2003, et a été complété lors d'un second passage les 29 et 30 juillet 2004 destiné à mettre en place deux nouveaux carrés permanents de 40 m² (un de chaque côté de l'arête).

Bien que la marche d'accès soit plus longue, le **Torrenthorn** (2998 m) est également un sommet régulièrement parcouru par les randonneurs (618.48 / 136.26). Proche des Alpes bernoises, les précipitations sont plus importantes qu'au Gornergrat (2000-2400 mm par année, UTTINGER 1967). Trois de ses faces (sud, est et nord) sont des falaises inaccessibles (**fig. 3**), et la dernière (ouest) est une longue pente faible (10°), avec une végétation formée essentiellement de plantes isolées (**fig. 4**) sur un substrat peu mobile. HEER (1885) donne une liste des espèces rencontrées au dessus de 9000 pieds, soit environ 2924 m. Lors de la nouvelle visite le 30 juillet 2003, nous avons inventorié les dix derniers mètres du sommet et complété la liste avec les espèces supplémentaires trouvées entre 2924 et 2988 m. Un carré permanent (40 m²) a été disposé près du sommet, un peu à l'écart des sentiers.

Moins connu, le **Beaufort** (3048 m) se situe dans le val d'Entremont, à proximité du col du Grand St-Bernard (585.25/88.26). Situé à l'écart des sentiers de randonnées,



FIGURE 4 – La face ouest du Torrenthorn couverte essentiellement de plantes en coussinets au milieu de cailloux. A l'arrière plan, le Rinderhorn, l'Altels et le Balmhorn. – PHOTO PASCAL VITTOZ

c'est un sommet nettement moins parcouru que les précédents. Avec 1800-2000 mm, les précipitations annuelles montrent des valeurs intermédiaires aux autres sommets (UTTINGER 1967). Les deux faces sont bien différentes: des gros blocs sur une pente de 30° au nord-est (fig. 5), et des rochers fixes au sud-ouest, avec une pente difficile d'accès entre 40 et 60°. La stabilité des rochers au sommet comme sur la face sud-ouest permet le développement de fragments de pelouses. Cependant, les plantes sont le plus souvent dispersées dans les microniches les plus favorables. Dans son travail consacré à la flore du Valsorey, GUYOT (1920) donne une liste des espèces rencontrées au-dessus de 3000 m. Etant donné l'importance de la surface considérée et les difficultés d'accès au sud-ouest, nous n'avons inventorié en détail lors de notre passage le 29 juillet 2003 que les dix derniers mètres du sommet. Un nouveau carré permanent (40 m²) a été disposé sur la face nord-est près du sommet.

Analyses des résultats

Afin de permettre la comparaison, tous les noms des espèces ont été ramenés à la nomenclature de l'Index synonymique de la flore suisse (AESCHIMANN & HEITZ 1996). Le nom le plus large (par ex. *Pritzelago alpina* s.l.) a été retenu lorsque différents taxons étaient possibles. Lorsque des différences entre les données actuelles et récentes

semblaient plus liées à des problèmes d'identification d'espèces très semblables plutôt qu'à de réels changements, les deux taxons ont été réunis sur une même ligne dans le tableau, en conservant les deux noms dans l'ordre d'utilisation (par exemple *Thymus serpyllum* aggr. / *T. praecox* subsp. *polytrichus* au Gornergrat). Pour le Gornergrat, les abondances ont été comparées en traduisant nos estimations selon l'échelle de BRAUN-BLANQUET & THELLUNG (1920): c → c; s, s-lc et r-ld → ac; r-lc → ar; r → r; r! → rr. Nous avons considéré qu'un changement d'un seul niveau (par exemple c en 1920 devenu ac en 2003) n'était pas significatif car pouvait être lié à des différences d'appréciations. Par contre, un changement de deux niveaux (r en 1920 devenu ac en 2003) montrait un réel changement.

Pour estimer l'influence du climat dans les changements observés, nous avons calculé les moyennes, sans pondération, et l'écart-type de l'indice de température (T) selon LANDOLT (1977) pour les différentes listes floristiques. Cet indice varie entre 1 pour les espèces de l'étage alpin ou nival et 5 pour les espèces propres à l'étage collinéen. Les moyennes ont été comparées avec un test de t. Finalement, nous avons utilisé l'appartenance phytosociologique des espèces donnée par ELLENBERG *et al.* (1991), ou par AESCHIMANN *et al.* (2004) lorsque l'espèce ne figurait pas dans ce premier ouvrage, pour étudier l'écologie des nouvelles espèces et mettre en évidence une éventuelle dérive des communautés végétales.



FIGURE 5 – Le Beaufort depuis le nord-est. – PHOTO PASCAL VITTOZ

RÉSULTATS

D'une manière générale, les trois sommets étudiés montrent un net enrichissement de la flore. Cette augmentation varie entre 19 espèces supplémentaires au Gornergrat, qui est aussi le sommet originellement le plus riche (tab. 1), et 40 espèces au Torrenthorn (tab. 2).

Gornergrat

Près de la moitié des espèces (48) observées par BRAUN-BLANQUET & THELLUNG (1920) au Gornergrat n'ont pas montré de changement notable dans leur abondance (espèces constantes, tab. 1), auxquelles ont été ajoutées les 19 espèces sans indication d'abondance. Ce sont avant tout des espèces alpines, rarement subalpines, des pelouses, rochers ou éboulis. Seul *Poa annua*/*P. supina* est à classer au groupe des espèces rudérales, fréquentes dans ce site touristique fortement anthropisé. Par contre, 16 espèces n'ont pas été retrouvées lors de nos deux visites en 2003 et en 2004 et 9 espèces semblent être devenues moins fréquentes. Il est fort probable que quelques-unes de ces dernières n'aient en fait pas changé et que certaines des espèces non retrouvées soient toujours présentes mais nous aient échappé. Certaines étaient d'ailleurs déjà rares en 1920. *Chenopodium bonus-henricus*, espèce rudérale nitrophile, avait été introduite par l'homme et a vraisemblablement

disparu lors de travaux ou n'a simplement pas pu se maintenir à une telle altitude. Ces dernières hypothèses peuvent aussi expliquer la disparition de *Silene vulgaris* s.l., *Urtica dioica* ou *Plantago media*. Il est possible que la disparition d'*Artemisia genipi* et de *Sedum atratum* s'explique par la difficulté à les distinguer au milieu d'*Artemisia umbelliformis* et de *Sedum alpestre* alors qu'elles n'étaient pas en fleur. Par contre la disparition des deux *Arenaria* et de *Carex parviflora* n'a pas d'explication facile. Petites, nous ont-elles échappé, ou étaient-elles liées à des milieux disparus sous les réaménagements, comme peut-être certaines combes à neige sur la crête ?

Inversement, 35 nouvelles espèces ont été trouvées et 10 semblent avoir progressé (tab. 1). De nouveau, la majorité (24) des nouvelles espèces sont rares, parfois très localisées et ont peut-être échappé à BRAUN-BLANQUET. Parmi les autres, *Taraxacum officinale* aggr. est une rudérale poussant au bord des chemins et *Arabis alpina* s.l. se comporte au Gornergrat également comme telle en poussant dans les gravats autour des bâtiments. *Euphrasia minima* et *Gentiana tenella* sont des annuelles qui étaient peut-être mal développées en 1919 après un été particulièrement froid (données MétéoSuisse) et sec (BRAUN-BLANQUET & THELLUNG 1920). Les autres nouvelles espèces ou en progression sont, selon ELLENBERG *et al.* (1991), rattachées aux pelouses alpines acides des *Juncetea trifidi* (*Agrostis rupestris*, *Festuca airoides*, *Festuca halleri*, *Helicto-*



	1920	2004	T		1920	2004	T
Espèces constantes							
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	c	c	c-ld	1			
<i>Achillea erba-rotta</i> subsp. <i>moschata</i>	x	c	c	1			
<i>Artemisia umbelliformis</i>	ac	c	c	1			
<i>Cerastium arvense</i> subsp. <i>strictum</i>	c	c	c	2			
<i>Cerastium pedunculatum</i>	x	c	c	1			
<i>Cerastium uniflorum</i>	c	c	c	1			
<i>Draba aizoides</i>	c	c	c	2			
<i>Erigeron uniflorus</i>	c	c	c	1			
<i>Festuca quadriflora</i>	c	c	c	1			
<i>Herniaria alpina</i>	ac	c	c	1			
<i>Leucanthemopsis alpina</i>	c	c	c	1			
<i>Luzula spicata</i> s.l.	c	c	c	1			
<i>Minuartia sedoides</i>	c	c	c	1			
<i>Pedicularis kernerii</i>	x	c	c	1			
<i>Saxifraga bryoides</i>	ac	c	c	1			
<i>Saxifraga moschata</i> s.l.	c	c	c	1			
<i>Sempervivum arachnoideum</i>	ac	c	c	3			
<i>Senecio incanus</i> s.str.	x	c	c	1			
<i>Silene exscapa</i>	c	c	c	1			
<i>Taraxacum alpinum</i> aggr.	ac	c	c	1			
<i>Veronica fruticans</i>	ac	c	c	2			
<i>Androsace alpina</i>	x	ac	s-lc	1			
<i>Cardamine resedifolia</i>	ac	ac	s-lc	2			
<i>Sedum alpestre</i>	ar	ac	s-lc	1			
<i>Trisetum distichophyllum</i>	ac	ac	s-lc	2			
<i>Achillea nana</i>	ac	ac	s	1			
<i>Artemisia glacialis</i>	ac	ac	s	1			
<i>Botrychium lunaria</i>	x	ac	s	2			
<i>Campanula cochleariifolia</i>	c	ac	s	2			
<i>Draba dubia</i>	ac	ac	s	1			
<i>Draba hoppeana</i>	x	ac	s	1			
<i>Elyna myosuroides</i>	ac	ac	s	2			
<i>Eritrichium nanum</i>	x	ac	s	1			
<i>Galium anisophyllum</i>	ac	ac	s	2			
<i>Gentiana brachyphylla</i>	ac	ac	s	1			
<i>Juncus trifidus</i>	x	ac	s	1			
<i>Linaria alpina</i> s.str.	x	ac	s	1			
<i>Minuartia verna</i>	x	ac	s	2			
<i>Oxyria digyna</i>	ar	ac	s	1			
<i>Oxytropis helvetica</i>	ac	ac	s	1			
<i>Poa laxa</i>	c	ac	s	1			
<i>Primula hirsuta</i>	c	ac	s	2			
<i>Pritzelago alpina</i> s.l.	ac	ac	s	1			
<i>Sempervivum montanum</i>	x	ac	s	2			
<i>Sibbaldia procumbens</i>	ac	ac	s	1			
<i>Carex curvula</i> s.str.	c	ac	r-ld	1			
<i>Geum montanum</i>	r	ar	r-lc	2			
<i>Poa annua</i> / <i>P. supina</i>	ac	ar	r-lc	3/2			
<i>Alchemilla pentaphylla</i>	ar	r	r	1			
<i>Antennaria dioica</i>	r	r	r	2			
<i>Campanula scheuchzeri</i>	x	r	r	2			
<i>Cerastium cerastoides</i>	x	r	r	1			
<i>Cystopteris fragilis</i>	rr	r	r	3			
<i>Festuca varia</i> aggr.	ar	r	r	2			
<i>Gentiana bavarica</i>	x	r	r	1			
<i>Gnaphalium supinum</i>	r	r	r	1			
<i>Juncus jacquinii</i>	ar	r	r	1			
<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>nana</i>	r	r	r	2			
<i>Leontodon helveticus</i>	x	r	r	2			
<i>Lotus corniculatus</i> s.l.	r	r	r	1			
<i>Potentilla multifida</i>	r	r	r	1			
<i>Sagina saginoides</i>	x	r	r	2			
<i>Salix herbacea</i>	x	r	r	1			
<i>Veronica alpina</i>	x	r	r	1			
<i>Gentiana ramosa</i>	r	rr	r!	1			
<i>Leontopodium alpinum</i>	r	rr	r!	2			
<i>Minuartia recurva</i>	r	rr	r!	1			
Espèces non retrouvées							
<i>Arenaria ciliata</i>	ac			1			
<i>Artemisia genipi</i>	ac			1			
<i>Chenopodium bonus-henricus</i>	ac			2			
<i>Sedum atratum</i>	ac			2			
<i>Alchemilla vulgaris</i> aggr.	r			2			
<i>Astragalus australis</i>	r			2			
<i>Helianthemum alpestre</i>	r			1			
<i>Luzula lutea</i>	r			1			
<i>Plantago media</i>	r			3			
<i>Polygala alpina</i>	r			1			
<i>Silene vulgaris</i> s.l.	r			1			
<i>Urtica dioica</i>	r			3			
<i>Doronicum clusii</i>	x			1			
<i>Ranunculus glacialis</i>	x			1			
Espèces devenues plus rares							
<i>Thlaspi rotundifolium</i> aggr.	c	r	r	1			
<i>Androsace vandellii</i>	ac	r	r	1			
<i>Aster alpinus</i>	ac	r	r	2			
<i>Carex sempervirens</i>	ac	r	r	1			
<i>Draba siliquosa</i>	ac	r	r	1			
<i>Ligusticum mutellinoides</i>	ac	r	r	1			
<i>Phyteuma globulariifolium</i> subsp. <i>pedemontanum</i>	ac	rr	r!	1			
<i>Festuca rubra</i> aggr.	ar	rr	r!	3			
<i>Poa pratensis</i>	ar	rr	r!	3			
Espèces devenues plus abondantes							
<i>Euphrasia minima</i>	r	c	c	2			
<i>Agrostis alpina</i>	ar	c	c	1			
<i>Salix serpillifolia</i>	ar	c	c	1			
<i>Saxifraga muscoides</i>	r	c	c	1			
<i>Thymus serpyllum</i> aggr. / <i>T. praecox</i> subsp. <i>polytrichus</i>	ar	c	c	2/2			
<i>Erigeron gaudinii</i> / <i>E. atticus</i>	r	ac	s	1			
<i>Gentiana tenella</i>	r	ac	s	1			
<i>Potentilla crantzii</i>	r	ac	s	2			
<i>Potentilla frigida</i>	r	ac	s	1			
<i>Veronica bellidioides</i>	r	ac	s	1			
Nouvelles espèces							
<i>Arabis alpina</i> s.str.		c	c	2			
<i>Festuca airoides</i>		c	c	2			
<i>Festuca halleri</i>		c	c	2			
<i>Minuartia laricifolia</i>		c	c	3			
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>		c	c	1			
<i>Euphrasia cf. stricta</i>		ac	s	3			
<i>Helictotrichon versicolor</i>		ac	s	1			
<i>Hieracium pilosella</i>		ac	s	3			
<i>Saxifraga androsacea</i>		ac	s	1			
<i>Agrostis rupestris</i>		ar	r-lc	1			
<i>Taraxacum officinale</i> aggr.		ar	r-lc	3			
<i>Agrostis schraderiana</i>		r	r	2			
<i>Androsace puberula</i>		r	r	1			
<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>valesiaca</i>		r	r	2			
<i>Festuca violacea</i> aggr.		r	r	1			
<i>Gentiana schleicheri</i>		r	r	1			
<i>Hieracium piliferum</i> aggr.		r	r	1			
<i>Luzula alpinopilosa</i>		r	r	1			
<i>Poa cf. angustifolia</i>		r	r	3			
<i>Pulsatilla vernalis</i>		r	r	2			
<i>Rumex acetosella</i> s.str.		r	r	4			
<i>Saxifraga seguieri</i>		r	r	1			
<i>Senecio doronicum</i>		r	r	2			
<i>Taraxacum dissectum</i>		r	r	1			
<i>Cirsium spinosissimum</i>		rr	r!	2			
<i>Deschampsia cespitosa</i>		rr	r!	3			
<i>Doronicum grandiflorum</i>		rr	r!	1			
<i>Gentiana cf. clusii</i>		rr	r!	2			
<i>Helianthemum nummularium</i> subsp. <i>grandiflorum</i>		rr	r!	2			
<i>Myosotis alpestris</i>		rr	r!	1			
<i>Phleum pratense</i>		rr	r!	3			
<i>Rumex alpestris</i>		rr	r!	2			
<i>Saxifraga paniculata</i>		rr	r!	2			
<i>Trisetum spicatum</i>		rr	r!	1			
<i>Viola cf. thomasiana</i>		rr	r!	2			
Nombre d'espèces	102	121					

TABLEAU 1 – Liste des espèces observées au-dessus de 3100 mètres d'alt. au Gornergrat (3135 m) par BRAUN-BLANQUET & THELLUNG (1920) et en 2003-2004. Les codes en italique correspondent à la traduction des abondances estimées en 2003-2004 (troisième colonne: échelle de GRABHERR et al. 2001) dans le système utilisé en 1919 (BRAUN-BLANQUET & THELLUNG 1920). La dernière colonne donne l'indice écologique pour la température selon LANDOLT (1977).

	1885	2003	T
ESPÈCES CONSTANTES			
<i>Minuartia sedoides</i>	x	c-l	1
<i>Poa alpina</i>	x	c	2
<i>Androsace alpina</i>	x	c	1
<i>Saxifraga bryoides</i>	x	c	1
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	x	c	1
<i>Leucanthemopsis alpina</i>	x	s	1
<i>Pritzelago alpina</i> s.str.	x	s	2
<i>Saxifraga muscoides</i>	x	s	1
<i>Trisetum spicatum</i>	x	s	1
<i>Cardamine alpina</i>	x	r	1
<i>Gentiana bavarica</i>	x	r	1
<i>Gentiana brachyphylla</i>	x	r	1
<i>Minuartia verna</i>	x	r	2
<i>Poa laxa</i>	x	r	1
<i>Ligusticum mutellinoides</i>	x	r!	1
<i>Alchemilla fissa</i> /A. <i>xanthochlora</i> aggr.	x	r!	2/2
Espèces non retrouvées			
<i>Alchemilla pentaphylla</i>	x		1
<i>Androsace obtusifolia</i>	x		1
<i>Carex curvula</i>	x		1
<i>Euphrasia minima</i>	x		2
<i>Festuca ovina</i> aggr.	x		1
<i>Hieracium angustifolium</i>	x		1
<i>Hieracium piliferum</i> aggr.	x		1
<i>Oxytropis jacquinii</i>	x		1
Nouvelles espèces			
<i>Artemisia genipi</i>		c	1
<i>Erigeron uniflorus</i>		c	1
<i>Festuca halleri</i>		c	2
<i>Saxifraga exarata</i> s.str.		c	1
<i>Androsace helvetica</i>		s	1
<i>Arabis alpina</i> s.str.		s	2
<i>Draba dubia</i>		s	1
<i>Gentiana tenella</i>		s	1
<i>Gnaphalium supinum</i>		s*	1
<i>Sagina saginoides</i>		s	2
<i>Saxifraga seguieri</i>		s	1
<i>Silene acaulis</i>		s	1
<i>Achillea nana</i>		r*	1
<i>Campanula scheuchzeri</i>		r	2
<i>Cardamine resedifolia</i>		r	2
<i>Cerastium arvense</i> subsp. <i>strictum</i>		r	2
<i>Cerastium cerastoides</i>		r*	1
<i>Cerastium latifolium</i>		r*	1
<i>Draba aizoides</i>		r	2
<i>Draba fladnizensis</i>		r	1
<i>Festuca violacea</i>		r	2
<i>Leontodon helveticus</i>		r*	2
<i>Leontodon montanus</i>		r	1
<i>Myosotis alpestris</i>		r*	1
<i>Potentilla frigida</i>		r	1
<i>Sedum alpestre</i>		r*	1
<i>Sedum atratum</i>		r*	2
<i>Taraxacum alpinum</i> aggr.		r*	1
<i>Veronica alpina</i>		r	1
<i>Veronica fruticans</i>		r	2
<i>Cirsium spinosissimum</i>		r!*	2
<i>Doronicum grandiflorum</i>		r!*	1
<i>Festuca nigrescens</i>		r!	
<i>Linaria alpina</i> s.str.		r!	1
<i>Luzula alpina</i>		r!	
<i>Poa supina</i>		r!	2
<i>Potentilla aurea</i>		r!	2
<i>Saxifraga paniculata</i>		r!	2
<i>Silene suecica</i>		r!	1
Nombre d'espèces	24	63	

TABEAU 2 – Liste des espèces observées au sommet du Torrenthorn (2998 m) par HEER (1885) au-dessus de 2924 mètres d'alt. et en 2003 selon les mêmes limites.

* espèces présentes qu'entre 2924 et 2988 mètres d'altitude. La dernière colonne donne l'indice écologique pour la température selon LANDOLT (1977).

trichon versicolor, *Phyteuma hemisphaericum*, *Potentilla frigida*, *Veronica bellidioides*) ou aux pelouses subalpines et alpines calcicoles des *Seslerietea albicantis* (*Agrostis alpina*, *Erigeron atticus*, *Potentilla crantzii*, *Salix serpillifolia*, *Thymus praecox* ssp. *polytrichus*). Cette évolution est qualitativement assez importante étant donné qu'elle concerne, en tenant compte des nouvelles espèces encore rares, 12 espèces des *Juncetea trifidi* sur les 21 observées jusqu'à maintenant et 9 espèces des *Seslerietea albicantis* sur 17.

Torrenthorn

BIEN QUE MOINS ÉLEVÉ, CE SOMMET EST NETTEMENT MOINS RICHE QUE LE PRÉCÉDENT (TAB. 2). SANS ESTIMATION DE L'ABONDANCE DES ESPÈCES EN 1885, IL N'EST PAS POSSIBLE DE SAVOIR SI LES 16 ESPÈCES QUI ONT ÉTÉ OBSERVÉES LORS DES DEUX INVENTAIRES ONT VU LEUR ABONDANCE CHANGER. IL EST ÉGALEMENT DIFFICILE D'ÊTRE SÛR QUE LES 8 ESPÈCES NON RETROUVÉES ONT RÉELLEMENT DISPARU CAR ELLES POUVAIENT DÉJÀ ÊTRE RARES À L'ÉPOQUE ET AVOIR ÉCHAPPÉ À NOS RECHERCHES. CEPENDANT, ELLES APPARTIENNENT SOCIOLOGIQUEMENT TOUTES AUX PELOUSES ALPINES : LES PELOUSES ACIDES (*JUNCETEA TRIFIDI* OU *NARDION*) POUR *ANDROSACE OBTUSIFOLIA*, *CAREX CURVULA*, *EUPHRASIA MI-NIMA*, *HIERACIUM ANGUSTIFOLIUM* ET *HIERACIUM PILIFERUM* AGGR., LES PELOUSES CALCICOLES (*SESLERIETEA ALBICANTIS*) POUR *OXY-TROPIS JACQUINII*, OU LES COMBES À NEIGE (*SALICETEA HERBA-CEAE*) POUR *ALCHEMILLA PENTAPHYLLEA* ET *A. FISSA*. CES MILIEUX SONT ACTUELLEMENT MAL REPRÉSENTÉS AU SOMMET.

Comme au Gornegrat, la majorité (27) des 39 nouvelles espèces sont rares et il est possible qu'une partie au moins existait déjà en 1885. Parmi les espèces actuellement communes (c) ou dispersées (s), aucun type de végétation précis ne domine. Les combes à neige sont représentées (*Gnaphalium supinum*, *Sagina saginoides*, *Saxifraga seguieri*), mais se sont surtout les espèces s'accommodant de sols bruts, de terrains rocheux qui sont les plus abondantes, comme les falaises des *Asplenetea trichomanis* (*Androsace helvetica*, *Draba dubia*, *Saxifraga exarata* s.str.), les éboulis des *Thlaspietetea rotundifolii* (*Arabis alpina* s.str., *Artemisia genipi*) ou les arêtes ventées des *Carici rupestris-Kobresietea* (*Erigeron uniflorus*, *Gentiana tenella*).

Beaufort

Quinze espèces se sont maintenues au sommet du Beaufort depuis 1920 (tab. 3). De plus, un petit doute subsiste avec *Gentiana schleicheri* qui n'a pas été retrouvé, alors que *G. brachyphylla* est apparu. Sachant les difficultés qu'il y a parfois à les distinguer, nous supposons que cette « espèce » n'a pas changé non plus. Par contre, 32 espèces sont nouvelles sur le sommet, dont 19 rares. Les treize espèces les plus abondantes appartiennent principalement aux pelouses alpines acides (*Juncetea trifidi* avec *Euphrasia minima*, *Hieracium piliferum* aggr., *Luzula spicata* subsp. *mutabilis*, *Pedicularis kernerii*, *Veronica bellidioides*), aux combes à neige (*Salicetea herbaceae* avec *Gnaphalium supinum*, *Gentiana bavarica*, *Ranunculus alpestris*) et aux éboulis (*Thlaspietetea rotundifolii* avec *Arabis alpina* s.str., *Cardamine resedifolia*, *Veronica alpina*).





FIGURE 6 – Véronique des Alpes (*Veronica alpina*).
PHOTO PASCAL VITTOZ

Indices de température

Les indices de LANDOLT (1977) calculés sur les espèces présentes montrent une légère augmentation de l'indice de température au cours du XX^e siècle pour tous les sommets (tab. 4). Cependant, cette augmentation n'est jamais significative ($p = 0.212$ au Gornergrat, 0.229 au Torrenthorn et 0.124 au Beaufort). Elle devient par contre significative pour deux sommets lorsque la moyenne des nouvelles espèces et des espèces en progression est comparée avec la moyenne du premier inventaire ($p = 0.008$ au Gornergrat et 0.047 au Beaufort, contre 0.108 au Torrenthorn). Cela montre que les nouvelles espèces qui ont colonisé les sommets recherchent en moyenne des conditions thermiques plus élevées que les espèces déjà en place lors des premiers inventaires.

DISCUSSION

Etant donné les surfaces importantes considérées lors des premiers inventaires des trois sommets étudiés ici, il n'est pas possible aujourd'hui d'être sûr de l'exhaustivité des listes floristiques historiques, ni de connaître le temps qui a été consacré aux inventaires. Concernant notre inventaire, nous ne pouvons pas non plus être sûrs de n'avoir omis aucune espèce, même si le travail effectué l'a été avec tout le soin possible. Des tests impliquant plusieurs botanistes sur des mêmes parcelles ont été effectués dans le cadre du projet «Permanet.Plot.ch.» pour évaluer la fiabilité des techniques d'inventaires. Ceux-ci ont montré que même pour des surfaces inférieures à 1 m^2 , tous les botanistes peuvent occasionnellement oublier des espèces, surtout lorsque celles-ci sont discrètes ou limitées à des plantules isolées (VITTOZ & GUI SAN, soumis). Le nombre

	1920	2003	T
Espèces constantes			
<i>Cerastium uniflorum</i>	x	c	1
<i>Erigeron uniflorus</i>	x	c	1
<i>Festuca halleri</i>	x	c	2
<i>Leucanthemopsis alpina</i>	x	c	1
<i>Poa laxa</i>	x	c	1
<i>Saxifraga bryoides</i>	x	c	1
<i>Silene exscapa</i>	x	c	1
<i>Minuartia sedoides</i>	x	c	1
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	x	c	1
<i>Saxifraga exarata</i> s.str.	x	c	1
<i>Trisetum spicatum</i>	x	s	1
<i>Potentilla frigida</i>	x	s	1
<i>Ranunculus glacialis</i>	x	s	1
<i>Androsace alpina</i>	x	s	1
<i>Draba silquosa</i>	x	r	1
<i>Gentiana schleicheri</i> / <i>G. brachyphylla</i>	x	r!	1/1
Nouvelles espèces			
<i>Gentiana bavarica</i>		c	1
<i>Luzula spicata</i> subsp. <i>mutabilis</i>		c	1
<i>Euphrasia minima</i>		s	2
<i>Cardamine resedifolia</i>		s	2
<i>Veronica alpina</i>		s	1
<i>Arabis alpina</i> s.str.		s	2
<i>Gnaphalium supinum</i>		s	1
<i>Hieracium piliferum</i> aggr.		s	1
<i>Pedicularis kernerii</i>		s	1
<i>Poa alpina</i>		s	2
<i>Primula hirsuta</i>		s	2
<i>Veronica bellidioides</i>		s	1
<i>Ranunculus alpestris</i>		s	1
<i>Draba dubia</i>		r	1
<i>Ligusticum mutellinoides</i>		r	1
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>		r	1
<i>Achillea nana</i>		r	1
<i>Draba fladnizensis</i>		r	1
<i>Minuartia verna</i>		r	2
<i>Sedum alpestre</i>		r	1
<i>Carex curvula</i> s.str.		r	1
<i>Cerastium pedunculatum</i>		r	1
<i>Festuca scabriculum</i>		r	2
<i>Festuca violacea</i>		r	
<i>Juncus jacquinii</i>		r	1
<i>Leontodon helveticus</i>		r	2
<i>Artemisia umbelliformis</i>		r!	1
<i>Cystopteris fragilis</i>		r!	3
<i>Sagina saginoides</i>		r!	2
<i>Sibbaldia procumbens</i>		r!	1
<i>Vaccinium gaultherioides</i>		r!	2
<i>Taraxacum alpinum</i> aggr.		r!	1
Nombre d'espèces	16	48	

TABLEAU 3 – Liste des espèces observées au sommet du Beaufort (3048 m) par GUYOT (1920) au-dessus de 3000 mètres et en 2003 au-dessus de 3038 mètres. La dernière colonne donne l'indice écologique pour la température selon LANDOLT (1977).

d'espèces trouvées sur chaque sommet peut donc avoir été sous-estimé de quelques unités, mais il donne cependant de bonnes indications sur l'évolution de la flore sommitale, tout particulièrement pour les espèces abondantes.

Comme déjà observé ailleurs dans les Alpes, les trois sommets étudiés ont montré un enrichissement floristique durant le XX^e siècle (tab. 1-3). Cependant, comparé aux autres sommets, cet enrichissement peut être considéré comme très important au Torrenthorn (tab. 2) et au Beaufort (tab. 3), avec une augmentation de la diversité floristique de respectivement 162 % et 200 %. Pour com-

	GORNERGRAT		TORRENTHORN		BEAUFORT	
	1920	2004	1885	2003	1920	2003
Toutes les espèces	1.41 ± 0.61	1.53 ± 0.69	1.22 ± 0.42	1.36 ± 0.48	1.06 ± 0.25	1.28 ± 0.50
Espèces constantes	1.45 ± 0.62		1.20 ± 0.41		1.06 ± 0.25	
Espèces non retrouvées ou plus rares	1.54 ± 0.78		1.25 ± 0.46			
Espèces nouvelles ou plus abondantes	1.74 ± 0.79*		1.42 ± 0.50		1.39 ± 0.56*	

Tableau 4 – Indices moyens de température selon LANDOLT (1977) calculés sur la base des espèces présentes au sommet du Gornergrat (3135 m), du Torrenthorn (2998 m) et du Beaufort (3048 m) dans les Alpes valaisannes. Les valeurs sont calculées par la moyenne sans pondération et l'écart-type des indices attribués aux espèces présentes. *valeurs significativement différentes de la moyenne issue du premier inventaire ($p < 0.05$).

paraison, GRABHERR *et al.* (1994 et 1995) observèrent pour vingt-six sommets grisons ou autrichiens une augmentation moyenne de 51 %. Selon les différentes études existantes, seuls trois sommets aux Grisons ont montré des changements plus importants que les deux sommets valaisans: le Piz dals Lejs (3044 m, 11 espèces en 1907, 34 en 1992, GRABHERR *et al.* 1995), le Piz Murtèr (2836 m, 28 espèces en 1920, 67 en 2002, CAMENISCH 2002) et le Piz Alv (2975 m, 14 espèces en 1905, 52 en 2003, valeurs personnelles non publiées). La forte augmentation de la diversité florale du Torrenthorn et du Beaufort peut s'expliquer par la bonne continuité qui existe avec les pelouses situées plus bas, par la face sud-ouest au Beaufort ou par des falaises en exposition sud au Torrenthorn (GRABHERR *et al.* 2001).

Le Gornergrat semble être resté plus stable (tab. 1), avec tout de même une augmentation de 19%. Il reste pourtant exceptionnellement riche relativement à son altitude (121 espèces au-dessus de 3100 m), et nul part dans les Alpes suisses ne se retrouve une telle richesse à plus de 3000 m. Pour comparaison, le Piz Languard (3262 m), également particulièrement riche, comptait 78 espèces au-dessus de 3000 m en 1941 (BRAUN-BLANQUET 1955) et l'ensemble du massif de la Bernina totalisait 82 espèces au-dessus de 3000 m (pour une superficie de 42 km²) et plus que 55 espèces au-dessus de 3100 m (RÜBEL 1912). Si certaines des nouvelles espèces observées au Gornergrat sont liées aux activités humaines (train, hôtel, tourisme pédestre, ...), la majorité des espèces communes ou dispersées appartiennent aux formations naturelles des étages subalpins et alpins. Il est vraisemblable que les randonneurs en ont aidé certaines à atteindre le sommet, mais elles se maintiennent maintenant très bien toutes seules et beaucoup sont vraisemblablement arrivées par leurs propres moyens. *Festuca halleri*, *Agrostis rupestris* et *Phyteuma hemisphaericum* étaient d'ailleurs déjà présentes plus bas dans la pente au XIX^e siècle (HEER 1885) et n'ont eu qu'à remonter de quelques dizaines de mètres. Un nouvel inventaire des pelouses situées sur la face sud, entre le sommet et le Gornergletscher, serait très instructif sur la répartition des autres espèces rencontrées actuellement au sommet et pour le suivi des futurs changements.

Outre l'aspect purement quantitatif de cet enrichissement, il est remarquable de constater l'augmentation des espèces associées aux pelouses alpines (*Juncetea trifidi* et *Seslerietea albicantis*) au sommet du Gornergrat et du Beaufort (tab. 1 et 3). Les espèces de combes à neige (*Salicetea herbaceae*) montrent également une nette progression au Beaufort. Cette dernière différence est vraisemblablement liée à une face nord peu stable au Gornergrat, faite d'éboulis en partie schisteux, qui se prêtent peu à la croissance d'espèces de combes à neige. Des pelouses existaient déjà en 1919 au Gornergrat (BRAUN-BLANQUET & THELLUNG 1920), mais elles se sont certainement développées depuis, peut-être sont-elles devenues plus denses, mais surtout elles se sont enrichies. Par contre, il n'y a pas encore de véritables pelouses au Beaufort mais seulement des fragments, des touffes dans les sites les plus favorables. Mais la direction est prise et les futurs inventaires nous montreront certainement leur développement. De ce point de vue, le Torrenthorn semble être plus stable. Il y a bien de nouvelles espèces appartenant aux pelouses et aux combes à neige, mais d'autres espèces n'ont pas pu être retrouvées (tab. 2). Par contre, les espèces de rochers et de sols bruts ont progressé. Il est possible que cette différence soit à rattacher à l'important impact du tourisme pédestre au sommet. Situé à moins de deux heures de marche d'un téléphérique, il constitue un but facile et attractif (même sans buvette) offrant un magnifique point de vue. Le sommet, large et peu raide, est parcouru en tous sens car les touristes ne sont pas canalisés sur des chemins bien marqués comme au Gornergrat. Il est donc vraisemblable que des fragments de pelouses présents au XIX^e siècle en aient souffert et aient disparu, l'érosion emportant peut-être le peu de sol formé.

L'indice écologique de la température (tab. 4), comme les observations faites ailleurs dans les Alpes (BURGA *et al.* 2004), indiquent que le réchauffement climatique influence les changements observés sur la flore sommitale. L'augmentation des températures moyennes, approximativement deux fois plus importante en Suisse que dans le reste du monde (REBETZ 1999), rallonge la période de végétation et permet à de nouvelles espèces de s'installer. Cependant, il n'est pas certain que l'enrichissement

observé soit entièrement attribuable au réchauffement de ces dernières décennies. En effet, les observations faites au Piz Linard (Grisons), dont les données botaniques remontent à 1835, montrent un enrichissement déjà bien marqué avant 1950 (BRAUN-BLANQUET 1957). De même, la richesse spécifique d'une combe à neige a augmenté de 3 à 10 espèces entre 1921 et 1947 pour un recouvrement total passant de 12 à 80 % (BRAUN-BLANQUET 1975). D'autres exemples montrent que la limite des forêts dans les Alpes (VITTOZ *et al.*, soumis) ou ailleurs dans le monde (par ex. KULLMAN 1986, TAYLOR 1995, SCHWEINGRUBER 2002) a déjà commencé à s'élever vers 1850, à la fin du Petit âge glaciaire. Le suivi des sommets grisons et autrichiens a conclu que la migration des plantes alpines en altitude s'est faite durant le XX^e siècle au rythme de 1 à 4 mètres par dix ans, alors que le réchauffement climatique aurait permis une montée de 8 à 10 mètres par décennie (GRABHERR *et al.* 1994, 1995). L'inertie au changement est donc importante et le réchauffement de la fin du XIX^e siècle a influencé la migration des plantes alpines pendant une bonne partie du XX^e siècle. Cependant, cette migration se poursuit et l'inventaire répété de sommets dans la région de la Bernina (RÜBEL 1912, HOFER 1992, WALTHER *et al.* 2005) a montré un enrichissement encore marqué ces vingt dernières années, voire une accélération de la tendance (WALTHER *et al.* 2005).

Ces trois sommets, ainsi que les données déjà publiées pour d'autres sommets, nous donnent quelques indications sur les conséquences futures du réchauffement climatique induit par les activités humaines. La migration des plantes vers les sommets va sans doute se poursuivre. Jusqu'à maintenant, seul l'enrichissement de sommets autour de 3000 m a pu être constaté car les données manquent pour des surfaces situées plus bas. Mais une migration semblable a certainement lieu, comme le montre par exemple la montée du gui (*Viscum album* subsp. *austriacum*) en Valais (DOBBERTIN *et al.* 2005) ou l'arrivée régulière à basse altitude, dans les milieux naturels, de nouvelles espèces

exotiques (WALTHER 2002). Les risques sont donc grands de voir certaines espèces alpines être éliminées par la concurrence d'espèces subalpines remontant grâce aux nouvelles conditions climatiques (GUISAN *et al.* 1995, DIRNBOCK *et al.* 2003). Ainsi, plusieurs projets récents visent à mettre en place un suivi efficace de la végétation à différentes altitudes. Par exemple, le projet GLORIA⁴ a initié au niveau mondial le suivi de sommets groupés par quatre et échelonnés de la limite de la forêt à l'étage nival (GRABHERR *et al.* 2002, PAULI *et al.* 2004). Pour la Suisse, des groupes de sommets ont été retenus en Valais (VITTOZ *et al.* 2001) et aux Grisons (SCHEURER & CAMENISCH 2002). De même, dans le cadre du projet «Permanent.Plot.ch.», en plus de recenser les carrés permanents déjà existants, nous mettons en place de nouvelles surfaces d'études le long de transects altitudinaux dans les cantons de Vaud et du Valais. Dans les forêts comme dans les pâturages, les carrés permanents sont disposés tous les cent mètres de dénivelé. L'emplacement des transects a été choisi de manière à pouvoir inclure des informations anciennes existantes. Ainsi deux d'entre eux se terminent à proximité du Beaufort et du Torrenthorn. Dans dix, vingt ou trente ans, ils nous permettront de comprendre un peu mieux la migration des espèces sous l'influence du réchauffement climatique et de mesurer l'impact de ce dernier sur la flore de nos montagnes.

4 Global Observation Research Initiative in Alpine Environments

REMERCIEMENTS

L'inventaire de ces sommets, dans le cadre du projet Permanent.Plot.ch, a été possible grâce au soutien financier de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV/BAFU) à Berne et de la Fondation Herbette, Université de Lausanne.

BIBLIOGRAPHIE

- AESCHIMANN D. & C. HEITZ 1996. Index synonymique de la flore de Suisse et territoires limitrophes (ISFS), *Documenta Floristicae Helvetiae* 1, CRSF, Genève, 317 p.
- AESCHIMANN D., K. LAUBER, D. M. MOSER & J.-P. THEURILLAT 2004. *Flora alpina*. Berlin, 3 volumes.
- BRAUN, J. 1913. Die Vegetationsverhältnisse der Schneestufe in den Rätisch-Lepontischen Alpen. Ein Bild des Pflanzenlebens an seinen äussersten Grenzen. *Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft* 48, 347 p.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1955. Die Vegetation des Piz Languard, ein Massstab für Klimaänderungen, *Svensk Botanisk Tidskrift* 49 : 1-8.
- 1957. Ein Jahrhundert Florenwandel am Piz Linard (3414 m), *Bulletin du Jardin Botanique Etat Bruxelles, volume jubilaire W. Robyns*: 221-232.
- 1975. *Fragmenta Phytosociologica Raetica I*: Die Schneebodengesellschaften (Klasse der *Salicetea herbaceae*). *Jahresbericht der Naturforschenden Gesesellschaft Graubünden* 96: 42-71.
- BRAUN-BLANQUET, J. & A. THELLUNG 1920. Observations sur la végétation et sur la flore des environs de Zermatt. *Bull. Murithienne* 41 : 18-55.
- BURGA, C. A., G.-R. WALTHER & S. BEISSNER 2004. Florenwandel in der alpinen Stufe des Berninagebietes – ein Klimasignal? *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 16: 57-66.
- CAMENISCH, M. 2002. Veränderungen der Gipfflora im Bereich des Schweizerischen Nationalparks: ein Vergleich über die letzten 80 Jahre. *Jahresbericht der Naturforschenden Gesesellschaft Graubünden* 111 : 27-37.
- DIRNBOCK, T., S. DULLINGER, G. GRABHERR, G. 2003. A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation, *Journal of Biogeography* 30: 401-417.
- DOBBERTIN, M., N. HILKER, M. REBETZ, N. E. ZIMMERMANN, T. WOHLGEMUTH & A. RIGLING 2005. The upward shift of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland – The result of climate warming? *International Journal of Biometeorology* 50: 40-47.
- ELLENBERG H., H. E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTZ, W. WERNER & D. PAULISSEN 1991. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mittel-europa*. *Scripta Geobotanica* 18, Goltze KG, Göttingen, 248 p.
- GRABHERR, G., M. GOTTFRIED, A. GRUBER & H. PAULI 1995. Patterns and Current Changes in Alpine Plant Diversity. In CHAPIN, F. S. & C. KÖRNER (éds) *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences*. Ecological Studies 113, Springer-Verlag, Berlin : 167-181.
- GRABHERR, G., M. GOTTFRIED & H. PAULI 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369 : 448.
- 2001. Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps. In BURGA, C. A., & A. KRATOCHWIL (éds) *Biomonitoring: General and Applied Aspects on Regional and Global Scales, Tasks for Vegetation Science*. Kluwer, Dordrecht: 153-177.
- 2002. Ökologische Effekte an den Grenzen des Lebens, *Spektrum der Wissenschaft* 1 : 84-89.
- GUISAN, A., L. TESSIER, J. I. HOLTEN, W. HAEBERLI & M. BAUMGARTNER 1995. Understanding the impact of climate change on mountain ecosystems: an overview. In GUIGAN, A., J. I. HOLTEN, R. SPICHIGER & L. TESSIER (éds) *Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian Mountains*. Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève, Genève: 15-37.
- GUYOT, H. 1920. Le Valsorey. Esquisse de botanique géographique et écologique. *Matériaux pour le levé géobotanique de la Suisse* 8 : 1-155
- HEER, O. 1885. Über die nivale Flora der Schweiz. *Neue Denkschrift der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft f.d. gesamten Naturwissenschaften* 29 : 1-114.
- HOFER, H. R. 1992. Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln der Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. *Berichte des geobotanischen Institut ETH Stiftung Rübel Zürich* 58 : 39-54.
- KULLMAN, L. 1986. Late Holocen reproductional patterns of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* at the forest limit in central Sweden. *Canadian Journal of Botany* 64 : 1682-1690.
- LANDOLT, E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. *Veröffentlichungen des geobotanischen Institut ETH Stiftung Rübel Zürich* 64 : 1-208.
- LÜDI, W. 1945. Besiedlung und Vegetationsentwicklung auf den jungen Seitenmoränen des grossen Aletschgletschers. *Bericht über des geobotanische Forschungsintitut Rübel in Zürich für das Jahr 1944* : 35-112.
- PAULI, H., M. GOTTFRIED & G. GRABHERR 2001. High summits of the Alps in a changing climate. In WALTHER, G.-R., C. A. BURGA & P. J. EDWARDS (éds) «Fingerprints» of climate change. *Adapted behaviour and shifting species ranges*. Kluwer, New-York : 139-149.
- PAULI, H., M. GOTTFRIED, D. HOHENWALLNER, K. REITER, R. CASALE & G. GRABHERR 2004. *The GLORIA field manual. Multi-summit approach*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 89 p.
- REBETZ, M. 1999. Twentieth century trends in droughts in southern Switzerland- *Geophysical Research Letters* 26 : 755-758.
- RICHARD, J.-L. 1987. Dynamique de la végétation sur les marges glaciaires récentes de la réserve d'Aletsch (Alpes valaisannes, Suisse). 15 ans d'observations dans les placettes-témoin (1971-1986). *Botanica Helvetica* 97 : 265-275.
- RÜBEL, E. 1912. Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. *Botanisches Jahrbücher* 47, 615 p.
- RÜBEL E. & C. SCHRÖTER 1923. *Pflanzengeographischer Exkursionsführer für eine botanische Exkursion durch die Schweizer-Alpen*. Raschler & Cie, Zürich, 85 p.
- SCHUEURER, T. & M. CAMENISCH 2002. Leben in dünner Luft. Die Entwicklung der Vegetation auf Berggipfel. *Cratschla* 2 : 8-9.
- SCHWEINGRUBER, F. H. 2002. Jahringforschung und Klimawandel in den borealen Wäldern. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesesen* 153 : 29-32.
- TAYLOR, A.H. 1995. Forest expansion and climate change in the mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) zone, Lassen Volcanic National Park, California, USA *Arctic and alpine Research* 27 : 207-216.
- THULLER, W., S. LAVOREL, M.B. ARAÚJO, M.T. SYKES & I.C. PRENTICE 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 : 8245-8250.
- UTTINGER, H. 1967. 12 Climat et temps II. Les précipitations. In IMHOF, E., H. GUTTERSON, E. HUBER, A. MELI, & E. L. PAILLARD (éds) *Atlas de la Suisse*. Office fédéral de topographie, Wabern-Bern.
- VITTOZ, P. & A. GUIGAN (soumis). how reliable is the monitoring of permanent vegetation plots? A test with multiple observers. *Journal of vegetation sciences*.
- VITTOZ, P., B. RULENCE, T. LARGEY & F. FRELÉCHOUX (soumis). Effects of climate and land-use change on the establishment and growth of cembran pine (*Pinus cembra* L.) over the timberline-treeline ecotone in the Central Swiss Alps. *Arctic, Antartic and Alpine Research*.
- VITTOZ, P., M. VUST, S. MAIRE & J.-P. THEURILLAT 2001. Changements climatiques: flore alpine en danger. *Terre & Nature*, 27 septembre 2001 : 21.
- WALTHER, G.-R. 2002. Weakening of climatic constraints with global warming and its consequences for evergreen broad-leaved species. *Folia Geobotanica* 37 : 129-139.
- WALTHER, G.-R., S. BEISSNER & C. A. BURGA 2005. Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science* 16 : 541-548.
- WALTHER, G.-R., E. POST, P. CONVEY, A. MENZEL, C. PARMESAN, T. J. C. BEEBEE, J.-M. FROMENTIN, O. HOEGH-GULDBERG & F. BAIRLEIN 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416 : 389-395.

