

ANALYSE ET RÉFLEXIONS PRÉLIMINAIRES SUR L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE EN VANOISE

par Michaël DELORME¹, Philippe LEBRETON², Louis REYNAUD² et Dominique ALLAINÉ²

Résumé. Le "Groupe Climat" du Parc national de la Vanoise, créé en 2006 à l'initiative de son Conseil scientifique, apporte les premières informations relatives à l'évolution climatique du massif montagneux considéré. Les conclusions actuelles se fondent sur l'analyse statistique de 2 160 moyennes mensuelles de la température, collectées par Météo-France (Savoie) de 1947 (ou 1971) à 2007 dans quatre stations météorologiques de Tarentaise et de Maurienne, étagées de 865 m (étage montagnard inférieur, Bourg-Saint-Maurice) à 2 000 m (étage subalpin supérieur, Lanslebourg Mont-Cenis), en passant par Avrieux (1 100 m) et Pralognan-la-Vanoise (1 430 m). Le massif ainsi représenté montre depuis 20 ans des signes indéniables d'échauffement s'inscrivant dans une logique générale couvrant (au moins) le nord de la région Rhône-Alpes, avec la Dombes comme station planitiaire de référence. Calculée sur la période étudiée puis extrapolée sur un siècle, la valeur moyenne de l'échauffement des quatre stations est égale à 3,5 +/- 1,8°C (1,7 à 5,2°C), en bon accord avec la fourchette de prévision du G.I.E.C. (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du Climat, co-Prix Nobel 2007), qui couvre de + 1,8 à + 4,0°C (*in* GURREY, 2007). Une variation de température de 3°C équivaut à un déplacement altitudinal de plus de 500 mètres et à un déplacement latitudinal de plus de 500 kilomètres. L'échauffement constaté connaît diverses déclinaisons dans l'espace (étagement bioclimatique) comme dans le temps (inter-annuel ou saisonnier), résumées comme suit :

- loin d'être constant de la plaine aux alpages, l'échauffement (et la sécurité statistique de ses valeurs) décroît avec l'altitude. Entre les deux périodes 1967-1987 et 1988-2007, l'écart passe de + 1,3°C à Bourg Saint-Maurice (valeur proche de celle de la Dombes) à + 0,6°C au Mont-Cenis. Du coup, le gradient thermique annuel local, jadis égal à 0,48°C / 100 m, est passé à 0,53°C dans l'intervalle de temps considéré ;
- dans les mêmes conditions, cette valeur annuelle n'est en outre qu'une moyenne entre une valeur semestrielle d'été supérieure et une valeur d'hiver inférieure. À Bourg-Saint-Maurice encore, les valeurs respectives sont + 1,8 et + 0,8°C, contre + 1,1 et + 0,3°C au Mont-Cenis. En d'autres termes, le réchauffement climatique porte davantage sur la saison chaude que sur la saison froide, comme il s'exprime davantage aux basses cotes qu'aux cotes élevées.

L'évolution saisonnière observée à Bourg-Saint-Maurice est tout à fait similaire à celle observée en Dombes (Ain) ; elle s'atténue au fur et à mesure que l'on progresse en altitude. Si l'échauffement du semestre estival reste bien palpable (mars, mai, août), celui du semestre hivernal diminue (novembre, décembre) et tend même à s'annuler dans l'étage subalpin. À Pralognan, situé pourtant quelque 550 mètres plus bas que le Mont-Cenis, l'hiver semble même un peu plus froid que jadis. Été et hiver sont donc en Vanoise deux saisons répondant très différemment au phénomène global d'échauffement climatique. Des approches locales se révèlent donc nécessaires pour toute prospective réaliste, cette conclusion prenant évidemment une valeur contrastée selon les enjeux touristiques considérés : les stations de sports de neige de faibles cotes ont ainsi devant elles des perspectives plus défavorables que celles implantées à de plus hauts niveaux. Par ailleurs, à titre prospectif, parmi les nombreux effets prévisibles ou possibles de l'échauffement climatique, des exemples commentés d'ordre local sont fournis sur la régression des glaciers, l'évolution spatio-temporelle des étages de végétation et le cycle saisonnier de la reproduction de la Marmotte alpine.

Mots-clés : Massif de la Vanoise (France) - Alpes internes nord-occidentales - Échauffement pluriannuel et saisonnier - Gradient thermique altitudinal - Impacts prévisibles.

Analysis and preliminary thoughts on the climate change in Vanoise (French Alps)

Key-words : Vanoise Mountains (France) - Climate warming.

¹ Pôle Patrimoine du Parc national de la Vanoise.

² Conseil scientifique du Parc national de la Vanoise, 135 rue du docteur Julliand, B.P. 705, F-73007 Chambéry cedex.

1. INTRODUCTION

La connaissance du climat régional n'est pas une préoccupation récente du Parc national de la Vanoise, de ses personnels et de ses chercheurs, comme en témoignent diverses études parues dans la revue des Travaux scientifiques publiés par l'établissement depuis 1970 [bibliographie complète *in fine*, de Péguy (1973) à Lebreton *et al.* (2000), en passant par Gensac (1978) ou Reynaud *et al.* (1983)] ; mais la question n'est vraiment montée en puissance que sous la forme du "réchauffement climatique", dans la décennie 1990. Chaque entité biogéographique se particularisant à propos des interactions climat / milieu ambiant, climat / biodiversité, climat / activités humaines, un parc national ne pouvait rester étranger à des préoccupations que partagent désormais les usagers et les acteurs de tout espace, protégé ou non. On doit en effet connaître, pour mieux l'affronter, une évolution dont la réalité ne fait aujourd'hui plus de doute et doit être prise en compte à tous les niveaux de responsabilité, des individus aux gouvernements, en passant par les corps constitués.

Le principe de la mise en place d'un "Groupe Climat" au sein du Parc national de la Vanoise a été adopté lors de la séance du 9 octobre 2006 de son Conseil scientifique, puis validé par le Conseil d'administration sur proposition de la Direction du parc. La liste des membres de ce groupe figure p. 104. Un premier dépouillement des données provenant de Météo-France a été effectué en 2007 ; le projet a été discuté et approfondi lors de la réunion du 14 novembre 2007 du Conseil scientifique du Parc. Un aperçu préliminaire et public des résultats est paru pendant l'été 2008 dans le numéro 9 de *Vanoise*, "Journal d'information de l'espace Parc". Tout en soulignant que de telles études doivent s'inscrire dans une perspective pluridécennale, il apparaît possible et utile d'en présenter ici quelques résultats qui, s'ils confirment d'ores et déjà la réalité locale du phénomène global, laissent apparaître quelques nuances susceptibles d'éclairer les pratiques et la gestion de l'espace concerné, considéré comme écosystème naturel et humain.

Plus que le terme banalisé de "réchauffement climatique", on emploiera ici de préférence, soit celui parfaitement neutre "d'évolution climatique", soit celui désormais justifié par divers phénomènes observés à toutes les échelles mondiales, de "dérèglement climatique", qui englobe également l'évolution des précipitations en interaction avec les facteurs thermiques, et les phénomènes météoriques afférents (tempêtes, ouragans, inondations, etc.). Bien que les scientifiques les plus compétents en la matière, réunis au sein du G.I.E.C. (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du Climat, co-Prix Nobel 2007), aient prudemment affirmé ("probabilité supérieure à 90 %") en janvier 2007 à Paris que la responsabilité de l'Homme était engagée, via l'augmentation anthropique des gaz "à effet de serre" (Gurrey, 2007), on n'abordera pas ici cet aspect causal des phénomènes observés. En outre, on n'envisagera ici que brièvement le paramètre précipitations (pluies et / ou neige), à caractère trop aléatoire pour être traité statistiquement, du moins en l'état actuel des données : d'une année sur l'autre, un mois d'août peut être plus sec que février, l'inverse douze mois plus tard ; en revanche, on n'a jamais vu, même pour les hivers les plus doux et les étés les plus froids, relativement parlant, un mois d'août plus froid qu'un mois de février ! C'est d'ailleurs dans ces aspects statistiques que réside la difficulté majeure des études climatiques, qui se proposent de dégager des tendances significatives à partir de variations météorologiques apparemment très dispersées d'une année sur l'autre. En tout état de cause, l'évolution des précipitations pluviales ou nivales en Vanoise paraît de second ordre par rapport à celle des températures, bien que toutes deux contribuent à l'établissement des bilans hydriques, via les paramètres pluvio-thermiques.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Origine et traitement des données

Les données thermiques ici traitées proviennent de relevés standardisés fournis par Météo-France (Savoie) ; il s'agit de moyennes mensuelles, calculées à partir des moyennes journalières, demi-sommes des valeurs maximales (diurnes) et minimales (nocturnes), fournies au dixième de degré centigrade (°C). Une décimale supplémentaire a été conservée après calculs, afin d'éviter toute éventuelle perte d'information liée au hasard de l'arrondissement des chiffres à la plus proche valeur ; présente en archives, cette décimale supplémentaire ne figure pas pour autant dans tous les tableaux ou figures présentés. Les quelques données mensuelles manquantes (12 sur 2 160) ont été estimées par double interpolation, "verticale" (entre années encadrant la donnée manquante du même mois) et "horizontale" (entre mois encadrant la donnée manquante de la même année). La période considérée ne couvre que la seconde moitié du XX^e siècle et le début du XXI^e, mais elle échappe aux critiques d'hétérogénéité voire de manque de rigueur encourues par des données antérieures, obtenues par des organismes distincts (Office national météorologique : O.N.M. ; Électricité de France : EDF ; Universités, etc.), même si elles ont été utilisées dans divers travaux (cités par exemple *in* Lebreton *et al.*, 2000).

Ces données mensuelles sont classiquement regroupées en moyennes annuelles, afin d'en suivre l'évolution à l'échelle décennale. L'année dite légale est certes commode d'emploi mais, si elle englobe toute la "belle saison", de mars à août (qui connaît l'essentiel des phénomènes biologiques, animaux et végétaux), elle présente l'inconvénient de couper en deux la "mauvaise saison", de septembre à février (qui intéresse surtout le "tourisme blanc"). On distinguera donc deux semestres désignés comme "Été" et "Hiver", dont la somme constitue une "Année écologique", couvrant du mois de mars de l'année légale de rang N au mois de février de l'année N + 1. Ceci dit, les différences observées entre années "légales" et "écologiques" restent de second ordre, comme on le verra plus loin, mais avec plus de précision (écarts-types moindres) dans le second cas.

Les calculs de moyennes et d'écarts-types et les tests t de Student ont été effectués à l'aide du logiciel Statitcf ; les régressions linéaires ou paraboliques ont été calculées et tracées à l'aide du logiciel Excel. On estime qu'un échantillon de 25 à 30 données constitue un minimum satisfaisant. Les conventions usuelles de sécurité statistique ont été utilisées, avec les seuils suivants : risque p inférieur à 0,001 = 1 p. mille, hautement significatif *** ; compris entre 0,001 et 0,01 = 1 %, fortement significatif ** ; entre 0,01 et 0,05 = 5 %, significatif * ; entre 5 et 10 %, peu significatif (*) ; supérieur à 0,10 = 10 %, non significatif NS. De la sorte, les écarts ponctuels aux tendances générales (par exemple un mois d'août particulièrement maussade en 2007), résultant des aléas propres à tout phénomène naturel, ne peuvent être opposés à des résultats statistiquement assurés dans l'espace et le temps considérés.

2.2. Stations météorologiques considérées

Nos choix ont été guidés par trois considérations pratiques, conciliant disponibilité et représentativité : géographique (2 stations en Maurienne, 2 en Tarentaise), altitudinale (de 865 à 2 000 m), chronologique (au maximum 61 années de relevés, au minimum 37). Il s'agit des stations de Bourg-Saint-Maurice, Avrieux, Pralognan-la-Vanoise et Lanslebourg Mont-Cenis, étagées du sous-étage collinéen supérieur au subalpin supérieur (tableau I). Aucune station météorologique "alpine" (au sens de l'étagement) n'étant actuellement disponible, on peut regretter que les 5 postes installés à l'automne 1973 par le professeur Pierre Gensac (alors membre du Comité scientifique du Parc national) n'aient fonctionné que jusqu'en 1976 (Gensac, 1978), interrompant ainsi une série de relevés qui serait aujourd'hui très précieuse. Ces stations s'étagaient en effet de 1 935 mètres (l'Orgère, Villarodin-Bourget) à 2 480 mètres (Grande-Sassière, Tignes), en passant par 2 020 mètres (le Bochor, Pralognan), 2 250 mètres (Planc-Sec, Aussois) et 2 340 mètres (Grand-Vallon, Val d'Isère). Afin de disposer d'une station de référence planitiaire, nous avons emprunté à la Fondation Pierre Vérots les données Météo-France (Ain) de la station de Marlieux en Dombes (altitude 280 m),

située peu au nord-est de Lyon (Richoux et Lebreton, 2008), portant ainsi le nombre de données mensuelles utilisées à 2 688.

Commune et station	Altitude en mètres	température moyenne annuelle	étage et sous-étages bioclimatiques	Latitude ° Nord	Longitude ° Est	Période de relevés
Bourg Saint-Maurice Croix Saint-Maurice	865 m	9,5 °C	collinéen supérieur	45° 36' 8	06° 45' 8	1947-2007
Avrieux Usine ONERA	1 102 m	7,9 °C	montagnard moyen	45° 13' 0	06° 42' 9	1967-2007
Pralognan la Vanoise Grand Couloir	1 420 m	5,5 °C	montagnard supérieur	45° 23' 0	06° 44' 2	1967-2007
Lanslebourg Mont-Cenis Barrage du Mont-Cenis	2 000 m	2,7 °C	subalpin supérieur	45° 13' 1	06° 56' 6	1971-2007
Marlieux en Dombes Le Clou	280 m	11,0°C	planitiaire	46° 02' 2	05° 02' 4	1964-2007

Tableau I. Caractéristiques géographiques des 5 stations Météo-France de Vanoise et de Dombes.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Évolution décennale

3.1.1. Dans un premier temps, une recherche de régression linéaire conduite sur les valeurs annuelles "écologiques" pour les 4 stations de Vanoise permet de conclure à une augmentation généralement significative de la température, comme pour la station planitiaire de Dombes, dans la seconde moitié du siècle dernier (tableau II).

Valeurs annuelles moyennes					
station	période couverte	équation de régression	pente décennale	coefficient de régression	risque statistique
Dombes 280 m	1964-2007	$y = 0,0641 N + 9,52$	+ 0,64°C	$r = 0,802$	$p < 0,001$ ***
Bourg Saint-Maurice 865 m	1947-2007	$y = 0,0510 N + 8,33$	+ 0,51°C	$r = 0,785$	$p < 0,001$ ***
Avrieux 1 102 m	1967-2007	$y = 0,0329 N + 7,18$	+ 0,33°C	$r = 0,651$	$p < 0,001$ ***
Pralognan 1 420 m	1967-2007	$y = 0,0168 N + 5,19$	+ 0,17°C	$r = 0,277$	$p = 0,07$ (*)
Mont-Cenis 2 000 m	1971-2007	$y = 0,0290 N + 2,22$	+ 0,29°C	$r = 0,333$	$p = 0,04$ *

Tableau II. Évolution thermique décennale en Vanoise (et en Dombes) moyennes annuelles (régression linéaire). Données Météo-France.

La figure 1 fournit les courbes représentatives pour la période 1971-2007 commune aux cinq stations, à partir desquelles sont calculées les moyennes alpestres utilisées ci-dessous. Les régressions paraboliques ou exponentielles ne donnent pas de résultats bien différents à cette échelle. Plus précisément, l'échauffement annuel diminue de la plaine (Marlieux, 280 m) aux cimes (Mont-Cenis, 2 000 m) ; il en est de même de la sécurité statistique qui l'accompagne : en dessous de 1 200 mètres, si le phénomène confine à la certitude, il devient moins assuré et moins logique au-delà, puisque l'échauffement relevé au Mont-Cenis est proche de celui d'Avrieux, autour d'une valeur décennale égale à $0,35 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ (moyenne des quatre stations alpestres). L'analyse saisonnière (semestres Été / Hiver) nuance ce constat annuel (tableau III page 75). La figure 2 compare les quatre stations de Vanoise et celle de Dombes pour la saison (semestrielle) dite d'été.

En ne considérant que la belle saison (de mars à août), le tableau se confirme en se simplifiant : la réalité du réchauffement s'affirme à toutes cotes, tout en diminuant du double au simple de la plaine aux cimes (de $+ 0,8$ à $+ 0,4^{\circ}\text{C}$) ; la moyenne décennale alpestre vaut $0,55 \pm 0,17^{\circ}\text{C}$. On devine qu'il va en être autrement des valeurs hivernales, puisqu'elles contribuent pour moitié aux moyennes de l'année (tableau IV page 76) ; la figure 3 illustre cette évolution des cinq stations de Vanoise et de Dombes pour la saison d'hiver, de septembre à février inclus.

En effet, non seulement l'échauffement hivernal est toujours inférieur à celui de l'été (à Bourg-Saint-Maurice, $0,38^{\circ}\text{C}$ contre $0,65^{\circ}\text{C}$ pour l'année), mais il prend même une valeur négative à Pralognan la Vanoise, qui reste néanmoins faible ($- 0,1^{\circ}\text{C}$) ; la moyenne décennale alpestre vaut ici $0,14 \pm 0,22^{\circ}\text{C}$. Toutefois, d'Avrieux au Mont-Cenis, les variations observées sont dépourvues de sécurité statistique, et seule la logique générale permet de leur attribuer crédit. La situation particulière de Pralognan, où les hivers semblent ignorer le réchauffement climatique, pourrait-elle être due à la proximité du dôme des glaciers de la Vanoise ? Pour fondre, une masse glaciaire absorbe en effet de l'énergie, générant ainsi des masses d'air froid pouvant couler vers les vallées en y créant un micro-climat saisonnier (vents froids à caractère catabatique). En outre, les températures, notamment hivernales, sont plus irrégulières aux cotes élevées, avant (voir Mont-Cenis) comme après 1988 (voir Pralognan).

Toujours est-il qu'été et hiver sont, en Vanoise, deux semestres réagissant très différemment au phénomène global d'échauffement climatique ; cette conclusion prend évidemment une valeur contrastée selon les enjeux touristiques considérés. Le tableau V résume les pronostics d'évolution (pentes séculaires), sous l'évidente réserve de la poursuite du phénomène d'échauffement et de sa cause principale désormais hautement probable (augmentation des gaz à effets de serre).

	Pentes thermiques exprimées en $^{\circ}\text{C} / \text{siècle}$ (à partir de 1971) (risque statistique NS à ***)		
	années	étés	hivers
Dombes (280 m)	+ 7,4 $^{\circ}\text{C}$ ***	9,2 ***	5,7 ***
Bourg St-Maurice (865 m)	5,9 ***	7,8 ***	3,9 ***
Avrieux (1 102 m)	3,5 ***	5,7 ***	1,3 NS
Pralognan (1 420 m)	1,7 (*)	4,7 ***	- 1,4 NS
Mont-Cenis (2 000 m)	2,9 *	3,9 **	1,9 NS

Vanoise (4 stations)			
Moyenne (écart-type)	+ 3,5 (1,8) $^{\circ}\text{C}$	+ 5,5 (1,7) $^{\circ}\text{C}$	+ 1,4 (2,2) $^{\circ}\text{C}$
Fourchette probable	+ 1,7 / + 5,2 $^{\circ}\text{C}$	+ 3,8 / + 7,2 $^{\circ}\text{C}$	- 0,7 / + 3,6 $^{\circ}\text{C}$

Tableau V. Pentes thermiques séculaires en Vanoise (et en Dombes).

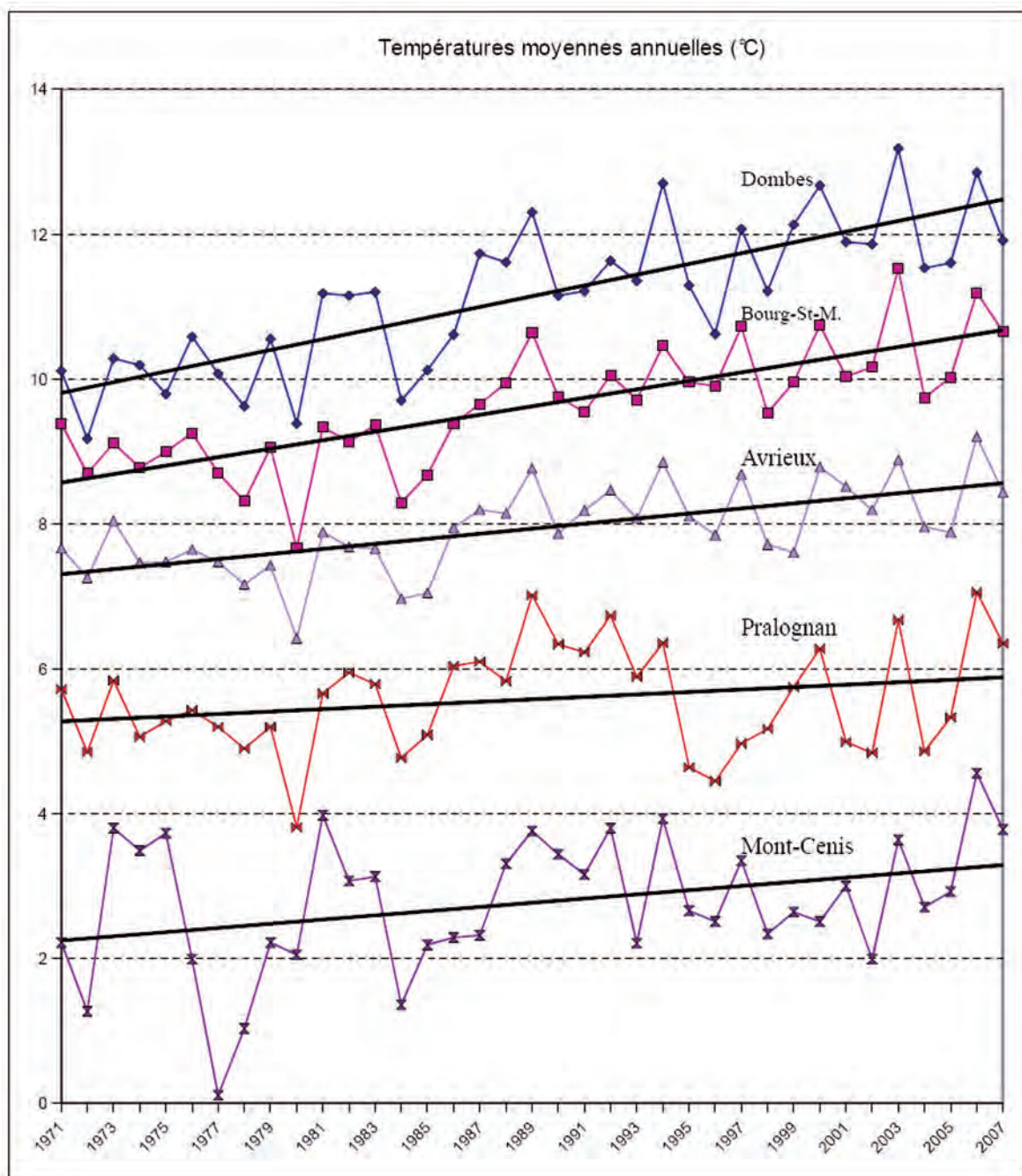


Figure 1. Évolution décennale des températures annuelles moyennes, de la Dombes (courbe du haut) au Mont-Cenis (courbe du bas). Données Météo-France.

Valeurs estivales moyennes					
station	période couverte	équation de régression	pente décennale	coefficient de régression	risque statistique
Marlieux 280 m	1964-2007	$y = 0,0775 N + 12,93$	+ 0,78°C	$r = 0,814$	$p < 0,001$ ***
Bourg Saint-Maurice 865 m	1947-2007	$y = 0,0646 N + 11,91$	+ 0,65°C	$r = 0,746$	$p < 0,001$ ***
Avrieux 1 102 m	1967-2007	$y = 0,0509 N + 10,66$	+ 0,51°C	$r = 0,705$	$p < 0,001$ ***
Pralognan 1 420 m	1967-2007	$y = 0,0421 N + 8,06$	+ 0,42°C	$r = 0,521$	$p < 0,001$ ***
Mont-Cenis 2 000 m	1971-2007	$y = 0,0392 N + 4,91$	+ 0,39°C	$r = 0,402$	$p = 0,002$ **

Tableau III. Évolution thermique décennale en Vanoise (et en Dombes) moyennes estivales (régression linéaire). Données Météo-France.

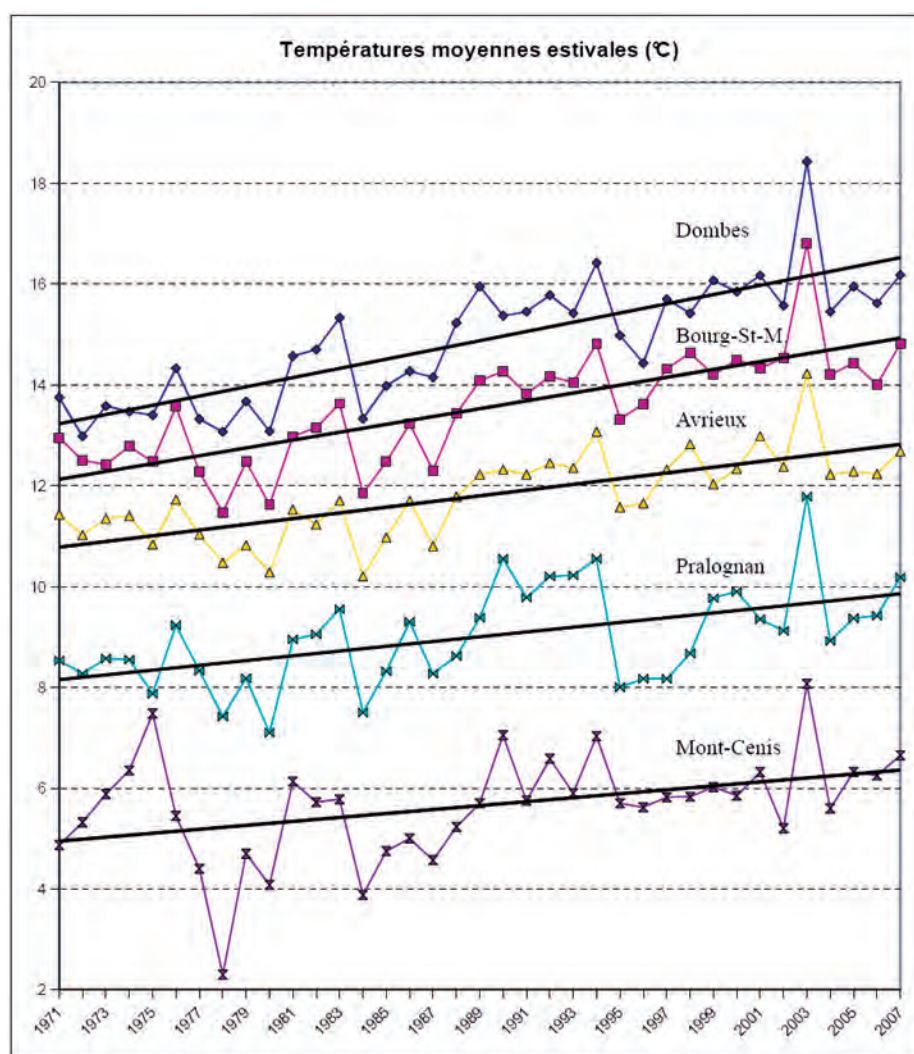


Figure 2. Évolution décennale des températures estivales moyennes, de la Dombes (courbe du haut) au Mont-Cenis (courbe du bas). Données Météo-France.

Valeurs hivernales moyennes					
station	période couverte	équation de régression	pente décennale	coefficient de régression	risque statistique
Marlieux 280 m	1964-2007	$y = 0,0507 N + 6,11$	+ 0,51°C	$r = 0,625$	$p < 0,001$ ***
Bourg Saint-Maurice 865 m	1947-2007	$y = 0,0375 N + 4,75$	+ 0,38°C	$r = 0,549$	$p < 0,001$ ***
Avrieux 1 102 m	1967-2007	$y = 0,0146 N + 3,71$	+ 0,15°C	$r = 0,236$	$p > 0,10$ NS
Pralognan 1 420 m	1967-2007	$y = - 0,0086 N + 2,32$	- 0,09°C	$r = 0,107$	$p > 0,10$ NS
Mont-Cenis 2 000 m	1971-2007	$y = 0,0185 N - 0,47$	+ 0,19°C	$r = 0,155$	$p > 0,10$ NS

Tableau IV. Évolution thermique décennale en Vanoise (et en Dombes) moyennes hivernales (régression linéaire). Données Météo-France.

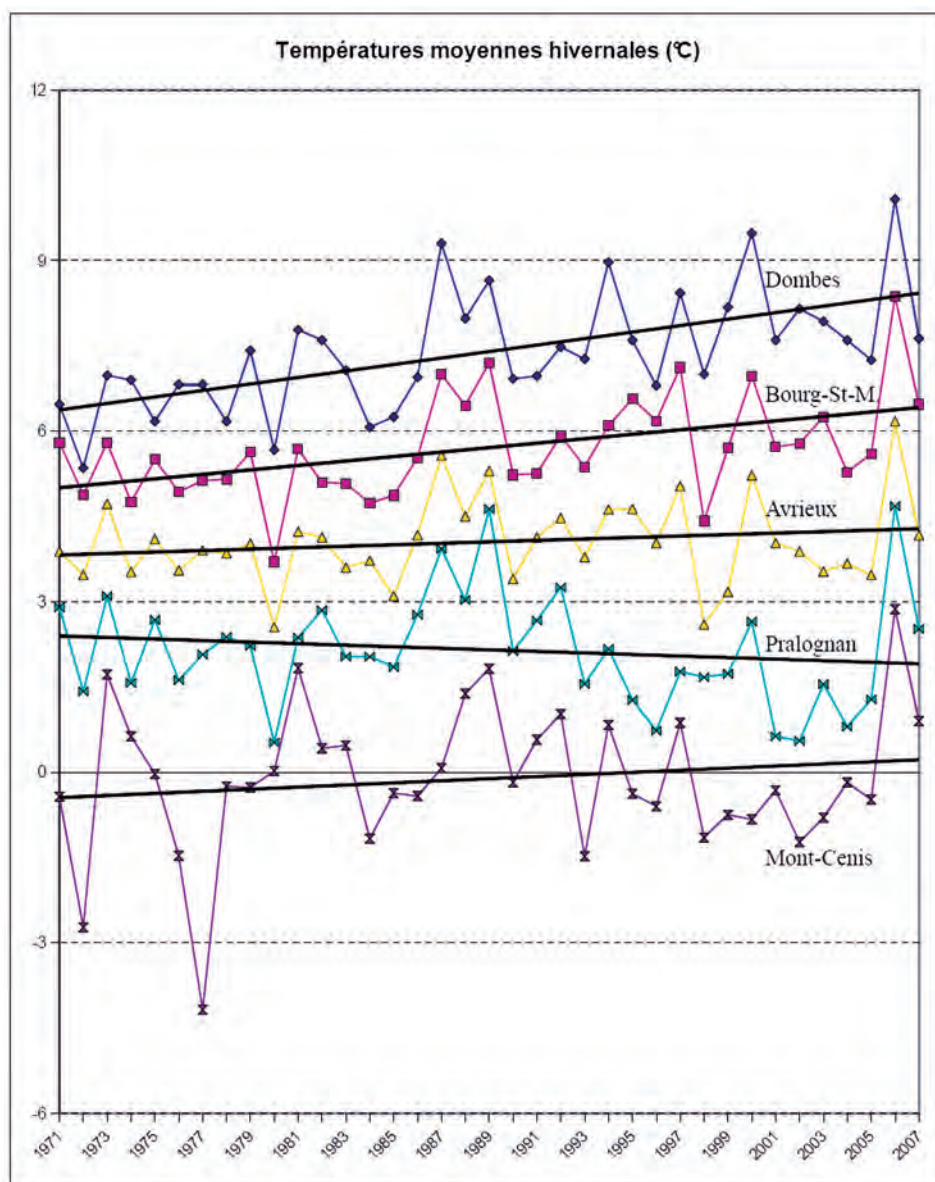


Figure 3. Évolution décennale des températures hivernales moyennes, de la Dombes (courbe du haut) au Mont-Cenis (courbe du bas). Données Météo-France.

3.1.2. Dans un second temps, un examen plus attentif de courbes évolutives comme celles de Bourg Saint-Maurice (plus particulièrement annuelles et estivales ; cf. figures 1 et 2) montre que les décennies considérées se partagent en deux périodes, avec un tournant peu après le milieu de la décennie 1980. D'une manière générale, on peut parler de "plateau" pour les relevés antérieurs à 1987 (+/- 1 an), de "progression" au-delà (sauf en hiver à Pralognan, encore que la sécurité statistique de ce cas particulier ne soit pas hautement assurée) ; ce tournant coïncide avec trois hivers consécutifs relativement chauds. La comparaison des deux périodes successives 1967-1987 et 1988-2007 précise le phénomène (tableau VI p. 99), confirmant également le peu de différence statistique existant entre les valeurs annuelles "légalées" et "écologiques" ; on notera néanmoins que les écarts-type obtenus sont toujours plus faibles pour ces dernières (par exemple 0,16 vs 0,38 et 0,16 vs 0,40 à Avrieux), confirmant leur meilleure homogénéité.

Complémentairement, la répartition des années en périodes successives de 6 ans (4 à 7 dans certaines stations) laisse très nettement apparaître cette césure (tableau VII p. 100), notamment à Bourg Saint-Maurice, où les moyennes estivales sont inférieures à 13°C avant 1988, et supérieures à 14°C au-delà ; bien que moins net, le phénomène est également visible aux plus hautes cotes (Pralognan et Mont-Cenis), où les moyennes sur 6 ans sont supérieures, au plus égales, après 1988 à ce qu'elles étaient auparavant. Une chronologie similaire a été observée à partir des bilans annuels de masses glaciaires favorables et défavorables (Vallon *et al.*, 1995).

3.2. Évolution saisonnière

La réalité de l'échauffement annuel ayant été établie à l'échelle inter-annuelle, on doit s'interroger sur sa répartition intra-annuelle (= saisonnière), notamment au niveau mensuel : l'échauffement porte-t-il également sur tous les mois de l'année, ou seulement sur certains, et lesquels ? Pour cela, les moyennes mensuelles (et leurs écarts-types) ont été calculées mois par mois pour les deux périodes consécutives qui viennent d'être mises en évidence (tableau VIII p.101-102).

Un premier constat s'impose, d'une nette différence de réactivité entre saisons chaudes et froides (ce que laissent déjà entrevoir les données du tableau VI) : partout, de la plaine aux cimes, l'échauffement estival est supérieur à celui de la mauvaise saison, d'autant qu'au-delà de 1 200 mètres les différences hivernales deviennent moins palpables, en tout cas non significatives (figures 4a-d). Plus finement et curieusement, trois mois non consécutifs se révèlent plus "échauffés" que les autres dans les cinq stations étudiées : mars, mai et août, la moyenne thermique de ce dernier égalant désormais celle de juillet dans tous les cas. Autre particularité : partout, la variabilité de l'échauffement, estimée par son écart-type (cf. tableau VII), est supérieure en mauvaise saison (0,65 +/- 0,13°C) à ce qu'elle est en belle saison (0,46 +/- 0,07°C) (différence 0,20°C ; t = 3,07 ; p = 0,008 **). En d'autres termes, non seulement le réchauffement climatique porte davantage sur la plaine que sur la montagne, plus sur l'été que sur l'hiver, mais de manière plus aléatoire - donc moins prévisible - dans le second cas. Les tableaux IXa et IXb résument ces résultats en délimitant deux zones "chronospatiales" : une zone d'échauffement estival fort et assuré, surtout aux basses cotes ; inversement, aux plus hauts niveaux étudiés, une zone hivernale où les variations thermiques sont négatives à faibles ; bien qu'incertaines individuellement parlant, leur cohérence générale plaide néanmoins en faveur d'une subtile réalité.

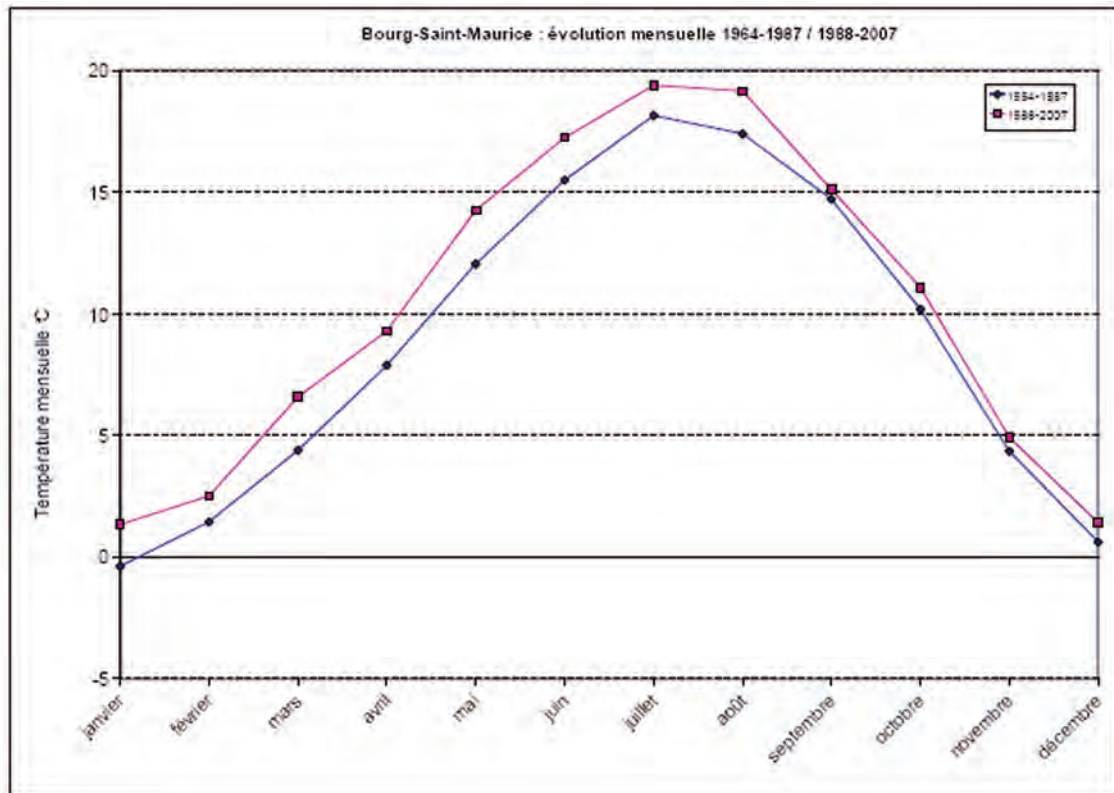


Figure 4a. Évolution mensuelle des températures en Vanoise entre les deux périodes 1964-1987 et 1988-2007 : Bourg Saint-Maurice

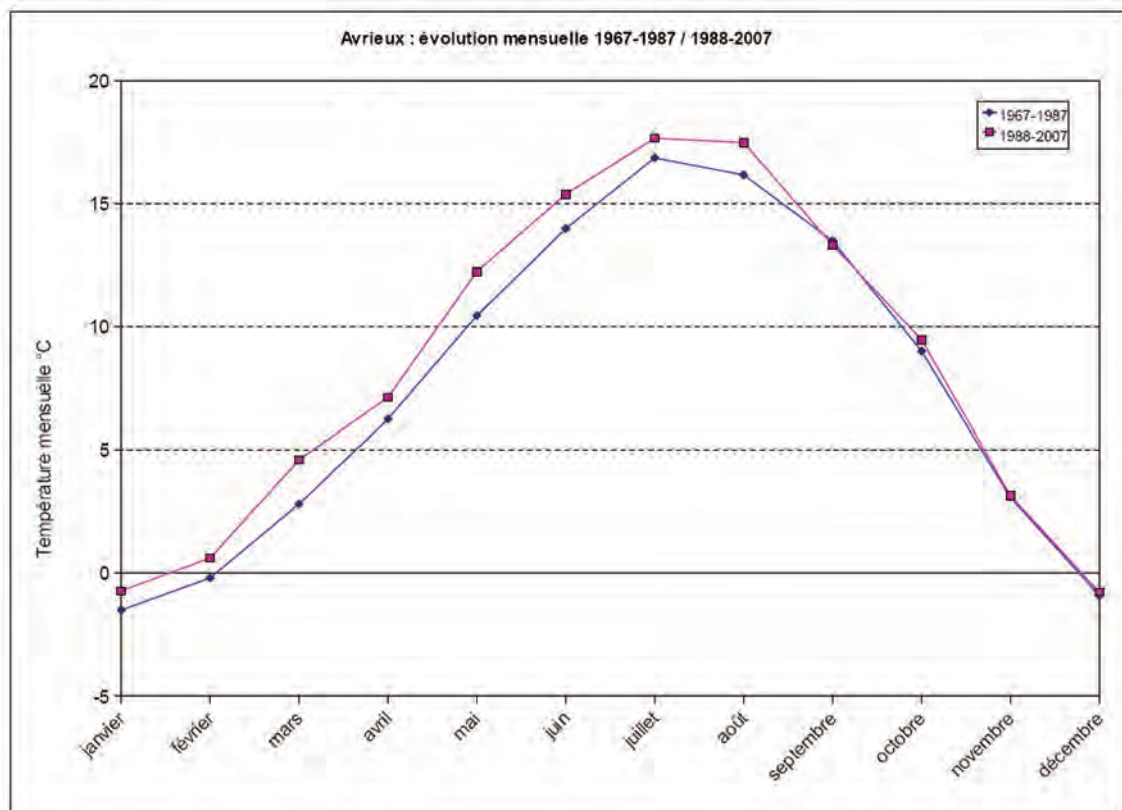


Figure 4b. Évolution mensuelle des températures en Vanoise entre les deux périodes 1967-1987 et 1988-2007 : Avrieux

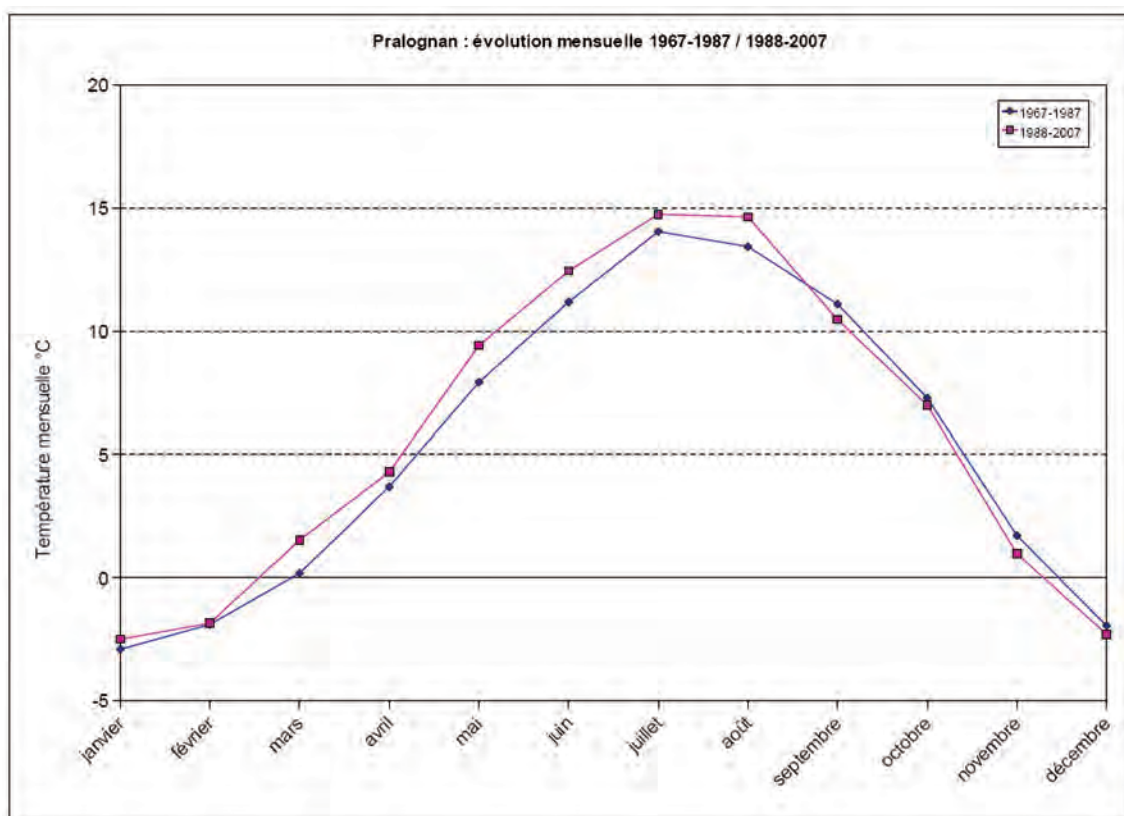


Figure 4c. Évolution mensuelle des températures en Vanoise entre les deux périodes 1967-1987 et 1988-2007 : Pralognan

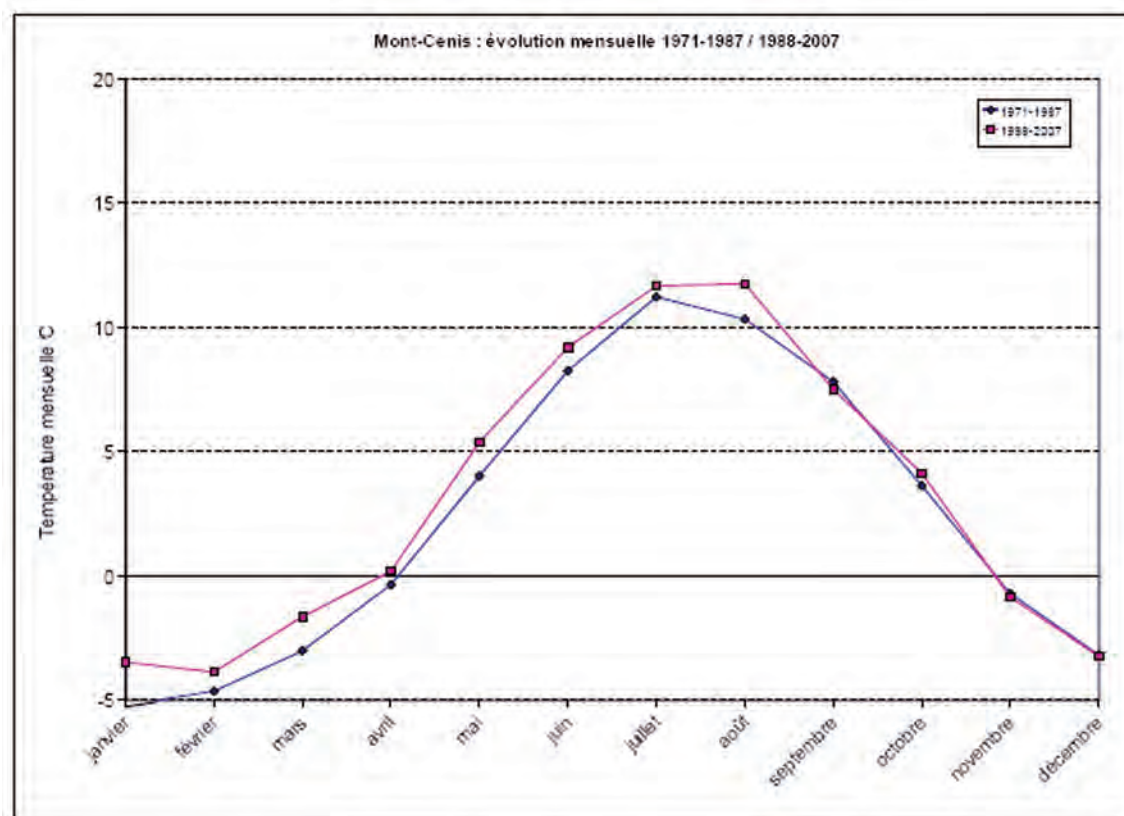


Figure 4d. Évolution mensuelle des températures en Vanoise entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007 : Mont-Cenis

Année	Dombes 280 m 1,6°C	Bourg-St-Maurice 865 m 1,3°C	Avrieux 1 102 m 0,8°C	Pralognan 1 420 m 0,4°C	Mont-Cenis 2 000 m 0,6°C
Janvier	1,8	1,7	0,8	0,4	1,7
Février	1,2	1,1	0,8	0,1	0,8
Mars	2,2	2,2	1,8	1,3	1,4
Avril	1,6	1,4	0,9	0,6	0,5
Mai	2,4	2,2	1,8	1,5	1,4
Juin	2,0	1,7	1,4	1,3	0,9
Juillet	1,6	1,2	0,8	0,7	0,3
Août	2,4	1,8	1,3	1,2	1,4
Septembre	1,0	0,4	-0,2	-0,6	-0,3
Octobre	1,6	0,9	0,5	-0,3	0,5
Novembre	0,8	0,6	0,1	-0,7	-0,1
Décembre	1,0	0,8	0,1	-0,4	-0,1

Tableau IXa. Répartition mensuelle et altitudinale de l'échauffement en Vanoise (et en Dombes) entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007 : écarts thermiques.

Année	Dombes 280 m 1,6°C ***	Bourg-St-Maurice 865 m 1,3°C ***	Avrieux 1 102 m 0,8°C ***	Pralognan 1 420 m 0,4°C *	Mont-Cenis 2 000 m 0,6°C *
Janvier	**	**	(*)	NS	*
Février	*	(*)	NS	NS	NS
Mars	***	***	**	*	*
Avril	***	**	*	NS	NS
Mai	***	***	***	**	*
Juin	***	***	***	**	*
Juillet	***	**	*	*	NS
Août	***	***	**	**	*
Septembre	*	NS	NS	NS	NS
Octobre	**	(*)	NS	NS	NS
Novembre	(*)	NS	NS	(*)	NS
Décembre	*	NS	NS	NS	NS

Tableau IXb. Répartition mensuelle et altitudinale de l'échauffement en Vanoise (et en Dombes) entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007 : sécurité statistique.

Un autre enseignement peut être tiré de ces données, concernant l'amplitude thermique annuelle (différence entre les maximums estivaux et les minimums hivernaux, dont on sait qu'elle permet de distinguer les climats dits océaniques (à faible amplitude) des climats dits continentaux (à plus forte amplitude) ; pour améliorer la sécurité statistique, nous avons apprécié cette amplitude par la différence observée entre les températures moyennes des deux semestres chaud (de mars à août) et froid (de septembre à février) pour les 5 stations (cf. tableau VI, p. 100). Pour la période antérieure à

1988, cette différence (plus faible au-delà de 1 200 m) vaut en moyenne 6,6 +/- 0,8°C, contre 7,6 +/- 0,9°C après cette date ; l'écart entre les deux périodes est égal à + 1,0 +/- 0,2°C, sans relation avec l'altitude (tableau X).

	avant 1988	après 1987	variation	risque statistique
Dombes	7,06	7,89	+ 0,84 (0,22)	p = 0,006 **
Bourg Saint-Maurice	7,30	8,27	+ 0,97 (0,18)	p = 0,002 **
Avrieux	7,25	8,25	+ 1,00 (0,19)	p = 0,002 **
Pralognan	6,18	7,51	+ 1,33 (0,27)	p = 0,003 **
Mont-Cenis	5,37	6,14	+ 0,77 (0,47)	p = 0,088 (*)
	----- 6,63 (0,84)° C	----- 7,61 (0,88)° C	----- + 0,98 (0,22)° C	

Tableau X. Différentiels thermiques "Étés" vs "Hivers" en Vanoise (et en Dombes) dans les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007, calculé sur les 7 périodes consécutives de 6 ans.

La différence entre les deux périodes est fortement significative jusqu'à Pralognan inclus, moins nettement au Mont-Cenis ; pour l'ensemble de l'échantillon, la moyenne de 1°C reste significative [t = 1,80 ; p = 0,054 (*)]. De ceci on peut conclure à une tendance du climat à la continentalisation ; pourtant, ce seul critère doit être relativisé puisqu'il ne s'accompagne apparemment pas d'une augmentation des précipitations estivales (autre trait continental, *vide infra*) et qu'il se voit contrebalancé par un net échauffement en belle saison (ce qui évoque plutôt une méditerranéisation). La situation de carrefour de notre région entre les trois grands climats européens explique peut-être ces incohérences formelles, qui tendent plutôt à accréditer le concept de dérèglement climatique envisagé en exergue.

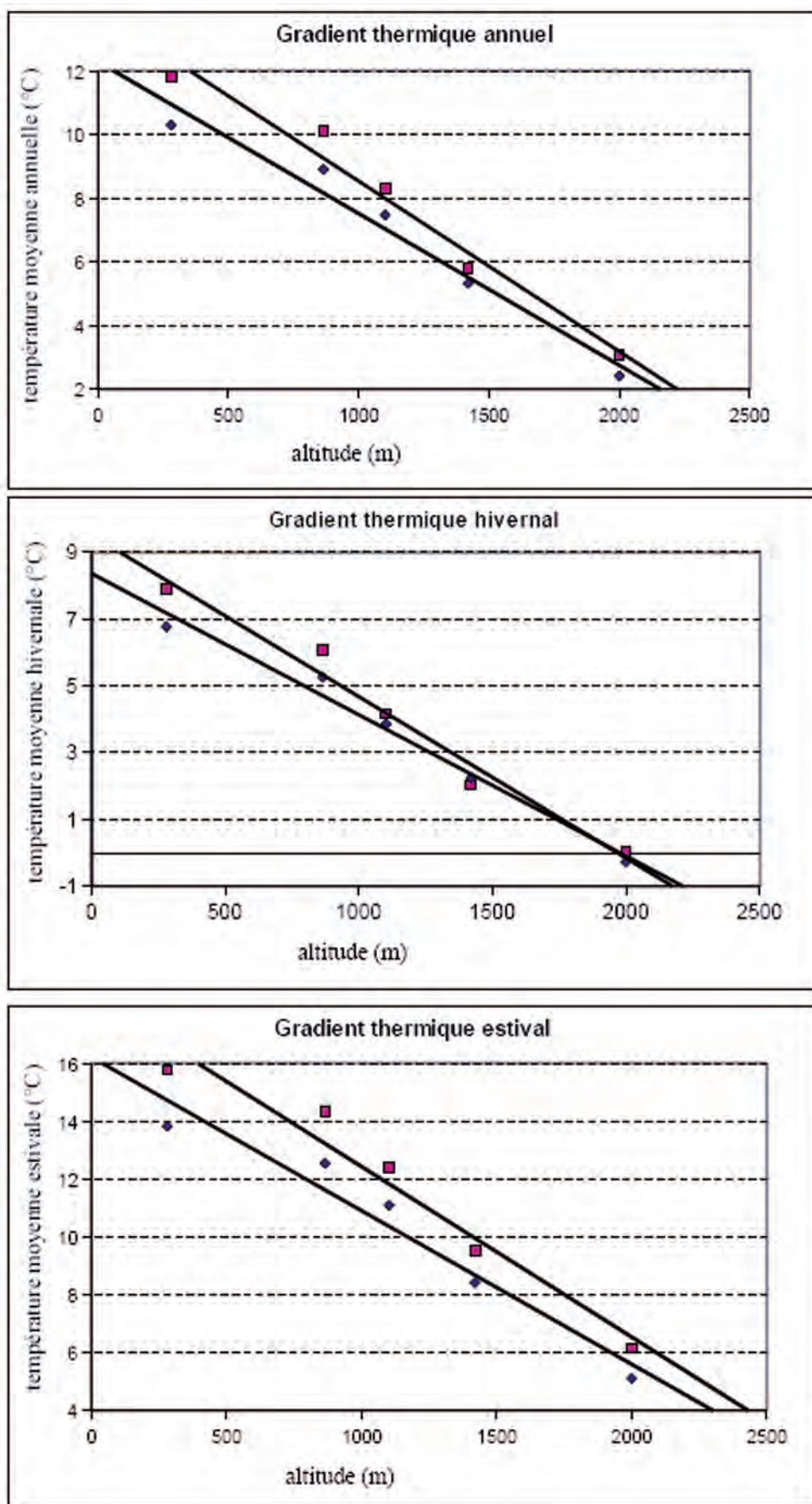
3.3. Gradients thermiques altitudinaux

Ce que l'on appelle les gradients thermiques (en montagne) découle d'une règle universelle voulant - en application de la diminution régulière de la pression atmosphérique en altitude, accompagnée de détente adiabatique consommatrice d'énergie - que la température décroisse elle aussi linéairement du niveau de la mer à la troposphère. La valeur universelle admise, de peu supérieure à un demi-degré Celsius, a été parfaitement vérifiée en Vanoise à la fin du siècle dernier (Lebreton *et al.*, 2000, p.1-37) à partir des relevés de 13 stations Météo-France obtenus entre 1967 et 1995 :

- Maurienne (7 stations de 620 à 2 000 m) : t° C = 13,8 - 0,55 (+/- 0,054) x hectomètre (r = 0,977 ; p << 0,001),
- Tarentaise (6 stations de 480 à 1 840 m) : t° C = 13,5 - 0,52 (+/- 0,069) x hectomètre (r = 0,966 ; p << 0,001),
- Vanoise (13 stations de 480 à 2 000 m) : t° C = 13,6 - 0,54 (+/- 0,039) x hectomètre (r = 0,977 ; p << 0,001),

soit une valeur annuelle moyenne alors égale à 13,6 +/- 0,1°C au niveau de la mer, diminuant de 0,54°C par hectomètre vers le haut, plus faiblement en hiver (0,44°C) qu'en été (0,56°C) ; l'isotherme annuelle 0°C se situait alors vers 2 530 mètres ["centre de gravité" de l'étagement du Lagopède alpin (Martinot et Lebreton, 2006)].

Ici, en calculant le même gradient annuel avant 1988 pour les 1 + 4 stations ici disponibles (de 280 m, en Dombes, à 2 000 m, au Mont-Cenis), nous trouvons une valeur un peu inférieure à celle qui vient d'être rappelée : t° C = 12,3 - 0,48 x hectomètre (r = 0,982 ; p < 0,001 ***), qui passe à t° C = 13,9 - 0,53 x hectomètre pour la seconde période (r = 0,986 ; p < 0,001 ***) (fig.5a-c), soit une augmentation du gradient thermique de l'ordre de 10 %. On développera ci-dessous (voir 4.2.)



Figures 5abc. Comparaison des gradients thermiques altitudinaux, de la Dombes au Mont-Cenis, entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007. Données Météo-France.

la relation existant entre altitude et température, mais on peut d'ores et déjà signaler que, dans l'intervalle de temps ci-dessus considéré, l'isotherme annuelle 0°C calculée à partir des cinq stations a donc progressé de près de 100 mètres, passant de 2 470 à 2 560 mètres.

Si l'on prend séparément en compte les saisons estivales et hivernales, le gradient estival passe de + 0,48 à 0,53°C / hectomètre entre les deux périodes décennales séparées par l'année 1988, le gradient hivernal - normalement inférieur - passe de + 0,42 à 0,48°C / hectomètre ; en mauvaise saison, les courbes des deux périodes convergent aux hautes cotes, ce qui confirme que l'échauffement concerne alors plus la plaine que les cimes ; le phénomène est moins marqué en belle saison, où l'échauffement reste sensible à tous les niveaux. La régression parabolique améliore l'alignement des points (la Dombes s'écartant quelque peu de la Vanoise), sans changer pour autant la validité statistique des résultats, hautement significatifs ; la remarque vaut également pour les courbes saisonnières.

Entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007, l'échauffement décennal décroît régulièrement de la plaine aux cimes (tableau XI et figure 6 page 84), plus marqué (et statistiquement mieux assuré) en été qu'en hiver, saison où il devient proche de zéro vers 2 000 mètres : on retrouve le constat d'un échauffement plus faible en hiver qu'en été, aux cotes supérieures plutôt qu'aux basses cotes, avec quasi extinction du phénomène en mauvaise saison à la limite supérieure des boisements. Le parallélisme des courbes montre néanmoins que cette évolution obéit à la même règle générale à tous les niveaux et en toutes saisons, même si elle reste mieux assurée - statistiquement parlant - en plaine et en été. Ce constat peut rassurer (à court terme) les stations de sports d'hiver de type alpin, situées en altitude, mais elle annonce très probablement un avenir plus sombre pour celles, de type familial, localisées dans l'étage montagnard. Inversement, si l'échauffement peut présenter certains avantages aux basses cotes pour la productivité végétale (cultures, boisements), avec notamment un démarrage plus précoce de la végétation en fin d'hiver, il inquiètera par contre les alpagistes, et les naturalistes soucieux des cheptels d'ongulés (chamois, bouquetins) ou des populations de lagopèdes, repoussées vers les sommets par "insularisation" croissante de leurs territoires.

4. PROBLÈMES PARTICULIERS

Sans aucun doute incomplète, faute d'imagination ou de réalisme, la liste est déjà longue des phénomènes et des activités mis en cause par les effets, directs ou indirects, immédiats ou différés, de l'échauffement ou des dérèglements climatiques. Complexe pour les relations univoques, la problématique l'est davantage encore pour les situations multifactorielles, surtout lorsqu'on ignore tout (ou presque) de la complexité des écosystèmes, même (apparemment) les plus simples. Ainsi, l'échauffement n'agit pas de manière univoque sur le milieu mais en relation avec la quantité d'eau disponible pour la vie, elle même dépendante de la pluviométrie et des phénomènes d'évapotranspiration. C'est la raison pour laquelle les biogéographes et les phyto-écologues ont depuis longtemps défini des indices pluvio-thermiques de type P / t qui, faisant le bilan entre ce qui parvient au milieu (les précipitations) et ce qui s'en échappe (puisque l'évapotranspiration augmente avec l'échauffement), estiment ainsi la quantité d'eau réellement disponible pour l'écosystème. Or - comme dit en exergue - la variable hydrique est d'avenir incertain en Vanoise, dans un sens comme dans l'autre. Une première approche semble néanmoins montrer une certaine stabilité des bilans hydriques en Vanoise, les données et courbes actuellement disponibles indiquant une (apparente et légère) progression des précipitations estivales, que compense sensiblement l'échauffement (assuré et marqué) dans le bilan hydrique (tableau XII page 86 et figures 7abc page 85).

Station et cotes	Échauffement (°C)		
	moyennes annuelles	moyennes estivales	moyennes hivernales
Marlieux (Dombes) 280 m	1,54	1,95	1,12
Bourg Saint-Maurice 865 m	1,30	1,79	0,81
Avrieux 1 102 m	0,82	1,32	0,31
Pralognan 1 420 m	0,46	1,12	- 0,21
Mont-Cenis 2 000 m	0,67	1,05	0,29
<hr/>			
Droites de régression			
penne (°C / hectomètre)	- 0,060	- 0,058	0,061
risque statistique r	0,851	0,926	0,754
risque statistique p	0,03	≤ 0,01 **	0,08 (*)

Tableau XI. Évolution altitudinale des gradients thermiques (années, étés, hivers) en Vanoise (et en Dombes) entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007.

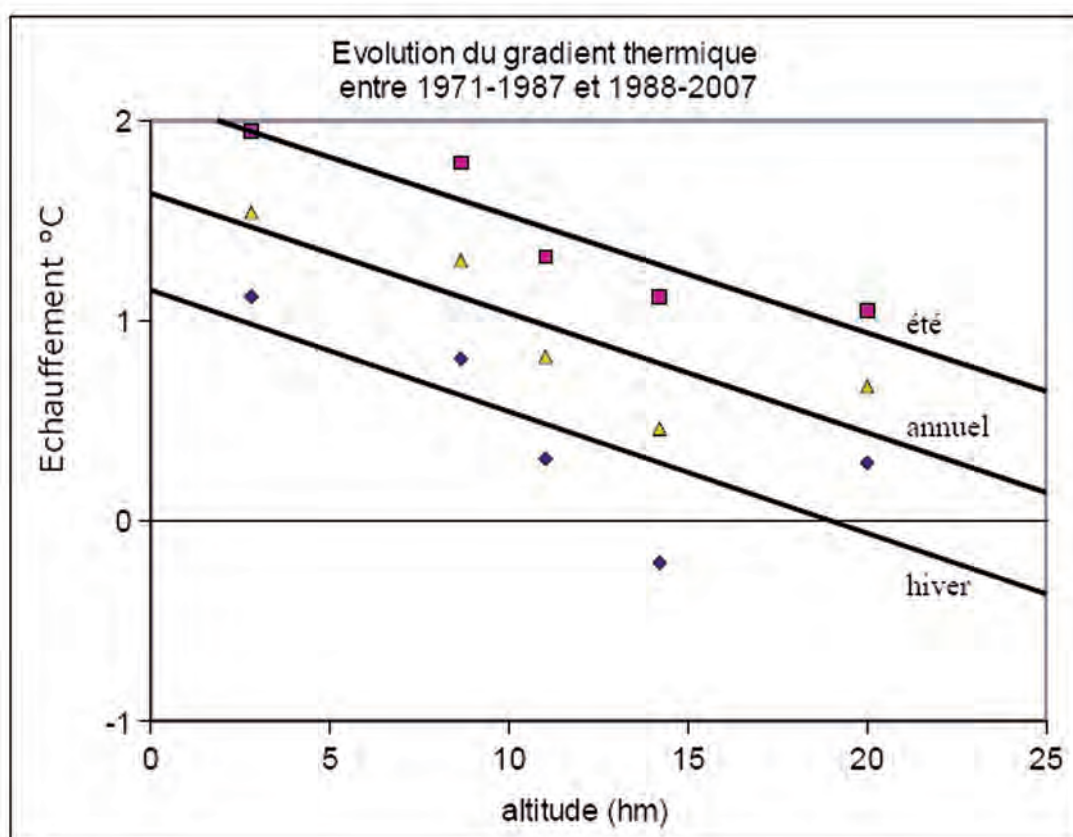
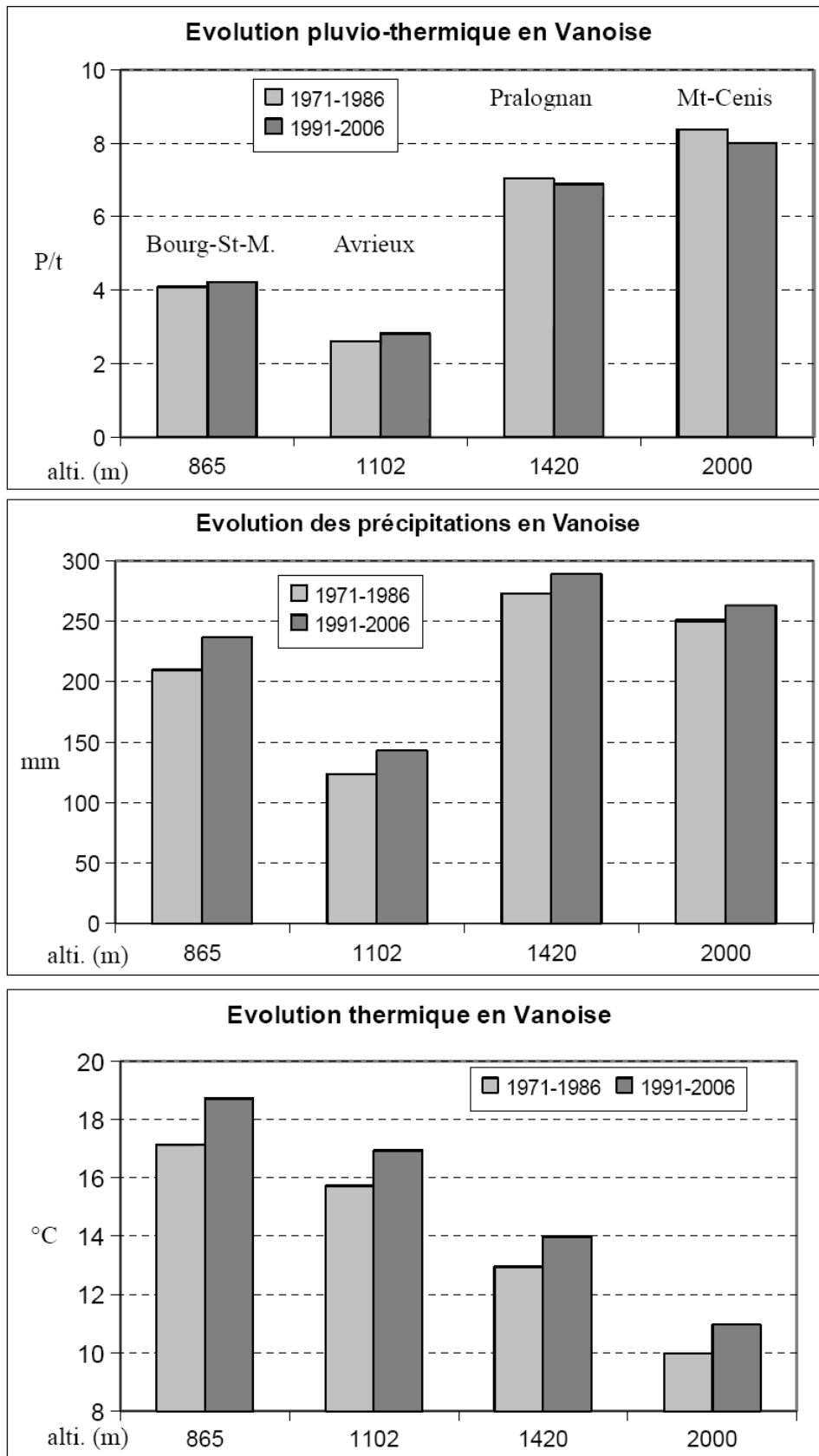


Figure 6. Évolution des gradients thermiques altitudinaux, de la Dombes au Mont-Cenis, entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007. Données Météo-France.



Figures 7abc. Évolution thermique, pluviale et pluviométrique en Vanoise, entre les deux périodes 1971-1986 et 1991-2006. Données annuelles Météo-France

Bourg St-Maurice 865 m		Avrieux 1 102 m		Pralognan 1 420 m		Mont-Cenis 2 000 m	
1971-1986	1991-2006	1971-1986	1991-2006	1971-1986	1991-2006	1971-1986	1991-2006
P 209,5 mm	P 236,8	P 123,8	P 143,0	P 273,0	P 289,0	P 250,5	P 263,1
t 17,13 °C	t 18,72	t 15,73	t 16,94	t 12,94	t 13,99	t 9,96	t 10,96
P / t 4,08	P / t 4,22	P / t 2,62	P / t 2,81	P / t 7,03	P / t 6,88	P / t 8,38	P / t 8,00

Tableau XII. Évolution décennale en Vanoise des températures, précipitations et indices pluviométriques d'été entre les deux périodes 1971-1986 et 1991-2007.

Précipitations : mm cumulés de juin à août inclus ; températures : moyenne des trois mois, en °C.

Calculée à partir des données de Météo-France (Savoie).

À titre d'illustration préliminaire, trois exemples d'interactions seront ici considérés, intéressant les trois sous-ensembles de tout écosystème : minéral (les glaciers), végétal (la végétation forestière) et animal (la marmotte). D'autres cas pourront retenir l'attention du "Groupe Climat" du Conseil scientifique du Parc national, en liaison et / ou en collaboration avec d'autres organismes ou demandeurs compétents sur le plan fondamental ou appliqué.

4.1. Que peut-on tirer des informations fournies par les variations des glaciers alpins ? (par Louis REYNAUD)

S'il est bien connu que les variations des glaciers sont causées par celles du climat, que peut-on en déduire pour décrire les changements de ce dernier dans les zones de montagne ?

À l'échelle des grandes glaciations, les carottages des calottes arctiques ou antarctiques ont récemment fourni des variations de température sur quelque 900 000 ans. Mais, pour l'interglaciaire depuis 15 000 ans, ces données ne sont pas suffisamment détaillées, ni comparables, pour juger des modifications sur les dernières décennies ou même les deux derniers siècles³.

Sachant que les plus anciens relevés météo réguliers ne démarrent que vers 1870 et ce seulement dans quelques grandes villes éloignées des montagnes, on se tourne alors vers les variations des glaciers : 1 - celles de longueur, et 2 - celles de bilan de masse.

4.1.1. Celles de longueur sont les plus anciennes données sur l'extension des glaciers, mais, pour la majorité, contemporaines des premiers relevés de température ou de précipitations bien qu'on puisse y ajouter l'information d'extension maximale de la période du Petit Âge de Glace (PAG), vers les années 1820, pour la plupart des glaciers des Alpes françaises.

C'est justement à cause des dégâts causés par les glaciers au cours de ce PAG qu'une série d'archives s'est constituée à partir des doléances des habitants de la vallée de Chamonix, montrant que l'avancée du PAG y a culminé entre les années 1600 et 1820 (figure 8).

³ De plus, ce serait faire le pari, d'entrée, d'une répartition uniforme des modifications climatiques de détail sur l'ensemble de la planète. Seules les importantes variations de température au cours des grands âges glaciaires et interglaciaires se retrouvent aux deux bouts du globe.

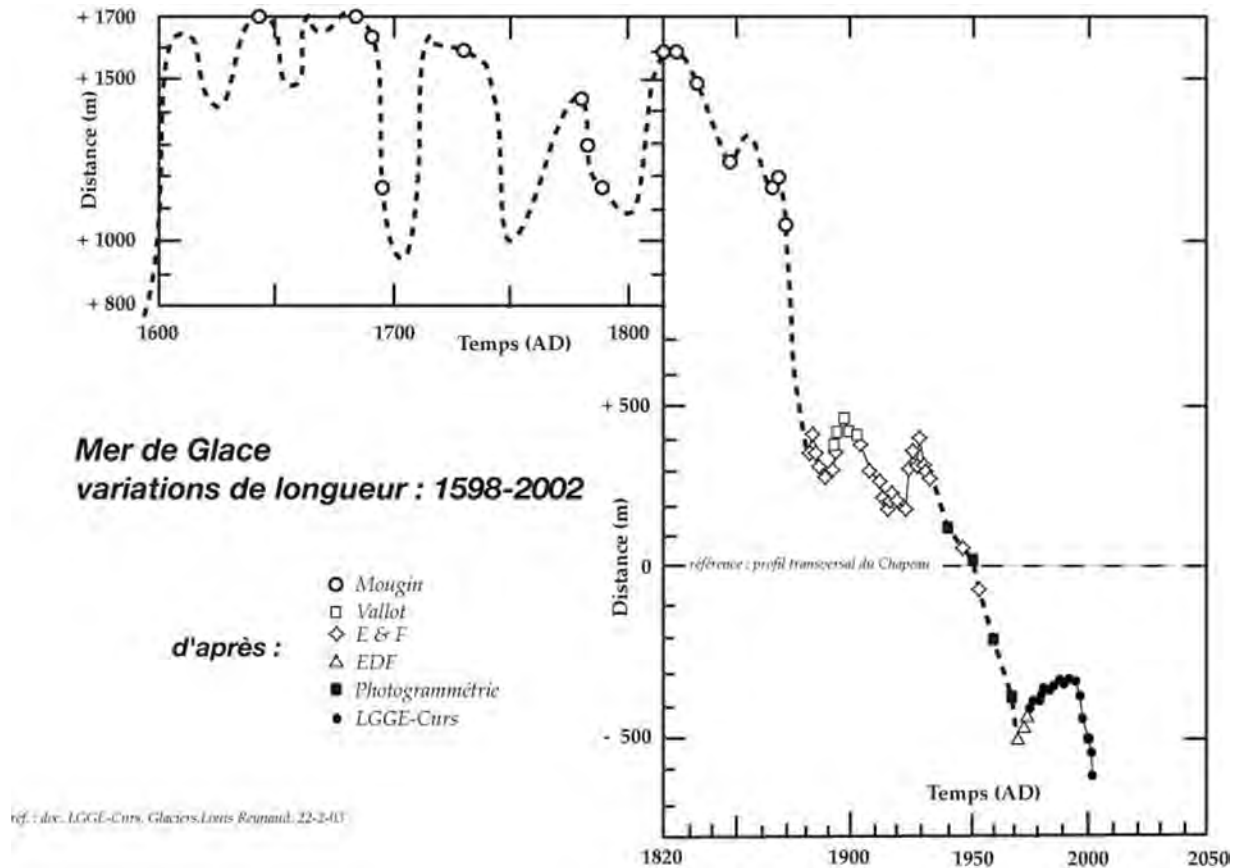


Figure 8. Variations de longueurs de la Mer de Glace de 1598 à 2002, d'après les recherches historiques de P. Mougins et les mesures de terrain des différents organismes.
Données LGGE-CNRS, documentation Louis Reynaud.

Quand commence et quand finit ce PAG ?

Nous y sommes probablement encore en se référant à la faible extension glaciaire du Moyen Âge, à ses nombreux cols d'altitude alors fréquentés non seulement par les hommes mais aussi comme passage de bétail, alors qu'aujourd'hui, bon nombre ne sont praticables que par des alpinistes bien équipés.

Tandis que d'autres cols, maintenant dégagés totalement ou partiellement de glace et de névés font apparaître des restes de chemins et murs de soutènement témoins d'usages antérieurs au PAG. D'autre part, les archéologues qui ont travaillé sur l'habitat alpin, comme dans le Parc national des Écrins, suggèrent qu'au cours des périodes plus chaudes ayant émaillé l'Holocène, comme celles du Moyen Âge, de l'époque romaine ou de l'optimum climatique, vers - 6000 ans, des habitations permanentes pouvaient se trouver jusqu'à 2 000-2 500 m d'altitude.

Depuis les années 1820, ces glaciers n'ont connu qu'une longue décroissance seulement interrompue par des réavancées mineures, comme celles des années 1850, 1890, 1920 et 1980, séparées par des périodes de diminution au moins aussi importantes que celle qui sévit actuellement depuis le milieu de la décennie 1980. On retrouve ces diverses reprises d'avancées sur la quasi-totalité des appareils glaciaires de grandes tailles comparables, comme les glaciers d'Argentière (Mont-Blanc), de Gébroulaz (Vanoise) et Blanc (Écrins) (figure 9), en tant que manifestation d'une variation climatique semblable, qui intéresse la totalité des Alpes françaises, en se superposant au climat local et modulant la longue diminution de longueur depuis le début du déclin du PAG.

En effet, chaque glacier réagit de façon particulière dans ses variations de longueur avec des temps de réaction caractéristiques principalement de sa morphologie, notamment de la taille et de l'exposition de son bassin d'accumulation. C'est ce qui fait que ces données de variations de forme, bien qu'indispensables pour décrire globalement les changements, seront toujours difficiles à interpréter pour quantifier les variations climatiques qui en sont à l'origine.

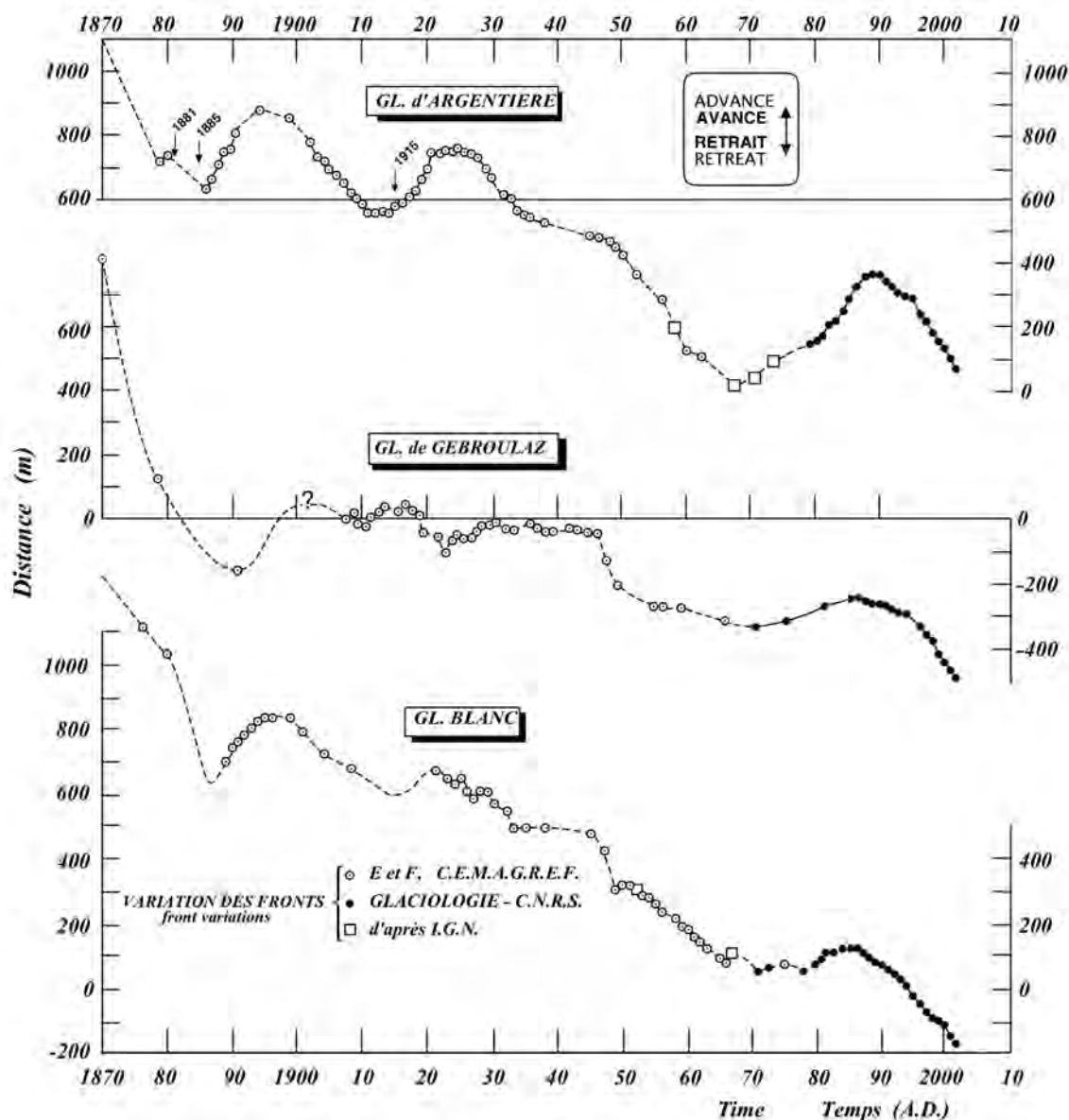


Figure 9. Comparaison de variations de longueur.
 Période des mesures directes continues depuis les années 1870.
 Données LGGE-CNRS, documentation Louis Reynaud

4.1.2. C'est pourquoi on a cherché à mesurer les variations annuelles de volume des glaciers, variations qu'on peut relier directement à celles des principaux paramètres météo de l'année en cours. Cette variation de masse se détermine en mesurant le bilan annuel, balance des gains et des pertes sur l'étendue totale du glacier. C'est donc d'une mesure plus astreignante techniquement dont il s'agit, avec carottage en zone d'accumulation et implantation de repères fichés dans la glace jusqu'à 12 m de profondeur en zone d'ablation, ce qui explique que les premières mesures de ce type n'aient débuté que tout récemment, dans les années 1950.

Pour en illustrer les résultats, comparons les mesures de bilan de masse entre le tout petit glacier de Sarennes (Grandes Rousses), de moins d'un demi km² de surface à celui du plus grand des Alpes, le Grand glacier d'Aletsch (Oberland bernois) dont le bassin versant couvre 80 km² et la longueur atteint 22 km⁴.

⁴ 80 km² de surface et 22 km de longueur c'est le double des ordres de grandeur de la Mer de Glace ; idem pour les épaisseurs maximales, respectivement de 950 m et 400 m.

Sur la partie supérieure de la figure 10, on remarque que les variations de masse spécifiques annuelles, c'est à dire une hauteur moyenne, cumulées depuis le début de la période de comparaison, 1923, sont différentes : le train de vie dispendieux de Sarennes, - 0,60 mètre d'eau par an en moyenne, va le mener à sa disparition d'ici à une vingtaine d'années, tandis qu'Aletsch ne perd respectivement que 0,20 m.eau/an.

Sur la partie inférieure du même graphique, sont représentées les variations annuelles de ces deux bilans de masse spécifiques par rapport à leurs moyennes respectives. C'est une façon de rendre comparables en détail les deux signaux au cours du temps, en les débarrassant de leur composante locale constante, pour faire émerger seulement la modulation du signal.

Il apparaît alors une remarquable similitude de variation, tant en phase qu'en amplitude pour ces deux glaciers distant de plus d'une centaine de kilomètres. Les variations inter annuelles sont fortes : c'est une caractéristique du climat que l'adage populaire « les années se suivent et ne se ressemblent pas » traduit assez bien. Seuls les moyennes et écarts types ont une réelle signification pratique.

Cependant, ces séries ne sont pas distribuées totalement au hasard : sur la partie haute de la figure des bilans, apparaissent des réavancées cycliques, témoignage de périodes climatiques caractérisées par des suites de températures et de précipitations bénéfiques ou défavorables aux glaciers.

C'est pourquoi, il n'est pas indifférent de choisir une quelconque période d'étude : il faut bien la situer dans l'ensemble des variations connues des paramètres météorologiques, car le début de la série, qui généralement sert de référence, s'écarte peut-être largement de l'état moyen sur de plus longues durées.

En conclusion de ce rapide parcours sur les principaux résultats obtenus à partir des variations des glaciers alpins, pour décrire les fluctuations climatiques subies dans le domaine de la haute montagne, il apparaît principalement :

- que le recul des glaciers n'est pas tout récent, qu'il a déjà débuté dans les années 1820, à la fin de l'apogée du PAG, et qu'il se poursuit encore près de deux siècles plus tard, modulé par des réavancées mineures suivies de reculs plus intenses, comme celui actuel.

Ces périodes de recul plus marquées, présentées hors de leur contexte, donnent lieu à des scoops médiatiques, évidemment dramatisées.

- la similitude des variations de longueur tout le long du massif alpin, par son caractère cyclique, témoigne d'une variation à grande échelle, celle d'une variation climatique se superposant à une tendance locale au réchauffement.

Fort heureusement, cette caractéristique de distribution justifie l'usage habituel que nous faisons en parlant d'un changement climatique moyen, bien que d'un massif glaciaire à l'autre, apparaissent des différences notables dans la chronologie des événements mineurs qui émaillent la grande décrue des glaciers⁵.

C'est ce qui fait que les glaciers constituent un outil de choix pour suivre les changements climatiques dans leurs intensités et modulation spatiale, à partir des données recueillies sur les nombreux massifs montagneux répartis sur la planète.

⁵ Ce même type de répartition « spatio-temporelle homogène » se retrouve dans les massifs glaciaires de type alpins, sur des distances de l'ordre de 500 km. Cependant, on ne trouve pas de synchronisme entre massifs plus éloignés, comme entre Scandinavie et Alpes (Six, D. *et al.*, *CR. Acad. sci.*, 2001, 333 : 693-698).

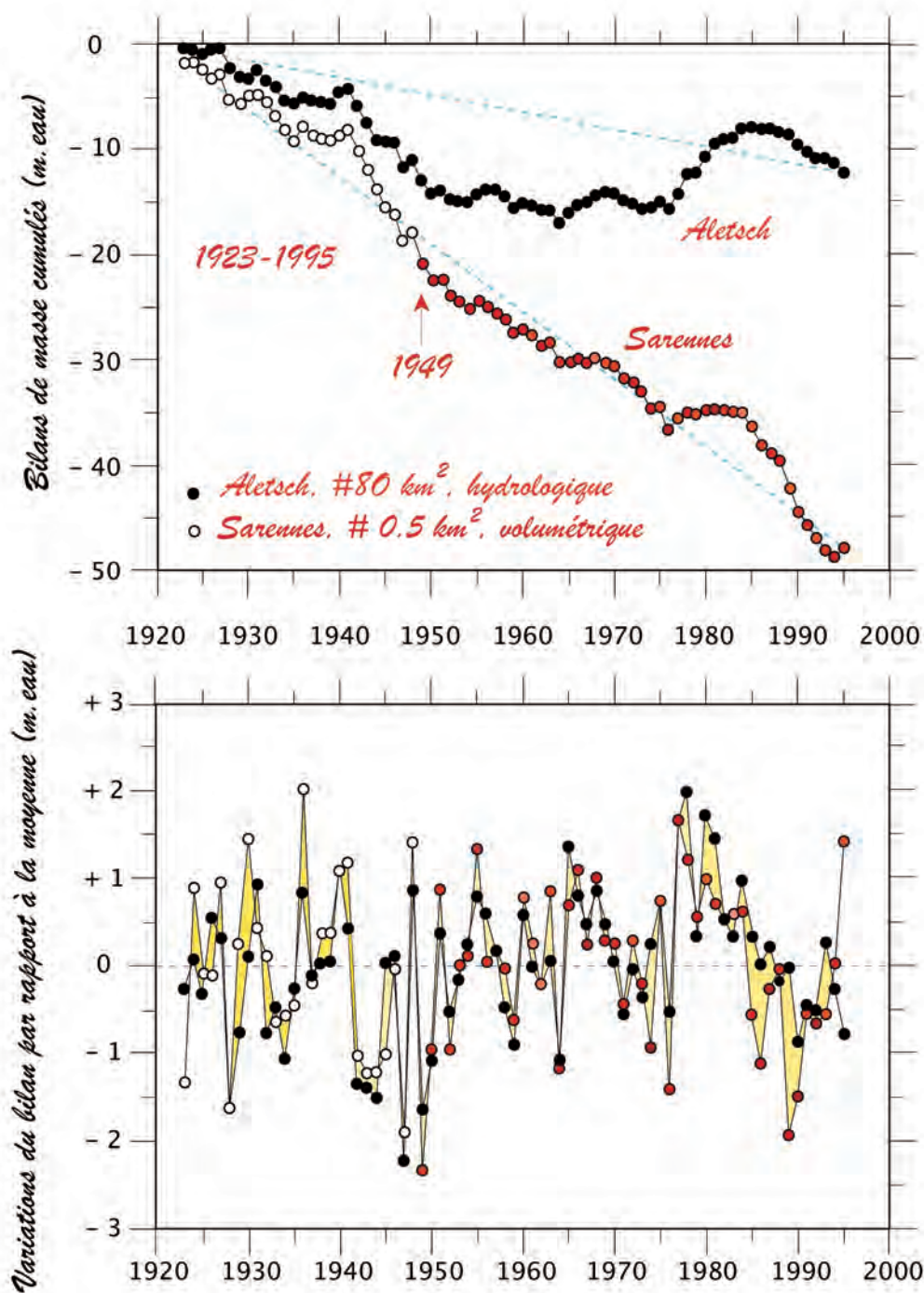


Figure 10. Comparaison des bilans de masse des glaciers d'Aletsch et Sarennes de 1923 à 1995⁶.
D'après Ch. Vincent *et al.*, 2004. Données LGGE-CNRS, documentation Louis Reynaud.

⁶ Aletsch est connu depuis 1923 car son émissaire terminal actionne une centrale électrique. La détermination de son bilan de masse utilise la méthode dite « hydrologique » pour faire le bilan des entrées-sorties sur l'ensemble du bassin versant. Sarennes est suivi directement par la méthode « glaciologique », mesures directes d'accumulation et ablation en cinq points de sa surface. Mais le suivi du Cemagref de Grenoble ne débute qu'en 1949. Aussi, c'est à l'aide des températures et précipitations (série de Lyon-Bron), qu'a été reconstituée sa série 1923-1948, pour les besoins de la comparaison.

4.2. La végétation forestière (par Philippe LEBRETON)

L'étagement bioclimatique en montagne

L'analyse, la compréhension et la prédiction des effets possibles du dérèglement climatique sur la végétation en général, les forêts de montagne en particulier, passent par la confrontation de deux lois scientifiques, la première relevant de la physique, la seconde de la biologie :

- *dans le premier cas*, il s'agit du phénomène thermodynamique de détente adiabatique dont une forme prosaïque est l'échauffement généré par la compression brusque et répétée d'une pompe à vélo (inversement, la compression lente, plus proche des conditions dites de réversibilité, s'effectue à température constante ; elle est donc isotherme). Symétriquement, la diminution régulière, avec l'altitude, de la pression atmosphérique, conduit au refroidissement de celle-ci, avec une "pente" ou gradient thermique, dont la valeur, de l'ordre d'un demi-degré centigrade pour 100 mètres de dénivellation (soit 200 m / °C), est valable pour toutes les montagnes du globe terrestre.

- *dans le second cas*, alors qu'on aurait pu s'attendre à une évolution continue (= graduelle) de la composition de la végétation de la plaine aux cimes, une autre loi à caractère universel a été dégagée par les phytogéographes, qui ont mis en évidence la superposition de "tranches" ou étages de végétation, d'une épaisseur moyenne de 600 (700) mètres en Europe moyenne (Ozenda, 1994, 2002)⁷. Plus précisément, on peut reconnaître, de bas en haut (moyenne des ubacs et des adrets), de manière graduée : l'étage planitiaire, jusqu'à 300 mètres environ ; l'étage collinéen, de 300 à 900 mètres ; l'étage montagnard, de 900 à 1 500 mètres ; l'étage subalpin, de 1 500 à 2 100 mètres, qui signe (plus ou moins artificiellement) la limite supérieure des boisements forestiers ; l'étage alpin, de 2 100 à 2 700 mètres, et l'étage nival, au-delà de 2 700 mètres, sont asylvatiques, sauf individus épars (figure 11). En d'autres termes, "l'épaisseur thermique" d'un étage de végétation se situe dans la fourchette 3 à 4°C, compte-tenu d'un gradient local proche de 0,55°C / hectomètre.

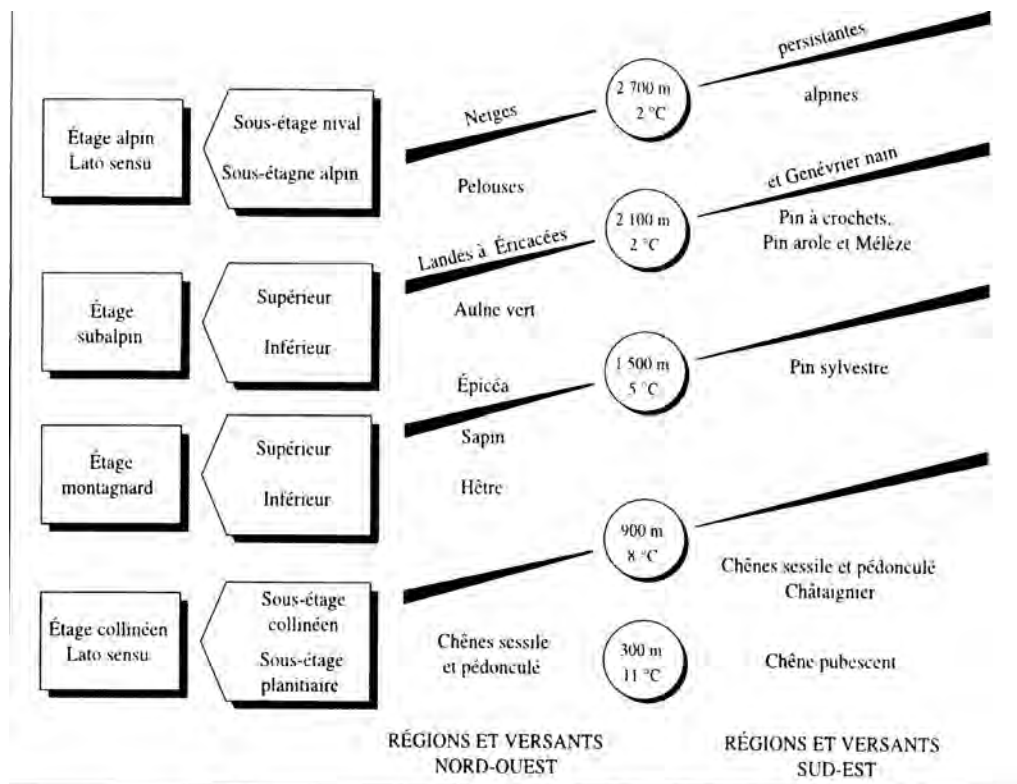


Figure 11. Étagement bioclimatique dans les Alpes du Nord

⁷ Membre de l'Académie des Sciences, ancien professeur à l'Université de Grenoble, Paul Ozenda a été Secrétaire du Comité scientifique du Parc national de la Vanoise de sa création à 1986 ; à ce titre, il a assuré la parution des tomes I à XV des Travaux scientifiques, assisté par Mme Marie-Claude Neuburger.

À ces mécanismes de base l'orientation ajoute ses effets, un écart d'au moins 2°C (l'équivalent de 360 m de dénivellée) se manifestant selon les versants (ubacs *vs* adrets), ces derniers évidemment plus chauds, phénomène auquel réagissent plantes et animaux, selon leurs préférences autoécologiques.

Conséquences écologiques

De la même loi dérivent d'autres valeurs "éco-thermiques", comme une variation du nombre de jours de gel de l'ordre de 8 jours pour 100 mètres de dénivellation, plus précisément 14,5 jours / °C, ainsi qu'une variation de près d'une semaine de la durée de la saison de végétation par hectomètre, en d'autres termes 11,7 jours / °C (Lebreton *et al.* 2000, courbes p. 34 et p. 32). Par complémentarité, la saison froide (= température moyenne inférieure à + 5°C) serait amputée de 13 +/- 2 jours pour 1°C d'échauffement, comme c'est actuellement le cas vers 1 000 mètres (entre les cotes de Bourg Saint-Maurice et d'Avrieux) par rapport aux années 1967-1988 prises comme référence.

La température diminuant également de manière régulière lorsque l'on se déplace vers le nord, avec un gradient de 200 kilomètres / °C (à une cote donnée), il s'ensuit - géographiquement parlant - une relation altitude / latitude où, toutes choses égales par ailleurs, une ascension de 100 mètres est thermiquement équivalente à un déplacement de 100 kilomètres vers le nord. Les deux paramètres peuvent évidemment se combiner. Ainsi, en un point donné, on pourrait assister non seulement à un déplacement vers le haut des espèces locales mais à l'arrivée depuis le sud d'espèces homologues méridionales. Enfin, sur la base des constats faits en Vanoise depuis une quarantaine d'années, il devient également possible de chiffrer les effets possibles de l'échauffement en Vanoise, sur la base d'un gradient moyen hectométrique décennal égal à 0,32 +/- 0,14°C par décennie (*cf.* tableau IV). En extrapolant à l'année 2050 vue comme horizon forestier, la température annuelle actuelle s'élèverait encore de 1,4°C (fourchette 0,8-2,0°C), équivalant à un glissement vers le haut de quelque 250 mètres, près d'un demi-étage de végétation. En prenant en compte la seule belle saison, active pour la végétation, l'échauffement devient 2,1°C (fourchette 1,6-2,6°C) et l'élévation 380 mètres. À cela s'ajoute le fait que la limite supérieure des forêts a été historiquement abaissée par déboisement d'environ 300 mètres.

Toutefois, on l'a vu, cet échauffement n'est pas constant des piémonts aux cimes puisque, s'il dépasse nettement la moyenne générale en dessous de 1 200 mètres, il s'annule pratiquement à la base de l'étage alpin (non boisé), vers 2 000 mètres. Cette évolution altitudinale de l'échauffement entre les deux périodes implique donc une "dilatation" des étages bioclimatiques inférieurs par rapport à ceux des plus hauts niveaux (*cf.* figure 5). Du coup on pourrait assister à un "télescopage" de l'ascension végétale, plus marquée en bas (domaine des feuillus) qu'en haut (domaine des résineux). C'est donc plutôt en zone "optimale d'adhésion" (= ex-périphérique) qu'en "zone-cœur" (ex-zone centrale) que progresserait de la forêt, déjà peu représentée dans le parc national (avec moins de 1 % des surfaces en principe protégées).

Impacts sur la végétation

On doit s'interroger sur le devenir de boisements soumis en 2030 à un échauffement estival de quelque 2,4°C (fourchette 1,7 à 3,1°C) depuis 1987 (calculé sur la base observée de + 0,55 +/- 0,17°C par décennie pendant 44 ans), surtout s'il s'accompagne d'une multiplication des années de canicule, comme en 2003. Plus que l'hiver, on l'a dit, c'est en effet la saison chaude qui détermine et conditionne à la fois la vitalité et la vulnérabilité de la végétation, surtout ligneuse et élevée. Dans de telles conditions, quelques années peuvent suffire à provoquer le dépérissement des espèces les plus sensibles, soit la plupart des feuillus actuels et, chez les résineux, des épicéas et des sapins ; inversement, il faut tabler sur une cinquantaine d'années pour espérer une (amorce de) forêt digne de ce nom. Car reconstituer une forêt (en fait un écosystème forestier), c'est aussi refonder un sol (au sens pédologique et non seulement géologique du terme), avec son humus et son cortège vivant hypogé ; à cette tâche, les essences indigènes proches, de la base ou du sud, sont a priori mieux pré-adaptées que celles de provenance exotique, héritière d'une tout autre histoire biologique. Au niveau infra-spécifique, mieux vaut donc tabler sur l'existence et la disponibilité "d'écotypes" (= entités indigènes adaptées au milieu) d'une espèce donnée que sur l'importation d'essences allochtones (en

pratique, sapin de l'Aude ou des Alpes-Maritimes plutôt que Sapin pinsapo d'Andalousie ou du Rif, sans même parler de Cèdre de l'Atlas, de Mélèze des Sudètes ou de Douglas d'Amérique du Nord).

On peut en effet miser - à moindres frais et sans plus de risques - sur la diversité génétique des espèces locales, en laissant s'exprimer la spontanéité naturelle, les individus pluvio-thermiquement les mieux pré-adaptés ayant plus de chances de s'imposer et de générer à moyen et long terme des populations viables et pérennes. Car en ce domaine, "*ne pas gérer, c'est encore gérer*", même si certains pensent que "*faire et défaire, c'est encore travailler*". D'ailleurs, le Protocole "Forêt de montagne" de la "Convention alpine" (définitivement ratifié par la France le 31 janvier 2006) prévoit que "*les parties contractantes s'engagent notamment à assurer avant tout (souligné par nous) la régénération naturelle de la forêt, des peuplements ... composés d'essences adaptées à la station (et) l'utilisation de plants forestiers de provenance autochtone*". À ceux qui verraient dans la "plantation" de forêts artificielles la solution des problèmes soulevés par le dérèglement climatique, on opposera de même que "*l'objectif (de ce) protocole est la conservation de la forêt de montagne en tant qu'écosystème proche de la nature*", et que "*pour remplir les fonctions mentionnées, une gestion respectueuse, proche de la nature et durable de la forêt de montagne est la condition sine qua non*" (souligné par nous, en ajoutant : surtout dans des espaces protégés !).

Dans ces conditions, les pins, essences frugales, robustes et dynamiques, ont certainement plus de chance de s'imposer que les autres résineux ; il s'agira avant tout des essences locales (le Pin sylvestre, aux adrets de l'étage montagnard ; le Pin à crochets, son vicariant de l'étage subalpin ; le Pin arrole, aux ubacs du même étage), en attendant les méridionaux (aux cotes moyennes, le Pin de Salzmann, sous-espèce sub-méditerranéenne du Pin noir, endémique des Cévennes ; dans les piémonts, le Pin d'Alep, autochtone présent jusqu'en Drôme moyenne, dans les étages bio-climatiques per- et supra-méditerranéens). Dans les Préalpes, contrairement au banal Pin noir d'Autriche, utilisé depuis des lustres en reboisement, une essence alpestre indigène encore trop méconnue, le Génévrier thurifère, peut être mise en avant, compte-tenu de sa frugalité et de son dynamisme constatés aux étages supra- et monti-méditerranéens dans les Alpes du Sud (Garraud *et al.*, 2009).

À plus long terme, les pins, relevant davantage de para-climax que de climax de végétation, auront pour rôle de protéger et reconstituer les sols, préparant ainsi le terrain pour les essences de la forêt de demain, en équilibre avec les modifications de l'environnement. En tout état de cause, quels que puissent être les procédés ou les arbres retenus, une période de transition, marquée d'incertitude voire de chaos, va s'ouvrir pour un demi-siècle, entre dépérissement et régénération, avec "effet-diabolo" sur la biodiversité, qui passera inévitablement par des valeurs minimales entre peuplements climaciques d'hier et de demain, comme déjà démontré par des études prenant l'avifaune comme indicateur de l'écosystème forestier (pour les Préalpes de la Drôme, voir notamment Lebreton et Choisy, 2000).

4.3. La Marmotte (par Dominique ALLAINE)

Présentation de l'espèce

La Marmotte alpine *Marmota marmota* est, dans nos régions, un mammifère de taille moyenne inféodé au milieu de montagne ; on peut l'y trouver de 800 à 3 000 mètres mais elle préfère les pelouses alpines situées vers 2 000-2 500 mètres (Allainé *et al.*, 1994). Cette espèce très territoriale vit en familles composées d'un couple de "dominants" qui assurent la reproduction de "subordonnés" sexuellement matures, âgés de 2 à 4 ans en général, "d'immatures" d'un an et de "marmottons" de l'année. La saison de reproduction est entamée dès la fin de l'hibernation, à la fin de mars ou au début d'avril ; l'accouplement a lieu dans la seconde moitié d'avril. Après un bon mois de gestation, la femelle dominante donne naissance à une portée d'un à 7 jeunes (en moyenne 4). La lactation se déroule dans le terrier de mise bas et dure environ 40 jours. Les marmottons sevrés émergent donc entre la mi-juin et la mi-juillet. Débute alors une « course contre la montre » pour

accumuler suffisamment de réserves de graisse avant l'entrée en hibernation, à la fin de septembre et au début d'octobre. Le cycle annuel de la Marmotte alpine est donc marqué par deux phases critiques : une période d'hibernation relativement longue (dans les conditions ambiantes jusqu'à présent connues), une saison de croissance relativement courte. On conçoit alors aisément que les conditions climatiques puissent potentiellement affecter significativement la survie et la reproduction des individus.

Méthodologie des études en Vanoise

La population de marmottes du vallon de la Sassièrè est suivie par capture / marquage / recapture depuis 1990, ce qui offre l'opportunité d'explorer l'effet des variables climatiques sur les paramètres démographiques et la phénologie (= évolution temporelle) de la reproduction. Nous avons commencé par analyser l'effet des variables environnementales estivales sur la survie des individus. Deux variables climatiques ont été utilisées à cet effet : la température moyenne et les précipitations cumulées pendant la période de croissance (mesurées sur place de mai à octobre : stations de Météo France de Val d'Isère, Mont Cenis et station de ski de Tignes). En outre, un indice de végétation disponible à la sortie d'hibernation a été défini, le NDVI, "Normalized Difference Vegetation Index", mesuré au 15 avril. Sur la période d'étude, située juste après le grand "tournant thermique" de la fin de la décennie 1980, la température moyenne estivale tend à augmenter tandis que les précipitations sont plutôt en diminution. Les deux variables peuvent être combinées sous forme d'un indice pluviothermique de forme P / t (renseignant sur l'humidité réellement disponible), qui reste en moyenne stable jusqu'en 1998, avec décroissance significative depuis lors (figure 12, régression parabolique ; $p = 0,04$; significatif). Dans le même temps, l'indice végétal printanier NDVI augmente pendant toute la décennie 1990, mais régresse légèrement ensuite (figure 13, régression parabolique ; $p \leq 0,01$; très significatif). La survie a été modélisée par l'utilisation de modèles de capture / recapture en suivant les étapes recommandées par Lebreton *et al.* 1992. Nous avons utilisé le logiciel M-surge (Choquet *et al.*, 2004) et sélectionné les modèles à l'aide du critère d'Akaike (Johnson et Omland, 2004). Outre les facteurs environnementaux précités, cinq autres ont été considérés comme potentiellement influents sur la survie annuelle : l'âge, le sexe, l'année, le statut social (dominant ou subordonné) et la présence de subordonnés mâles (vus comme aides potentiels) (Allainé *et al.*, 2000 ; Allainé et Theuriau, 2004).

Résultats des études

Concernant l'effet des facteurs environnementaux, l'analyse révèle qu'ils n'affectent pas la survie des immatures d'un an et des subordonnés. En revanche, la survie des marmottons semble favorisée par de faibles précipitations, ce qui peut s'expliquer par des difficultés de thermorégulation par temps pluvieux mais aussi par le fait que, les animaux sortant moins des terriers lorsqu'il pleut trop fort, ils seraient alors insuffisamment nourris. Toujours pour les marmottons, l'indice végétal peut être actif, mais de manière très différente en absence ou en présence d'aides : dans le premier cas, les aides semblent "amortir" toute variation de l'indice végétal (figure 14a, régression linéaire "plate") tandis qu'en leur absence, la survie des marmottons dépend positivement des disponibilités végétales (figure 14b, régression linéaire ; $p \leq 0,001$; hautement significatif). La disponibilité en nourriture en tout début de saison est sans doute un déterminant important de la condition des mères allaitantes et, par voie de conséquence, de la condition des marmottons eux-mêmes. L'interaction avec la présence d'aides - qui réchaufferaient les marmottons en hiver - suggère une autre influence indirecte de la végétation, les marmottons en faible condition ayant alors un faible taux de survie. Enfin, la survie des adultes (= dominants) semble elle aussi dépendre des conditions climatiques (mais moins nettement que pour les marmottons), apparemment favorisée aux plus faibles températures et aux plus fortes précipitations. On peut en inférer que l'humidité biologiquement disponible est ici déterminante, plus forte par temps (relativement) pluvieux et frais, plus rare dans le cas contraire, avec risque d'un assèchement trop précoce de la végétation, d'où de moindres réserves énergétiques chez les animaux hibernants.

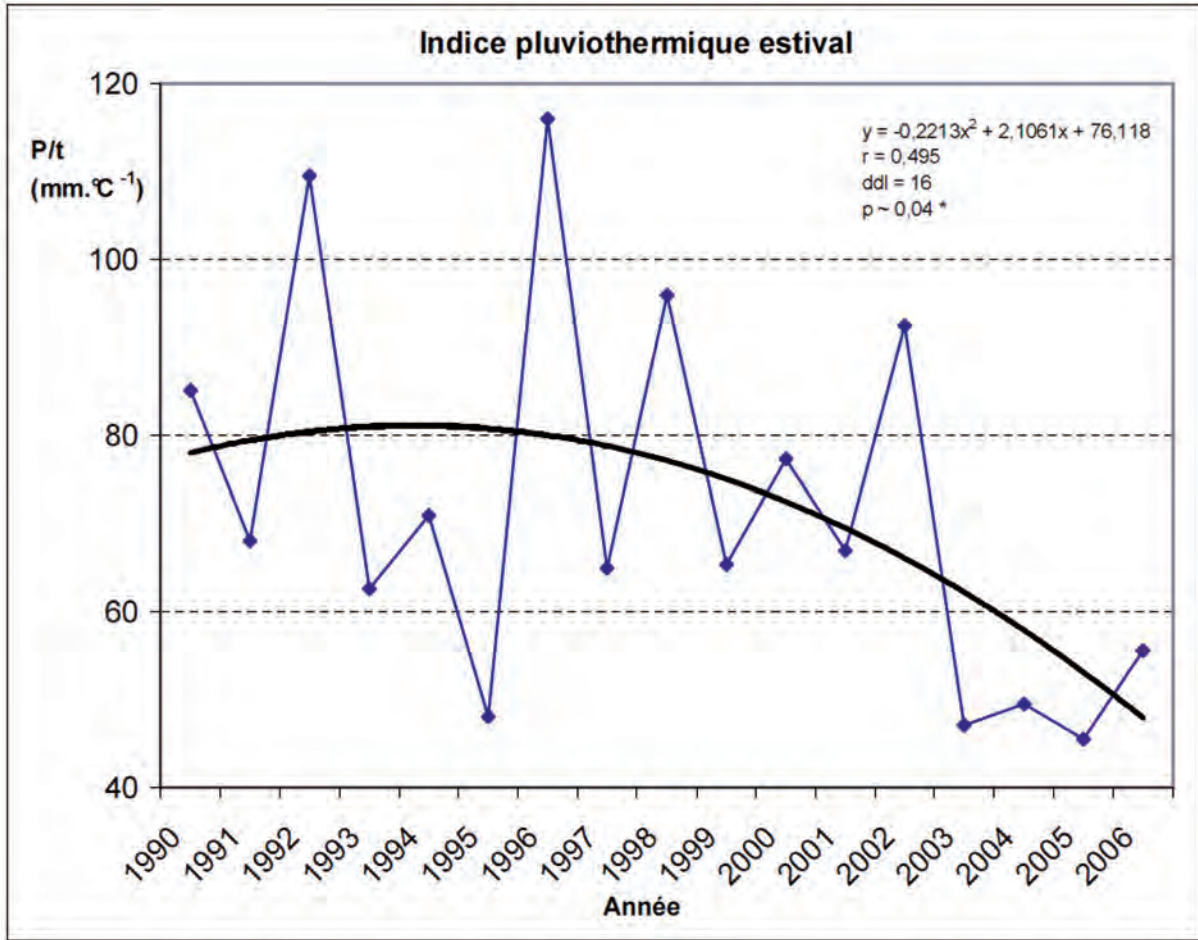


Figure 12. Indice pluviothermique estival

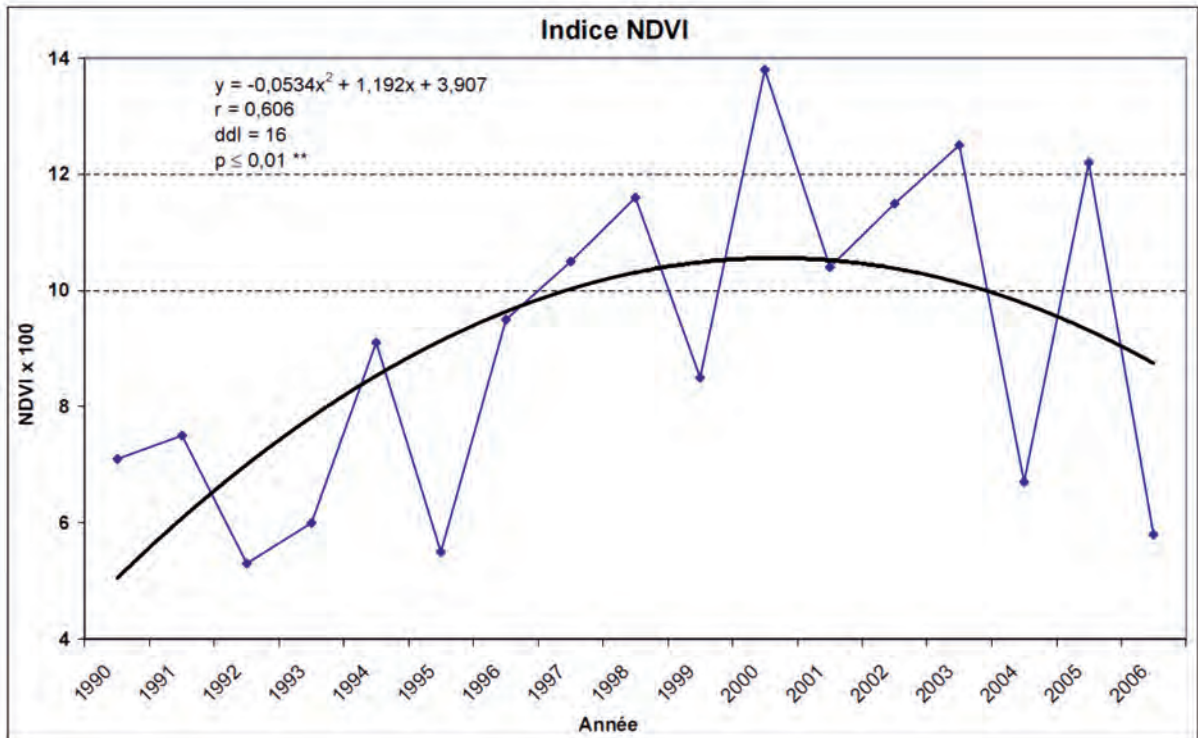
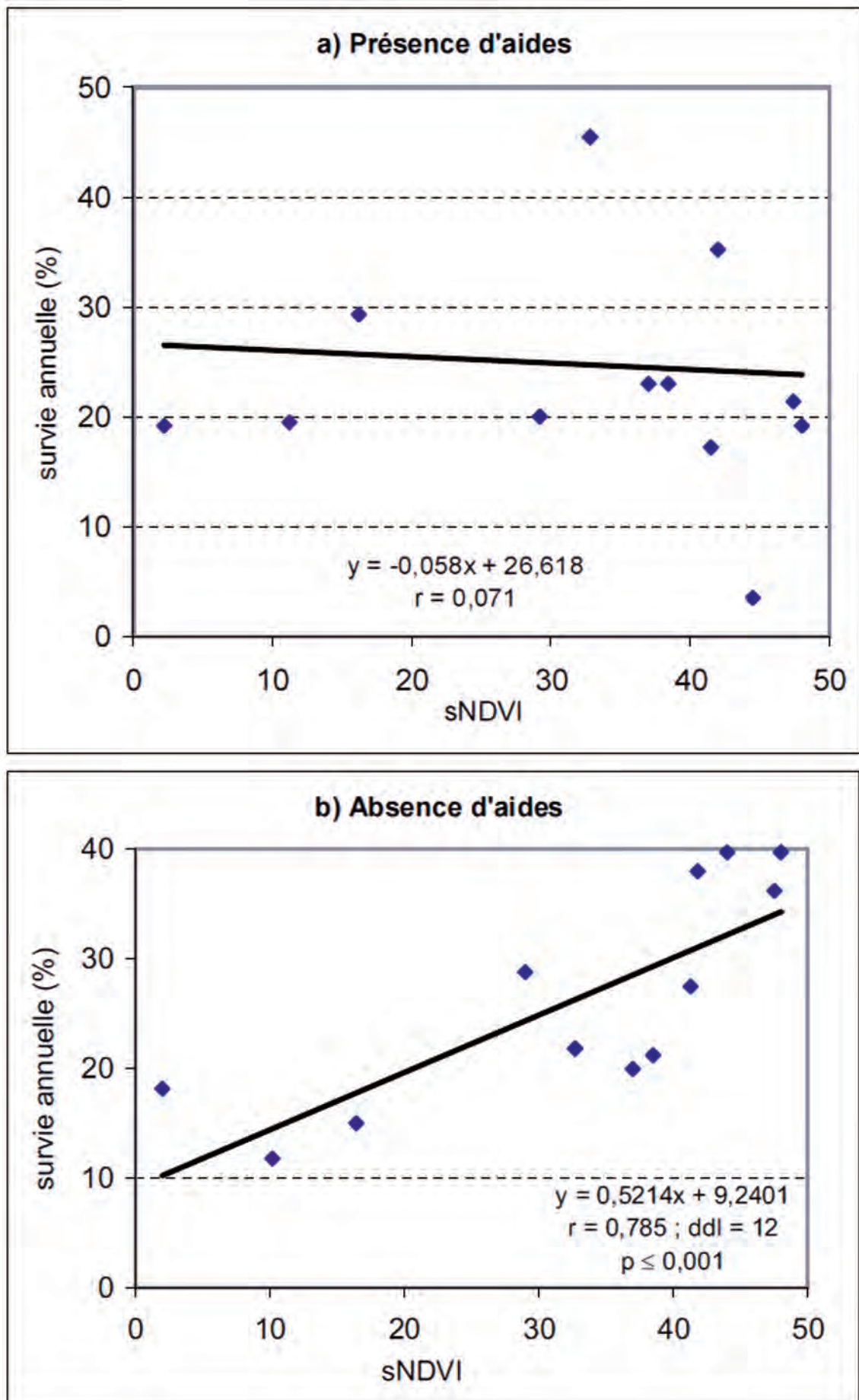


Figure 13. Indice végétal printanier NDVI



Figures 14 a et b. Indice végétal en présence (a) ou en absence d'aides (b)

Premières conclusions

De cette analyse préliminaire, il ressort que les variables climatiques ont un effet complexe sur le fonctionnement démographique des populations de marmottes, une même variable - par exemple les précipitations estivales - pouvant avoir des effets contraires sur les différentes classes d'âge. Les changements climatiques en cours - échauffement estival probablement moins marqué cependant à l'altitude de la Grande Sassièrre (2 350 m), évolution des précipitations - auront des impacts certains mais difficile à appréhender, d'autant que les indices pluviothermiques semblent en Vanoise relativement compensés entre les deux facteurs (*vide supra* 4, figures 7abc et tableau XII). Pour mieux cerner le sujet, nos résultats suggèrent en effet qu'il semble préférable de combiner les variables plutôt que d'analyser leurs effets séparément ou de manière purement additive. La construction d'un modèle de sécheresse plus performant que les rapports P / t actuels paraît donc pertinente pour intégrer réchauffement et évolution locale des précipitations. Enfin, si nous nous sommes limités ici au climat estival (celui-ci étant plus affecté par le phénomène d'échauffement), de précédents travaux soulignent aussi l'importance du climat hivernal pour la survie des individus (Farand *et al.*, 2002). La phénologie de la reproduction n'a pas non plus été considérée, alors que la forte augmentation de l'indice NDVI (mesuré à la mi-avril) dans la décennie 1990 est à rapprocher des deux mois révélés les plus échauffés en Vanoise : mars et mai (*vide supra* 3.2., figures 4abcd et tableau VIII p. 101-102), avec une fonte de plus en plus précoce de la neige au printemps. Les marmottes - femelles dominantes en particulier - ont donc accès de plus en plus tôt à une végétation comestible ; il se pourrait alors, non seulement qu'elles évitent ainsi les disettes de fin d'hibernation mais qu'elles soient en meilleure condition pendant la période de reproduction. Du fait d'un accès plus précoce aux ressources, la proportion de femelles reproductrices pourrait donc augmenter dans la population.

5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Avec une prévision d'échauffement séculaire similaire à celle « officiellement » fournie par le GIEC pour la moyenne mondiale, de l'ordre de 3°C (soit 500 mètres de dénivellation), les résultats de la présente étude inscrivent bien la Vanoise dans le schéma général du "réchauffement climatique" à l'échelle des "changements globaux" ; ils valident en outre les données de Météo-France et les traitements statistiques conduits par le "Groupe Climat" du Parc national de la Vanoise. L'originalité vient plutôt des déclinaisons spatiales ou temporelles locales de cet échauffement, avec une forte anomalie : contrairement à une règle écologique très générale, qui veut que la plupart des effets physiques et biologiques homologuent déplacements altitudinaux et latitudinaux, l'échauffement constaté en Vanoise concerne davantage les piémonts que les plus hauts niveaux, alors que la tendance mondiale pèse aujourd'hui davantage sur les régions polaires que sur les zones intertropicales. De même, loin d'être uniforme sur l'année, l'échauffement intéresse surtout la "belle saison" (semestre couvrant de mars à septembre inclus), sans être pour autant négligeable à l'entrée de l'hiver. En d'autres termes, l'échauffement est d'autant plus marqué qu'il se manifeste dans le domaine spatio-temporel déjà le plus chaud : "en bas, en été". Cette diversité locale du phénomène d'échauffement climatique amène à envisager l'exploitation des quelques autres données météorologiques disponibles (même si elles portent sur des séries moins longues) et à souhaiter l'implantation - comme au début de la décennie 1970 - de stations en haute altitude, au delà de 2 100 mètres, dans l'étagé alpin, en Vanoise ou dans d'autres espaces protégés à l'instar de celle installée dans le Parc naturel régional du Vercors.

À la lumière des premières données et de leur analyse, des commentaires d'ordre général peuvent être fournis sur leurs incidences gestionnaires, spatiales et temporelles. À (moyen et long) terme, tous les compartiments de l'écosystème seront concernés, et pas seulement "la température de l'air" fournie par les bulletins météorologiques et qui nous intéresse par anthropocentrisme d'espèce "à sang chaud". L'eau sous toutes ses formes, y compris le passage critique du solide (glace et neige) au

liquide (eaux, stagnantes et courantes), puis au gaz (vapeur d'eau, condensable en précipitations). Les sols, dont l'évolution autour de l'isotherme 0°C entraînera, en cas de dégel, des phénomènes de solifluxion, avec risques d'érosion, glissements de terrain, dérochements, éboulements, la glace permanente (appelée "permafrost" aux latitudes élevées) ne jouant plus son rôle de "ciment" pour le substrat minéral. À l'échelle temporelle, l'évolution saisonnière de l'échauffement (notamment un mois de mars très échauffé) est de la plus haute importance, car elle influence directement le calendrier des phénomènes naturels (développement végétal, comportement sexuel des mammifères, migration des oiseaux, biodiversité en général, etc.) comme celui des activités humaines (agriculture et tourisme, si importants dans le périmètre considéré). Un aperçu préliminaire des « *Effets biologiques d'un réchauffement climatique en montagne* » avait été fourni dans le tome XXI des Travaux scientifiques du Parc national (Lebreton *et al.*, 2000, p. 50-51, texte et schéma).

En considérant brièvement les sports de neige, il apparaît - sous réserve d'évolutions ultérieures - que les stations d'altitude ont devant elles un avenir moins sombre que celles de moindres cotes (stations dites "familiales"), puisque leur échauffement reste limité par rapport aux valeurs générales, et qu'elles n'affectent que peu, voire pas du tout (du moins pour l'instant) la saison hivernale. Cette remarque ne relève évidemment pas du seul paramètre thermique et d'autres considérations - relatives notamment à la saisonnalité des précipitations - doivent entrer en jeu pour une estimation plus complète et nuancée des potentialités nivales : à sommes annuelles identiques, des précipitations concentrées sur la saison chaude sont ainsi moins favorables à la constitution du manteau neigeux que celles d'hiver, d'autant que les premières favorisent la fonte glaciaire. Échauffés, le printemps et l'été n'annoncent pas forcément une plus "belle saison" pour le tourisme et l'agriculture et, surtout, le pastoralisme (risques de canicule affectant les herbages, même sur les alpages).

Ce constat quelque peu insolite mériterait sans doute d'être éprouvé plus largement, tellement seraient importantes ses répercussions sur les sports de neige. En d'autre terme, si les stations de cotes faibles et moyennes semblent d'ores et déjà condamnées à la récession, le devenir des stations d'altitude (d'après nos résultats locaux) est-il pour autant moins menacé ?

Le cas de Pralognan-la-Vanoise, pour indubitable qu'il soit, n'est-il pas particulier, dû aux conditions glaciologiques signalées ? Le cas du Mont-Cenis n'est-il pas biaisé par les difficultés de la météorologie en altitude, ou aux caprices de la Lombarde ?

Afin d'éprouver la « générabilité » de notre constat - non signalé par ailleurs, du moins à notre connaissance - nous suggérons que notre méthodologie soit transposée et appliquée dans les deux parcs nationaux homologues de la Vanoise, Écrins et Mercantour, couvrant ainsi en latitude la chaîne alpestre française.

De toute évidence, longtemps nié et brocardé par certains (même - marginalement il est vrai - dans le milieu scientifique), le dérèglement climatique s'accompagnera inéluctablement d'effets écologiques, mais aussi d'incidences économiques réclamant des réponses actives à tous les niveaux, individuel et collectif. Ainsi, est-il raisonnable d'accéder aux stations touristiques (en hiver comme en été) par des moyens de transports générant des gaz à effet de serre ? Est-il raisonnable de tenter de pallier les effets du réchauffement en amplifiant la pratique de la neige artificielle, consommatrice d'eau et d'énergie, deux ressources critiques pour les enjeux du siècle qui s'ouvre : pourrait-on alors parler de tourisme durable ? Les quelques exemples présentés ne l'ont été qu'à titre indicatif, d'autant qu'ils sont loin d'être les seuls et que la myopie de nos comportements sectoriels, voire corporatistes, nous réserve sans doute bien des surprises (il suffit de penser à notre ignorance et à notre indifférence totales pour de tels problèmes il y a 20 ans seulement !). Une remise en cause et une adaptation des pratiques s'imposent donc de toute évidence, qui relèvent d'un niveau éminemment "politique" auquel certains élus se sont heureusement mais récemment intéressés (ANEM, 2007). De manière complémentaire, la contribution des scientifiques consiste en la mise à disposition d'éléments de jugement et de décision pour aboutir à un "développement durable" digne de ces termes dans le nouveau contexte climatique et socio-économique, hautement évolutif.

Remerciements à Aurélie COHAS pour les analyses statistiques concernant l'étude de la Marmotte.

	1967-1987	1988-2007	Différences (test t de Student)
	-----	-----	-----
Marlieux en Dombes (280 m)			
Années (légales)	10,25 (0,50)	11,87 (0,54)	1,62 (0,16) t = 10,29 ; p < 0,001 ***
Années (écologiques)	10,30 (0,38)	11,84 (0,25)	1,54
Étés	13,83 (0,38)	15,78 (0,40)	1,95
Hivers	6,77 (0,40)	7,89 (0,16)	1,12
Bourg St-Maurice (865 m)			
Années (légales)	8,90 (0,44)	10,18 (0,47)	1,28 (0,14) t = 9,22 ; p < 0,001 ***
Années (écologiques)	8,91 (0,27)	10,21 (0,23)	1,30
Étés	12,55 (0,29)	14,34 (0,34)	1,79
Hivers	5,27 (0,26)	6,07 (0,20)	0,81
Avrieux (1102 m)			
Années (légales)	7,49 (0,38)	8,32 (0,40)	0,83 (0,12) t = 6,74 ; p < 0,001 ***
Années (écologiques)	7,48 (0,16)	8,30 (0,16)	0,82
Étés	11,10 (0,18)	12,42 (0,30)	1,32
Hivers	3,86 (0,19)	4,17 (0,09)	0,31
Pralognan (1420 m)			
Années (légales)	5,35 (0,50)	5,78 (0,80)	0,43 (0,21) t = 2,04 ; p = 0,023 *
Années (écologiques)	5,33 (0,21)	5,79 (0,61)	0,46
Étés	8,42 (0,18)	9,54 (0,69)	1,12
Hivers	2,24 (0,26)	2,03 (0,61)	- 0,21
Mont-Cenis (2 000 m)			
Années (légales)	2,51 (1,17)	3,12 (0,56)	0,61 (0,31) t = 1,98 ; p = 0,036 *
Années (écologiques)	2,42 (0,34)	3,09 (0,37)	0,67
Étés	5,11 (0,70)	6,16 (0,31)	1,05
Hivers	0,27 (0,23)	0,02 (0,46)	0,29
Températures moyennes et (écarts-types) en °C			

Tableau VI. Différentiel thermique observé en Vanoise (et en Dombes) entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007

PARC NATIONAL DE LA VANOISE

Dombes	Étés	Hivers	Années	Étés	Hivers	Années
1964-1970	13,59 (0,46)	6,45 (0,44)	10,02 (0,32)			
1971-1976	13,59 (0,44)	6,45 (0,62)	10,02 (6,45)			
1977-1982	13,74 (0,73)	6,91 (0,85)	10,33 (0,76)			
1983-1988	14,38 (0,77)	7,27 (1,20)	10,83 (0,82)			
-----				1,95°C	1,12°C	1,54°C
1989-1994	15,73 (0,41)	7,71 (0,88)	11,72 (0,64)	t = 6,59	t = 5,08	t = 6,45
1995-2000	15,41 (0,61)	7,92 (1,00)	11,67 (0,75)	p < 0,001	p = 0,002	p < 0,001
2001-2007	16,20 (1,03)	8,03 (0,95)	12,12 (0,64)	***	**	***
Bourg-Saint-Maurice	Étés	Hivers	Années	Étés	Hivers	Années
1965-1970	12,28 (0,64)	5,06 (0,29)	8,67 (0,23)			
1971-1976	12,78 (0,44)	5,28 (0,48)	9,03 (0,27)			
1977-1982	12,33 (0,69)	5,07 (0,72)	8,70 (0,64)			
1983-1988	12,82 (0,71)	5,61 (0,92)	9,22 (0,62)			
-----				1,79°C	0,81°C	1,30°C
1989-1994	14,20 (0,34)	5,85 (0,76)	10,03 (0,44)	t = 7,39	t = 4,78	t = 6,94
1995-2000	14,10 (0,52)	6,16 (1,00)	10,13 (0,49)	p < 0,001	p = 0,003	p < 0,001
2001-2007	14,73 (0,95)	6,21 (1,03)	10,47 (0,67)	***	**	***
Avrieux	Étés	Hivers	Années	Étés	Hivers	Années
1967-1970	11,04 (0,78)	3,66 (0,42)	7,35 (0,41)			
1971-1976	11,29 (0,32)	3,87 (0,48)	7,59 (0,27)			
1977-1982	10,89 (0,47)	3,78 (0,62)	7,34 (0,51)			
1983-1988	11,19 (0,64)	4,11 (0,86)	7,65 (0,54)			
-----				1,32°C	0,31°C	0,82°C
1989-1994	12,44 (0,32)	4,28 (0,67)	8,36 (0,39)	t = 6,89	t = 2,91	t = 6,64
1995-2000	12,12 (0,47)	4,11 (1,05)	8,12 (0,50)	p < 0,001	p = 0,017	p < 0,001
2001-2007	12,71 (0,72)	4,13 (0,93)	8,43 (0,48)	***	*	***
Pralognan	Étés	Hivers	Années	Étés	Hivers	Années
1967-1970	8,40 (0,49)	2,05 (0,43)	5,23 (0,33)			
1971-1976	8,50 (0,45)	2,22 (0,76)	5,36 (0,38)			
1977-1982	8,17 (0,79)	2,07 (0,80)	5,12 (0,74)			
1983-1988	8,59 (0,75)	2,61 (0,80)	5,60 (0,54)			
-----				1,12°C	- 0,21°C	0,46°C
1989-1994	10,11 (0,46)	2,73 (1,09)	6,43 (0,39)	t = 2,77	t = 0,55	t = 1,26
1995-2000	8,78 (0,85)	1,64 (0,63)	5,21 (0,69)	p = 0,020	p = 0,303	p = 0,132
2001-2007	9,73 (0,98)	1,72 (1,47)	5,73 (0,94)	*	NS	NS
Mont-Cenis	Étés	Hivers	Années	Étés	Hivers	Années
1971-1976	5,89 (0,93)	0,39 (1,57)	2,75 (1,06)			
1977-1982	4,56 (1,36)	0,41 (2,01)	2,08 (1,39)			
1983-1988	4,87 (0,64)	0,00 (0,87)	2,43 (0,71)			
-----				1,05°C	0,29°C	0,67°C
1989-1994	6,34 (0,63)	0,43 (1,14)	3,38 (0,64)	t = 2,41	t = 0,98	t = 2,32
1995-2000	5,81 (0,14)	0,47 (0,71)	2,67 (0,35)	p = 0,037	p = 0,192	p = 0,040
2001-2007	6,34 (0,91)	0,11 (1,38)	3,23 (0,84)	*	NS	*
Températures moyennes (écart-types) en °C				Différences entre les deux sous-périodes consécutives		

Tableau VII. Moyennes thermiques en Vanoise (et en Dombes), exprimées par sous-périodes de 6 ans (de 4 à 7 ans dans certaines stations).

Dombes	1964-1987	1988-2007	différence	test t (risque p)
janvier	1,55 (2,23)	3,32 (1,79)	1,76 (0,61)	2,91 (0,3 %) **
février	3,33 (2,17)	4,57 (2,37)	1,24 (0,69)	1,79 (3,8 %) *
mars	5,96 (1,57)	8,14 (1,54)	2,18 (0,47)	4,63 (0,0 %) ***
avril	9,08 (1,35)	10,64 (1,29)	1,55 (0,40)	3,89 (0,0 %) ***
mai	13,17 (1,08)	15,53 (1,29)	2,35 (0,36)	6,49 (0,0 %) ***
juin	16,73 (2,00)	18,73 (1,79)	2,00 (0,48)	4,17 (0,0 %) ***
juillet	19,22 (1,61)	20,83 (1,47)	1,61 (0,47)	3,39 (0,1 %) ***
août	18,36 (1,15)	20,78 (1,64)	2,42 (0,44)	5,55 (0,0 %) ***
septembre	15,57 (1,71)	16,54 (1,70)	0,97 (0,52)	1,87 (3,2 %) *
octobre	11,21 (1,86)	12,81 (1,94)	1,60 (0,58)	2,78 (0,4 %) **
novembre	5,73 (1,44)	6,56 (1,93)	0,83 (0,52)	1,58 (5,9 %) (*)
décembre	2,54 (1,97)	3,58 (1,90)	1,04 (0,58)	1,78 (4,0 %) *
<i>année</i>	10,25 (0,50)	11,87 (0,54)	1,62 (0,16)	10,29 (0,0 %) ***
Bourg-Saint-Maurice	1964-1987	1988-2007	différence	test t (risque p)
janvier	-0,38 (1,97)	1,34 (1,67)	1,72 (0,55)	3,13 (0,2 %) **
février	1,45 (2,56)	2,51 (2,19)	1,05 (0,67)	1,56 (6,1 %) (*)
mars	4,39 (1,69)	6,58 (1,80)	2,19 (0,53)	4,14 (0,01 %) ***
avril	7,88 (1,50)	9,30 (1,60)	1,42 (0,47)	3,01 (0,22 %) **
mai	12,05 (1,21)	14,25 (1,25)	2,19 (0,37)	5,89 (0,00 %) ***
juin	15,50 (1,22)	17,24 (1,82)	1,74 (0,48)	3,64 (0,04 %) ***
juillet	18,15 (1,58)	19,39 (1,47)	1,24 (0,46)	2,69 (0,50 %) **
août	17,40 (1,13)	19,16 (1,48)	1,76 (0,40)	4,38 (0,01 %) ***
septembre	14,71 (1,46)	15,11 (1,57)	0,40 (0,46)	0,86 (19,88 %) NS
octobre	10,19 (1,88)	11,08 (1,74)	0,89 (0,55)	1,63 (5,36 %) (*)
novembre	4,35 (1,56)	4,92 (1,61)	0,57 (0,48)	1,18 (12,20 %) NS
décembre	0,62 (1,86)	1,41 (1,84)	0,79 (0,56)	1,41 (8,18 %) (*)
<i>année</i>	8,90 (0,44)	10,18 (0,47)	1,28 (0,14)	9,22 (0,0 %) ***
Avrieux	1967-1987	1988-2007	différence	test t (risque p)
janvier	-1,51 (1,97)	-0,73 (1,72)	0,78 (0,58)	1,36 (8,90 %) (*)
février	-0,20 (2,06)	0,61 (2,32)	0,81 (0,69)	1,18 (12,23%) NS
mars	2,80 (1,87)	4,60 (1,69)	1,80 (0,56)	3,24 (0,13 %) **
avril	6,24 (1,37)	7,11 (1,47)	0,86 (0,45)	1,94 (2,86 %) *
mai	10,44 (1,25)	12,23 (1,18)	1,78 (0,38)	4,70 (0,00 %) ***
juin	13,98 (1,08)	15,38 (1,50)	1,39 (0,41)	3,40 (0,08 %) ***
juillet	16,85 (1,32)	17,65 (1,36)	0,80 (0,42)	1,91 (3,02 %) *
août	16,16 (1,30)	17,48 (1,53)	1,32 (0,44)	2,97 (0,26 %) **
septembre	13,48 (1,43)	13,31 (1,47)	-0,17 (0,45)	0,38 (35,46 %) NS
octobre	9,00 (1,88)	9,46 (1,82)	0,46 (0,58)	0,80 (21,82 %) NS
novembre	3,08 (1,55)	3,14 (1,50)	0,06 (0,48)	0,12 (44,90 %) NS
décembre	-0,91 (1,69)	-0,78 (1,88)	0,13 (0,56)	0,24 (40,34 %) NS
<i>année</i>	7,49 (0,38)	8,32 (0,40)	0,83 (0,12)	6,74 (0,0 %) ***

Tableau VIII. Évolution thermique mensuelle comparée en Vanoise (et en Dombes) entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007 (voir fin du tableau page suivante).

PARC NATIONAL DE LA VANOISE

	1967-1987	1988-2007	différence	test t (risque p)
Pralognan				
janvier	-2,91 (1,99)	-2,50 (2,15)	0,41 (0,65)	0,64 (26,67 %) NS
février	-1,90 (2,45)	-1,85 (2,58)	0,05 (0,76)	0,07 (47,29 %) NS
mars	0,18 (1,84)	1,53 (1,98)	1,34 (0,60)	2,25 (1,42 %) *
avril	3,70 (1,46)	4,29 (1,59)	0,59 (0,48)	1,23 (11,24 %) NS
mai	7,92 (1,41)	9,41 (1,53)	1,48 (0,46)	3,23 (0,13 %) **
juin	11,18 (1,23)	12,44 (1,80)	1,26 (0,48)	2,60 (0,63 %) **
juillet	14,04 (1,53)	14,74 (1,77)	0,70 (0,52)	1,35 (9,14 %) (*)
août	13,43 (1,08)	14,64 (1,69)	1,21 (0,44)	2,71 (0,48 %) **
septembre	11,09 (1,54)	10,46 (1,95)	-0,63 (0,55)	1,14 (12,93 %) NS
octobre	7,28 (1,97)	6,99 (1,88)	-0,29 (0,60)	0,48 (31,80 %) NS
novembre	1,71 (1,74)	0,97 (1,91)	-0,74 (0,57)	1,30 (9,98 %) (*)
décembre	-1,95 (2,00)	-2,30 (1,97)	-0,35 (0,62)	0,56 (29,28 %) NS
<i>année</i>	5,35 (0,50)	5,78 (0,80)	0,43 (0,21)	2,04 (2,3 %) *
Mont-Cenis				
janvier	5,19 (2,90)	-3,47 (1,93)	1,72 (0,82)	2,08 (2,11 %) *
février	-4,64 (2,35)	-3,87 (2,79)	0,77 (0,85)	0,90 (18,77 %) NS
mars	-3,01 (2,32)	-1,64 (1,84)	1,37 (0,70)	1,96 (2,78 %) *
avril	-0,35 (1,86)	0,19 (1,59)	0,54 (0,57)	0,94 (17,89 %) NS
mai	4,02 (1,74)	5,38 (1,70)	1,35 (0,57)	2,38 (1,10 %) *
juin	8,26 (1,29)	9,20 (1,61)	0,94 (0,48)	1,96 (2,78 %) *
juillet	11,33 (1,62)	11,67 (1,29)	0,34 (0,49)	0,70 (24,84 %) NS
août	10,33 (2,13)	11,76 (1,60)	1,43 (0,63)	2,27 (1,40 %) *
septembre	7,81 (2,56)	7,51 (1,67)	-0,31 (0,72)	0,43 (33,89 %) NS
octobre	3,63 (1,63)	4,13 (1,84)	0,50 (0,37)	0,87 (19,75 %) NS
novembre	-0,71 (2,00)	-0,85 (1,94)	-0,14 (0,65)	0,21 (41,33 %) NS
décembre	-3,18 (1,91)	-3,24 (1,47)	-0,06 (0,57)	0,10 (45,77 %) NS
<i>année</i>	2,51 (1,17)	3,12 (0,56)	0,61 (0,31)	1,98 (2,7 %) *

Tableau VIII. Évolution thermique mensuelle comparée en Vanoise (et en Dombes) entre les deux périodes 1971-1987 et 1988-2007 (*suite et fin*).

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAINÉ (D.), RODRIGUE (I.), LE BERRE (M.), RAMOUSSE (R.), 1994. Habitat preferences in Alpine marmots (*Marmota marmota*). *Can. J. Zool.*, 72 : 2193-2198.
- ALLAINE (D.), BRONDEX (F.), GRAZIANI (L.), COULON (J.) et TILL BOTTRAUD (I.), 2000. Male-biased sex ratio in litters of alpine marmots supports the helper repayment hypothesis. *Behavioral Ecology*, 11 : 507-514.
- ALLAINE (D.) et THEURIAU (F.), 2004. Is there an optimal number of helpers in alpine marmot family groups ? *Behavioral Ecology*, 15 : 916-924.
- ANEM (Association nationale des élus de la montagne), 2007. Au-delà du changement climatique, les défis de l'avenir de la montagne. *Rapport 23ème Congrès ANEM*, 25 oct. 2007, 102 p.
- BARTOLI (Ch.), 1966. Études écologiques sur les Associations forestières de la Haute-Maurienne. *Ann. Sci. forest.*, XXIII, fasc. 3 : 1-321.
- BLANCHET (G.) et RICHOUX (Ph.), 1999. Quelques aspects du climat de la région Rhône-Alpes. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon*, 68 : 305-320.
- CHASSAGNEUX (P.), DEBLAERE (J.-C.) et THEBAULT (E.), 1992. *Atlas Agroclimatique Rhône-Alpes*. Paris : Direction de la Météorologie nationale. 88 p.
- CHOQUET (R.), REBOULET (A.), PRADEL (R.), GIMENEZ (O.) et LEBRETON (J.), 2004. M-SURGE : new software specifically designed for multistate capture-recapture models. *Animal Biodiversity and Conservation*, 27 : 207-215.
- CONVENTION ALPINE, 2006. *Changement du climat dans l'espace alpin : effets et défis*. C.R. Manifest. thémat., Vienne, Autriche : Galtür, Minist. Vie, 2006, 46 p.
- FARAND (E.), ALLAINÉ (D.) et COULON (J.), 2002. Variation in survival rates for the alpine marmot (*Marmota marmota*): effects of sex, age, year, and climatic factors. *Canadian Journal of Zoology*, 80 : 342-349.
- FOURNIER (J.), 1985. Contribution à l'étude des Alpes intermédiaires françaises : la moyenne-Maurienne : bioclimatologie, groupements végétaux forestiers et impacts humains. Thèse 3ème Cycle : écologie appliquée : Grenoble 1 : 1985, p.15-52.
- GARRAUD (L.), LEBRETON (Ph.) et GENIS J.-M. (2009). Biogéographie et écologie comparées du Génévrier thurifère dans les Alpes françaises. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon*, 78 : 111-117.
- GENSAC (P.), 1967. Les forêts d'Épicéa de Tarentaise. Recherche des différents types de Pessières. *Rev. gén. Bot.*, 74 : 425-528.
- GENSAC (P.), 1978. Observations thermométriques de 1973 à 1976 dans le Parc national de la Vanoise. Conséquences biologiques. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, IX : 9-24.
- GUILLON (A.) et DEHNARD (B.), 2007. Changement climatique. Quel avenir ? *Isère-Nature* (FRAPNA-Isère), dossier mars / avril 2007, n°278, 12 p.
- GURREY (B.), 2007. Les scientifiques éternisent la responsabilité de l'homme dans le réchauffement climatique. *Le Monde* 2, n°19293, p.8 (4ème rapport du GIEC, Paris, février 2007).
- JOHNSON (J. B.) et OMLAND (K.S.), 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 19 : 101-108.
- KAISER (B.), 1983. Morphodynamique périglaciaire en Vanoise : observations et mesures sur deux formes majeures ; talus d'éboulis et glacier-rocheux. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XIII : 55-80.
- LEBRETON (Ph.), 2007. Le réchauffement climatique : de Genève à Pralognan (conférence. 30 janvier 2007). *Mém. Acad. Lyon*, 4ème série, Tome 7 : 131-139.
- LEBRETON (J.D.), BURNHAM (K.P.), CLOBERT (J.) and ANDERSON (D.R.), 1992. Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals : a unified approach with case studies. *Ecological Monographs*, 62 : 67-118.
- LEBRETON (Ph.) et al., 2000. Approche écologique de l'Avifaune de Vanoise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XXI, 304 p. (paragraphe 2.2. « Climatologie », p.30-51).
- LEBRETON (Ph.) et CHOISY (J.-P.), 2000. Déprise rurale et évolution avifaunistique. *Le Bièvre* (C.O.R.A.), 17 : 25-34.
- LLIBOUTRY (L.), 1976. Les glaciers de Belledune. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise.*, VII : 9-24.
- MARTIN (S.) et PELTIER (J.-P.), 1986. Séquences de jours secs consécutifs en Maurienne (Alpes françaises). *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XV : 9-30.
- MARTINOT (J.-P.) et LEBRETON (Ph.), 2006. Sur la séparation des niches écologiques chez les Galliformes de montagne en Vanoise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XXIII : 119-145.
- NAVARRÉ (J.-P.), 2006. Climatologie des situations nivo-météorologiques associées aux périodes avalanches importantes de ces 45 dernières années en Isère. Rapport de Synthèse Météo-France / CRRM/ CEN et CEMAGREF-ETNA. Doc. multicop. nov. 2006, 22 p.

- OZENDA (P.), 1994. *Végétation du continent européen*. Lausanne ; Paris : Delachaux et Niestlé, 271 p.
- OZENDA (P.), 2002. *Perspectives pour une géobiologie des montagnes*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 195 p.
- PEGUY (Ch.-P.), 1973. Étude sur la variabilité des précipitations du semestre froid en Vanoise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, III : 41-61.
- PEGUY (Ch.-P.), 1974. Étude sur la variabilité de l'enneigement en Vanoise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, V : 41-55.
- PEGUY (Ch.-P.), 1975. Quelques aspects peu connus de la pluviométrie en Tarentaise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, VI : 9-25.
- REPUBLIQUE FRANCAISE, 2006. Décret n°2006-116 du 31 janvier 2006 portant publication du protocole d'application de la Convention alpine de 1991 dans le domaine des "Forêts de montagne". Journal Officiel, 7 février 2006, n°32, 10 p.
- REYNAUD (L.), VALLON (E.) et CARLE (Ch.), 1983. Analyse et synthèse des mesures glaciologiques effectuées sur le glacier de Gébroulaz, massif de la Vanoise, France. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XIII : 9-29.
- REYNAUD (L.), VINCENT (Chr.) et VALLON (M.), 1997. Mesures récentes effectuées sur le glacier de Gébroulaz (Massif de la Vanoise, France), depuis 1978, par le Laboratoire de glaciologie du C.N.R.S. concernant les variations d'altitude, de vitesse, de bilan de masse et la mise en place d'un réseau de repères topographiques pour l'utilisation de la photogrammétrie aérienne. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XX : 83-109.
- RICHARD (L.), PELTIER (J.-P.) et ASTA (J.), 1996. Livret-guide de l'excursion Alpes nord-occidentales françaises, Colloque "Végétation et sols de montagne. Diversité, fonctionnement et évolution", 51 p. + cartes.
- RICHOUX (Ph.) et LEBRETON (Ph.), 2008. L'évolution climatique et son impact en Dombes. *Cahiers Fondation Pierre Vérots*, n°1 : 1-12.
- VALLON (M.), VINCENT (C.) et REYNAUD (L.), 1995. Sensibilité des bilans de masses glaciaires aux fluctuations climatiques. *Houille Blanche*, n° 5/6 : 167-174.
- VINCENT (C.), Kappenberger (G.), Valla (F.), Bauder (A.), Funk (M.) and Le Meur (E.), 2004. Ice ablation as evidence of climate change in the Alps over the 20th Century. *Journal of Geophysical Research*, vol.109, D10104.
- VINCENT (C.) et BLANC (R.), 2006. Évolution du glacier de Gébroulaz (Vanoise) au cours des 100 dernières années. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XXIII : 49-64.
- VOIRON (H.), 1983. Les régimes nivométriques de la Vanoise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XIII : 81-100.
- VOUILLON (Ph.), 2008. Coup de chaud sur la Vanoise. *Vanoise*, n°9 : 2-3.

Rédaction au 1er février 2009

Liste des membres du "Groupe Climat" du Parc national de la Vanoise (au 1er janvier 2008)

- Mme Anne DELESTRADE, "Phénoclim", C.R.E.A. (Centre de recherches sur les écosystèmes d'altitude). Observatoire du Mont-Blanc, 74400 Chamonix Mont-Blanc.
- M. Michaël DELORME, cellule "Patrimoine naturel", Parc national de la Vanoise. 135 rue Docteur Julliard, 73000 Chambéry.
- M. Philippe LEBRETON, Conseil scientifique du Parc national de la Vanoise. Ancien enseignant-chercheur à l'Université Lyon I. 56 chemin du Lavoisier, 01700 Beynost.
- M. Jean-Pierre MARTINOT, cellule "Patrimoine naturel", Parc national de la Vanoise. 135 rue Docteur Julliard, 73000 Chambéry.
- M. Gérard NICOUD, Conseil scientifique du Parc national de la Vanoise. Ancien enseignant-chercheur à l'Université de Savoie. Laboratoire Edytem.
- M. Jean-Paul PELTIER, ancien enseignant-chercheur du Centre de biologie alpine de l'Université Joseph Fourier, Grenoble. 6 place de la Commune, 38130 Echirolles.
- Mme Véronique PLAIGE, cellule "Patrimoine naturel", Parc national de la Vanoise. 135 rue Docteur Julliard, 73000 Chambéry.
- M. Louis-Etienne REYNAUD, Conseil scientifique du Parc national de la Vanoise. Ancien enseignant-chercheur du Laboratoire de glaciologie de l'Université Joseph Fourier, Grenoble. Les Chaumines, 38320 Herbays.
- M. Philippe YVERANDE, Directeur du centre départemental de Météo-France.