

EVOLUTION DES TEMPERATURES MINIMALES DANS LES ALPES DU NORD DEPUIS 1960

D. DUMAS ET C. ATUNES

Université Joseph Fourier, Institut de Géographie Alpine
14 bis avenue Marie Reynoard, 38 100 Grenoble
E-mail : dominique.dumas@ujf-grenoble.fr

Résumé

L'évolution des températures dans les Alpes du Nord françaises est approchée par l'étude des températures minimales moyennes. Pour chaque mois, deux termes synthétiques sont calculés à partir d'une centaine de postes : un gradient et une température réduite au niveau de la mer. A l'échelle annuelle, la répartition différente de ces valeurs selon la saison montre bien la complexité de la relation entre la température et l'altitude. A une échelle pluriannuelle, les modifications observées de ces valeurs permettent de décrire un peu mieux les changements climatiques opérés dans cette région au cours de ces dernières décennies.

Abstract

The evolution of the temperatures in the French Northern Alps is investigated through the mean minimum temperatures. For every month, two synthetic terms are calculated from around one hundred stations : a gradient and a reduced temperature value at sea level. On an annual scale, the various seasonal distribution patterns show the complexity of the relation between temperature and altitude. At a pluriannual scale, the observed modifications of the values allow a better description of the climatic changes that occurred in his region during the last decades.

Mots-clés : Températures minimales, réchauffement climatique, Alpes du Nord.

Keywords : minimum temperatures, global change, French Northern Alps.

Introduction

Saisir l'évolution des températures, sur une période de quarante ans, dans un secteur de haute montagne, n'est pas simple. Il convient d'essayer d'extraire de ces informations une logique générale, voire une tendance significative. Dans cette optique, cette étude propose de calculer, dans les Alpes du Nord, les gradients thermiques et les températures minimales réduites au niveau de la mer. En effet, ces deux valeurs caractérisent et synthétisent assez bien l'évolution thermique des minima. Ainsi, la température réduite permet d'évaluer relativement facilement une température moyenne de cette région puis surtout de suivre ses variations sur quarante ans (de 1960 à 2001). La connaissance des gradients permet de mieux définir, sur ce secteur, la diminution des températures avec l'altitude.

L'examen de ces valeurs permet de dégager distinctement l'évolution des conditions thermiques au cours des dernières décennies et de mieux comprendre, voire de définir, les modifications climatiques s'opérant actuellement au sein des vallées alpines. Signalons que de nombreux indices et marqueurs environnementaux semblent corroborer, pour ces dernières années, une tendance au réchauffement : végétalisation des cônes d'éboulis (*in* Messerli et Ives, 1999 ; Demangeot, 2003), modification des volumes englacés (Barry, 1990 ; Rebetez *et al.*, 1997 ; Maisch, 2000), diminution de la couverture nivale (Baeriswyl *et al.* 1997).

1. Les données utilisées

L'étude est conduite sur les Alpes du Nord à partir de stations situées dans les départements de l'Isère, la Savoie et la Haute-Savoie. Ce réseau a été complété par quatre postes placés en altitude dans

les Hautes-Alpes. Ces limites répondent à la fois au souci de se placer dans une zone relativement homogène sur un plan climatique, mais également assez étendue afin de retrouver une variété de situations topographiques et un nombre suffisamment élevé de postes de mesure.

Sur ce secteur, plus de 150 postes de mesure Météo France ont été sélectionnés. Dans un premier temps, différents critères nous ont amené à réduire ce jeu de stations : période de mesure inférieure à 8 ans, lacunes importantes, dérives multiples. Les lacunes ont été comblées, puis les séries ont été vérifiées au pas de temps mensuel en utilisant la méthode du cumul des résidus (Bois, 1971). La détection d'une dérive éventuelle a été améliorée en désaisonnant les températures. Pour ce faire, les données ont été standardisées, c'est-à-dire centrées avec la moyenne puis réduites avec l'écart type des valeurs mensuelles. Ce travail de contrôle a permis de détecter l'hétérogénéité de plusieurs séries puis de les corriger (tableau 1). Il faut noter que l'impact de cette correction sur les résultats finaux reste relativement modeste dans la mesure où les séries les plus hétérogènes ont été rapidement écartées de cette étude.

Finalement, 109 stations ont été retenues sur la période 1960-2001. Les postes sélectionnés se caractérisent ainsi par des altitudes, des expositions et des contextes topographiques extrêmement variés. Les altitudes sont comprises entre 134 m (Sablons) et 2800 m pour la station la plus haute (St-Martin-de-Belleville), mais 96 % des stations sont situées au-dessous de 2000 m d'altitude et 14% seulement se placent dans la tranche altitudinale 1500-2000 m.

L'étude porte exclusivement sur les températures minimales. Elle sera ultérieurement complétée par une analyse intégrant les températures maximales. Des modèles de régression linéaire ont été établis entre les altitudes et les températures moyennes mensuelles et annuelles (figure 1). La validité de ces relations a été vérifiée à l'aide de quatre tests portant sur la part de la variance expliquée (test de Bravais-Pearson, test de Fisher-Snédecor) et sur les coefficients de la droite (tests sur t). Pour tous ces tests, un seuil de significativité à 1% a été fixé.

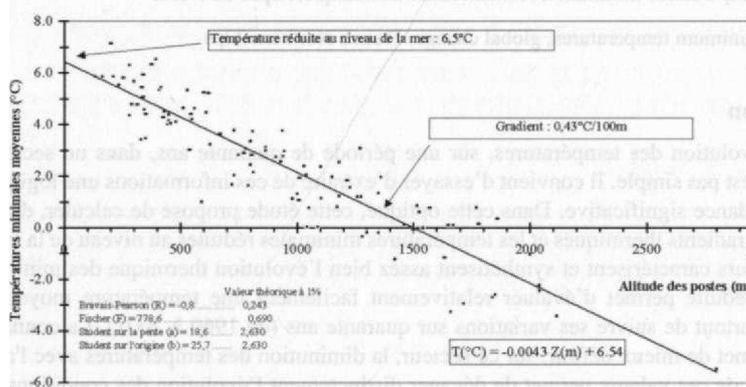


Figure 1 : Décroissance de la température minimale en fonction de l'altitude en 1973, dans les Alpes du Nord.

Pour chaque année, le travail est reconduit afin d'obtenir 42 gradients et 42 températures réduites au niveau de la mer. Ces valeurs nous semblent pertinentes et représentatives, sous réserve que les relations soient vérifiées puis validées par les quatre tests. Par ailleurs, le seuil de significativité, fixé à 1%, garantit une certaine robustesse des liaisons. Les mois ou les années dont la relation n'est donc pas hautement significative ont été rejetés.

Il sera utile par la suite d'affiner ce travail en dissociant les influences orographiques sur les relevés des températures. En effet, les études antérieures ont bien montré la complexité de la relation entre la température et le relief (Saintignon, 1976 ; Douguédroit et Saintignon, 1984 ; Paul, 1977 et

1997). Il est aujourd'hui bien connu que l'altitude n'est pas le seul facteur explicatif dans la répartition spatio-temporelle des températures, des effets locaux pouvant également influencer très fortement cette composante.

Néanmoins, à l'échelle mensuelle, ces études montrent souvent pour les minima une grande similitude entre les droites représentatives des fonds de vallées, des adrets et des ubacs (Douguédroit, 1980 ; Douguédroit et Saintignon, 1984). Il est certain que la prise en compte de ces critères topographiques engendre une variance résiduelle plus faible dans un modèle de régression linéaire multiple et favorise donc une plus grande fiabilité statistique des valeurs calculées. En revanche, sur une région montagneuse, une étude dissociant les sites topographiques rend les synthèses plus délicates et une compréhension des tendances plus difficile.

Tableau 1 : Liste des stations homogénéisées.

(les moyennes et les écarts-types sont calculés pour la période 1960 à 2001, à titre indicatif)

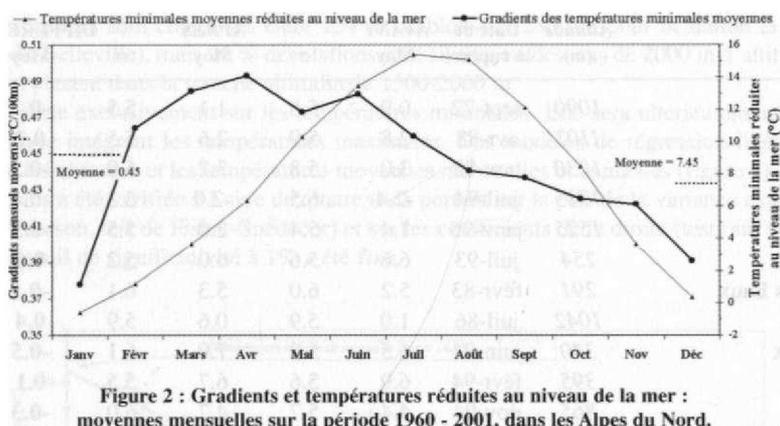
Stations	Altitude (m)	Date de la rupture	Homogénéisation des données					
			AVANT		APRES		DIFFERENCE	
			Moy	σ	Moy	σ	Moy	σ
Autrans	1090	sept-72	0.9	5.6	1.1	5.5	-0.2	0.0
Avrieux	1102	avr-88	2.8	5.9	2.6	5.5	0.2	0.3
Beaufort	1030	nov-88	3.0	5.8	3.2	5.9	-0.3	-0.1
Bessans	1715	juil-94	-2.4	6.5	-2.0	6.3	-0.4	0.2
Besse	1525	janv-95	1.4	5.4	2.0	5.5	-0.5	-0.1
Bourgoin	254	juil-93	6.6	5.6	6.0	5.2	0.6	0.4
Challes les Eaux	291	févr-83	5.2	6.0	5.3	6.1	-0.1	-0.1
Chamonix	1042	juil-86	1.0	5.9	0.6	5.9	0.4	0.0
Chindrieux	340	juin-94	6.5	5.8	7.0	6.1	-0.5	-0.3
Evian	395	févr-94	6.9	5.6	6.7	5.5	0.1	0.1
La Mure	865	nov-94	4.4	5.7	4.7	6.0	-0.3	-0.3
Meythet	458	mai-92	4.5	5.7	4.7	5.9	-0.2	-0.2
Pralognan-la-Vanoise	1420	oct-93	0.5	5.8	0.7	5.8	-0.3	0.0
Rumilly	345	avr-73	4.8	5.8	5.1	5.9	-0.3	-0.1
Sablons	134	juin-94	6.9	5.2	7.1	5.3	-0.2	-0.1
Saint-Martin-d'Hères	212	janv-69	6.4	5.9	6.3	5.7	0.2	0.1
Samoëns	749	mai-94	2.9	5.8	3.0	5.7	-0.1	0.1
Termignon	1280	mars-62	0.6	5.7	0.6	5.7	0.0	0.0
Thones	626	sept-91	4.0	5.9	3.9	5.8	0.1	0.1
Ugine	425	juin-88	4.9	6.0	5.2	6.2	-0.3	-0.3
Usinens	417	mars-91	6.0	5.6	5.9	5.5	0.1	0.1
Vallorcine	1300	janv-93	0.3	5.8	0.1	5.7	0.2	0.1
Verrens-Arvey	530	juin-95	4.8	5.7	4.6	5.6	0.2	0.2
Villard	1050	mai-80	1.9	5.4	1.5	5.3	0.4	0.1

2. Résultats

L'étude statistique des températures minimales mensuelles et annuelles permet de décrire précisément l'évolution saisonnière de la décroissance des températures et fait ressortir des modifications significatives au cours des quatre dernières décennies du XX^{ème} siècle.

2.1. Evolution au cours d'une année des gradients et des températures réduites

L'évolution saisonnière est appréhendée à partir de la moyenne des 42 valeurs obtenues mensuellement sur la période 1960-2001. On peut ainsi déduire une dynamique annuelle caractéristique dans les Alpes du Nord (figure 2). Dans ce secteur, au niveau de la mer, l'amplitude thermique annuelle serait de 16,0 °C et la température minimale annuelle atteindrait 7,5°C. Si les températures réduites suivent les variations générales du climat, les gradients montrent en revanche un cycle décalé et nettement asymétrique, avec une croissance très rapide en début d'année puis une diminution plus lente en fin d'année. Aussi, le gradient annuel moyen de 0,45°C masque une forte variabilité mensuelle. On retrouve une évolution déjà décrite dans les grandes lignes avec des gradients souvent plus réduits en période hivernale et plus élevés au printemps. Ce cycle saisonnier s'explique notamment par une occurrence plus grande des inversions thermiques en saison froide, mais aussi probablement par un caractère particulièrement instable de l'atmosphère au printemps qui favorise un brassage vertical plus actif (Paul, 1977).



Sur une année, les gradients fluctuent de 0,38°C en janvier à 0,49°C en avril. Ils demeurent sur l'ensemble de l'année plus faibles que ceux observés dans les Alpes du Sud sur la période 1959-1978 où, sur les adrets et dans les fonds de vallée, le gradient des températures minimales varie respectivement entre 0,51-0,57 et 0,53-0,63 (Douguédroit et Saintignon, 1981). Dans les Alpes du Nord, on peut penser que les minima moins élevés favorisent une humidité relative plus forte sur l'ensemble d'une année, et donc une décroissance un peu plus faible des températures avec l'altitude.

2.2. Evolution sur la période 1960-2001

Les gradients moyens annuels des températures minimales présentent, sur la période étudiée, une forte variabilité interannuelle avec des décroissances oscillant entre 0,39 à 0,49°C/100 m (figure 3). Il ne semble pas apparaître, sur ces quarante ans, une évolution particulière et significative. Par ailleurs, l'intensité de ces gradients est statistiquement indépendante des températures minimales réduites la même année.

Si les gradients annuels, et même mensuels, ne montrent pas une évolution évidente ces dernières décennies, il est en revanche plus facile de déceler une tendance significative sur les températures minimales réduites au niveau de la mer. A l'échelle annuelle, une hausse sensible et significative de ces valeurs s'est progressivement opérée (figure 4). Entre le début et la fin de la période d'étude, la différence thermique, en faveur d'un réchauffement, est de l'ordre de 1,5°C.

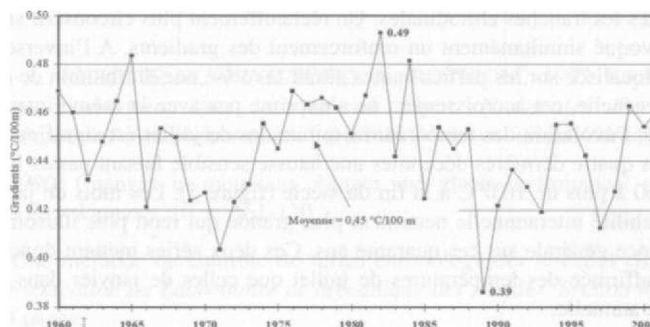


Figure 3 : Evolution des gradients des températures minimales annuelles (1960-2001).

Cette hausse dépasse les valeurs généralement proposées sur l'ensemble du XX^e siècle (IPCC, 2001) ; à partir des données de Jones *et al.* (2003), pour la période 1960-2001, l'augmentation des températures moyennes de l'hémisphère Nord est de 0,56°C (Jones *et al.*, 1986 ; Jones et Moberg, 2003). Il convient naturellement de rester prudent dans la mesure où ces relations sont observées à partir de stations situées dans des contextes topographiques variés. Néanmoins, même si cet accroissement peut être atténué ou modulé en fonction des stations retenues, la remontée des températures minimales dans cette région, depuis quarante ans, semble difficilement contestable. En outre, sur la période étudiée, l'évolution des minima concorde assez bien avec celle des températures moyennes calculées sur l'ensemble de l'hémisphère Nord (figure 4).

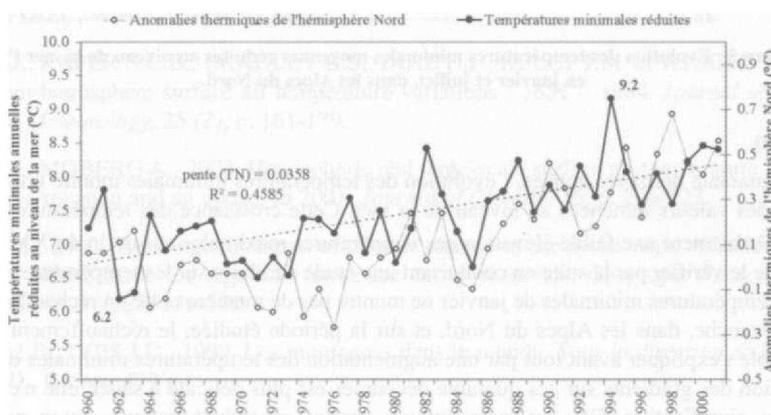


Figure 4 : Evolution de la température minimale annuelle réduite au niveau de la mer pour les Alpes du Nord (1960-2001) et anomalies de la température de l'hémisphère Nord par rapport à la moyenne de la période 1950-1979 (Jones et Moberg, 2003).

Par ailleurs, la figure 4 confirme indirectement le poids important des températures minimales dans l'évolution climatique générale de ces régions. En effet, à supposer que les températures maximales n'aient pas changé corrélativement, cette élévation expliquerait, à elle-seule, une hausse des températures moyenne d'environ 0,75 °C en 40 ans.

Dans le détail, la relative stabilité des gradients annuels au cours de ces quatre dernières décennies témoigne du fait que la hausse des températures minimales s'opère d'une manière relativement

homogène sur toutes les tranches altitudinales. Un réchauffement plus circonscrit sur les régions peu élevées aurait provoqué simultanément un renforcement des gradients. A l'inverse, une hausse des températures plus localisée sur les parties hautes aurait favorisé une diminution de ces gradients.

A l'échelle mensuelle, cet accroissement ne s'exprime pas avec la même intensité. Ainsi sur la période 1960-2001, l'évolution des températures minimales de juillet est significativement positive. Elle montre sur ces quatre dernières décennies une hausse sensible faisant passer les valeurs d'environ 14,5°C en 1960 à plus de 16,0°C à la fin du siècle (figure 5). Les mois de janvier montrent en revanche une variabilité interannuelle nettement plus grande qui rend plus illusoire la mise en évidence d'une tendance générale sur ces quarante ans. Ces deux séries mettent donc en évidence une contribution plus affirmée des températures de juillet que celles de janvier dans le réchauffement observé à l'échelle annuelle.

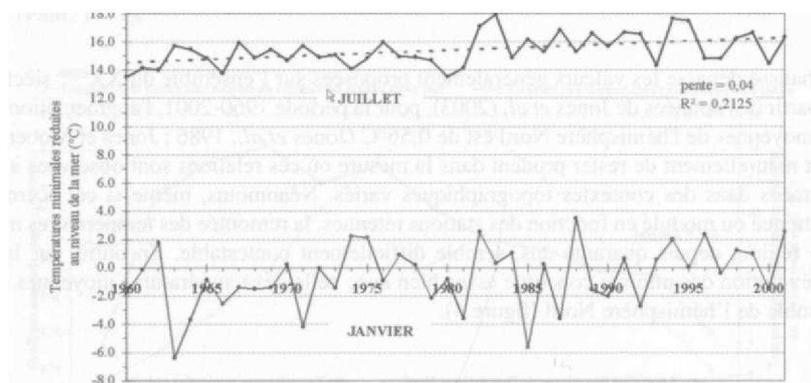


Figure 5 : Evolution des températures minimales moyennes réduites au niveau de la mer (°C) en janvier et juillet, dans les Alpes du Nord.

Conclusion

Sur ces quarante dernières années, l'évolution des températures minimales montre une hausse non négligeable des valeurs ramenées au niveau de la mer. Cette croissance des températures minimales implique probablement une faible élévation des températures maximales sur la fin du XX^e siècle. Il conviendra de le vérifier par la suite en conduisant une étude similaire sur les températures maximales. L'étude des températures minimales de janvier ne montre pas de manière nette un réchauffement significatif. En revanche, dans les Alpes du Nord, et sur la période étudiée, le réchauffement annuel des minima semble s'expliquer avant tout par une augmentation des températures minimales de juillet.

L'évolution des gradients sur ces quarante décennies est plus délicate à saisir, elle n'est d'ailleurs peut-être pas significative. Ces gradients annuels restent cependant toujours assez proche de la moyenne (0,457/100m) et fluctuent assez peu au cours de ces quarante années (plus de 80% des valeurs sont inscrites entre 0,42 et 0,47°/100m). La variation saisonnière de ces valeurs est en revanche plus aisée à comprendre. Les gradients faibles en hiver et plus forts en été, montrent clairement l'influence des inversions thermiques hivernales sur les minima. Cette observation n'est pas nouvelle mais permet indirectement de valider pour partie ces résultats. En effet, une variation saisonnière chaotique des gradients aurait été plus difficile à comprendre, si ce n'est peut-être par l'intégration de séries thermiques non homogènes dans les calculs.

Remerciements : Nous tenons à remercier P. Bois (Professeur à l'Université Joseph Fourier) pour ses conseils, et M.F. de Saintignon (CNRS - E.R.30) pour nous avoir transmis une partie des données utilisées dans ce travail.

Bibliographie

- BAERISWYL P.-A., REBETEZ M., WINISTÔFER A., ROTEN M., 1997. Répartition spatiale des modifications climatiques dans le domaine alpin. *Nationales Forschungsprogramm "Klimaänderungen und Naturkatastrophen"* (NFP 31), Schlussbericht. Zurich, V D F 240 pages.
- BARRY R.G., 1990. Changes in mountain climate and glacio-hydrological responses. *Mountain Research and Development*, 10, p. 161-170.
- BOIS P., 1971. Une méthode de contrôle de séries chronologiques utilisées en climatologie et en hydrologie. *Publication du Laboratoire de Mécanique des Fluides. Section hydrologie. Univ. de Grenoble*. 53 pages.
- DEMANGEOT J., 2003. Les milieux "naturels" du globe. 9ème édition, A. Colin, coll. U, série Géographie, 364 pages.
- DOUGUEDROIT A., 1980. Les topoclimats de la Haute-Vésubie (Alpes-Maritimes, France). *Méditerranée*, n°4, p. 3-11.
- DOUGUEDROIT A., SAINTIGNON (DE) M.-F., 1981. Décroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes françaises du Sud et en Provence (séries 1959-1978). *in Eaux et Climats. Mélanges offerts à Ch. P. Péguy, Grenoble E.R.30*, p. 179-194.
- DOUGUEDROIT A., SAINTIGNON (DE) M.-F., 1984. Les gradients de températures et de précipitations en montagne. *Rev. de Géogr. Alpine, LXXII*, p. 225-240.
- IPCC, 2001. Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques. *Rapport d'évaluation du GIEC*, W M O, UNEP, 97 pages.
- JONES P.D., RAPER S.C.B., BRADLEY R.S., DIAZ H.F, KELLY P.M. et WIGLEY T.M.L., 1986. Northern hemisphere surface air temperature variations : 1851 - 1984. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25 (2), p. 161-179.
- JONES P.D., MOBERG A., 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, 16, p. 206-223.
- MAISCH M., 2000. The longterm signal of climate change in the Swiss Alps : Glacier retreat since the end of the Little Ice Age and future ice decay scenarios. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 23, 139-151.
- MESSERLI B., IVES J.D., 1999. Les montagnes dans le monde. *Sous la direction de Messerli B. et Ives J.D.*, Glénat, 479 p.
- PAUL P., 1977. La décroissance de la température avec l'altitude dans les Vosges et la Forêt Noire. Aspects locaux et régionaux. *Rev. de Géogr. de Strasbourg*, n°4, 55-67.
- PAUL, P., 1997. Topoclimat dans le domaine tempéré semi-océanique. In *Le Climat, l'Eau et les Hommes* (V. Dubreuil et J.-P. Marchand, dir.). Ed. Presses Univ. Rennes, p. 197-226.
- REBETEZ M., LUGON R., BAERISWYL P.-A., 1997. Climatic change and debris flows in high mountain regions : the case study of the Ritigraben torrent (Swiss Alps). *Climatic Change* 36 (3-4) p. 371-389.
- SAINTIGNON (DE) M.-F., 1976. Décroissance des températures en montagne de latitude moyenne : exemple des Alpes françaises du Nord. *Rev. de Géogr. Alpine, LXIV*, 4, p. 483-494.