HAL
open science

L'ENNEIGEMENT DANS LES ALPES DU SUD EN FRANCE : EVOLUTION TEMPORELLE ET RELATION AVEC LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

Nicolas Martin, Pierre Carrega

To cite this version:

Nicolas Martin, Pierre Carrega. L'ENNEIGEMENT DANS LES ALPES DU SUD EN FRANCE : EVOLUTION TEMPORELLE ET RELATION AVEC LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE. XXIVe colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sep 2011, Rovereto, Italie. hal-01132732

HAL Id: hal-01132732

https://hal.science/hal-01132732v1

Submitted on 17 Mar 2015

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

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

L'ENNEIGEMENT DANS LES ALPES DU SUD EN FRANCE : EVOLUTION TEMPORELLE ET RELATION AVEC LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE.

MARTIN N[1], CARREGA P[1]

[1]*Université de Nice-Sophia, équipe G.V.E. de l'UMR Espace 6012 du CNRS, 98 Bd E. Herriot, 06204 Nice cedex 3, France, nicolas.martin@unice.fr*

Résumé : *Après avoir défini l'évolution de l'enneigement des Alpes du Sud à partir de postes de mesures de Météo-France (notamment à l'aide de celui d'Isola 2000), l'intérêt se porte sur l'étude des relations entre les variables météorologiques issues des réanalyses du NCEP et les chutes de neige. Des types de circulation atmosphérique liées ou non à la variation du manteau neigeux sont définies ainsi que l'évolution de leurs occurrences depuis 1973 dans le but de comprendre les tendances observées sur l'épaisseur de neige au sol.*

Mots-Clés : *épaisseur du tapis neigeux, chute de neige, réanalyses NCEP, circulation atmosphérique.*

Abstract : *Having defined the evolution of the snow coverage of the South Alps from measures posts of Météo-France (in particular by means of Isola 2000), the interest concerns to the study of the relations between the meteorological variables stemming from NCEP reanalysis and the snowfalls. Type of atmospheric circulation connected or not to the variation of the snow-covered are defined as well as the evolution of their occurrences since 1973 with the aim of understanding the trends observed on the thickness of snow on the ground.*

Keywords : *snow-covered thickness, snowfall, NCEP reanalysis, atmospheric circulation.*

Introduction

Grâce à des altitudes élevées dans sa partie nord, le département des Alpes-Maritimes (extrême sud-est de la France) bénéficie chaque année de chutes de neige et de la présence d'un manteau neigeux plus ou moins stable et durable entre octobre et juin (Carrega, 1982 et 1989). Les populations résidant dans cet espace montagneux ont calqué leur rythme de vie sur cette alternance saisonnière et ont depuis plusieurs dizaines d'années développé d'importantes activités économiques reposant sur l'enneigement des massifs. Afin de renforcer les infrastructures d'accès et celles nécessaires à la pratique des sports d'hiver, les collectivités territoriales subventionnent très largement cette activité touristique, véritable épine dorsale de la vie économique de cet espace montagneux.

Le climat est caractérisé par sa variabilité naturelle, mais subit également depuis plusieurs décennies les conséquences des activités humaines sur la composition chimique de l'atmosphère. Selon les dernières conclusions du GIEC (2007) le renforcement de l'effet de serre est une réalité et par conséquent la température moyenne du globe augmentera pendant le siècle à venir. Cette hausse a déjà débuté et s'observe aisément depuis le début des années 80 à l'échelle mondiale. Les superficies couvertes par la neige pourraient donc décroître (Armstrong et Brun, 2008).

L'objectif de ce travail est tout d'abord d'analyser l'évolution de l'enneigement et des chutes de neige à l'aide de postes de mesures de Météo-France, situés dans le nord montagneux des Alpes-Maritimes. Afin de comprendre la tendance précédemment dégagée les données journalières d'Isola 2000 et les réanalyses du NCEP (National Centers for Environmental Prediction) sont croisées sur environ 40 ans. Les corrélations ainsi mises en valeur permettent de sélectionner 4 variables météorologiques influençant l'enneigement ensuite utilisées pour définir des types de circulations atmosphériques plus ou moins favorables aux chutes de neige ; leur occurrence tout au long de ces 40 années est étudiée dans le but de comprendre l'évolution de l'épaisseur du manteau neigeux.

1. L'enneigement des Alpes-Maritimes.

1.1. Le réseau de mesures nivologiques de Météo-France.

Dans ce département des sommets de plus de 3000 m d'altitude s'observent à moins de 40 km de la mer Méditerranée. Même s'il est ardu d'organiser un réseau de mesures météorologiques dans un espace aussi accidenté, Météo-France dispose de quelques stations dans le nord montagneux du département dont les données sont numérisées (d'autres stations sont présentes mais n'ont pas encore bénéficié d'une numérisation de leurs données). Les 5 postes utilisés dans cette étude (Isola 2000, Auron, Valberg, Estenc et Casterino) sont disséminés selon une hétérogénéité spatiale comblant en partie leur nombre peu élevé. Cependant leur répartition altitudinale offre une faible amplitude préjudiciable à l'étude des relations entre enneigement et altitude (fig. 1).

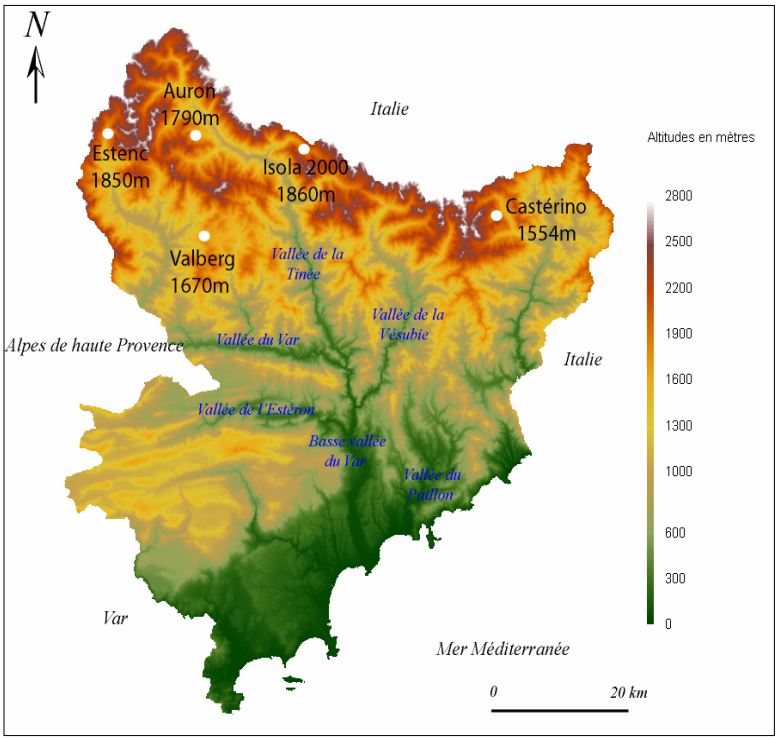

Figure 1 : Localisation des postes nivologiques de Météo-France dans les Alpes-Maritimes.

1.2. Evolution de l'enneigement moyen annuel de 1973 à 2010.

Seul l'historique d'Isola 2000 permet de dégager l'évolution du manteau neigeux dans les Alpes-Maritimes (fig. 3). Les 4 autres postes ne proposent pas d'historiques aussi longs et les mesures numérisées ne débutent qu'en 1983 pour Valberg et Auron, et encore plus tardivement pour Casterino (1990) et Estenc (1996). Les hauteurs moyennes annuelles de neige décroissent fortement entre le début des années 70 et la fin des années 80 : la moyenne mobile sur 5 ans perd plus de 100 cm en 15 ans (-70%). Une légère hausse s'opère alors pour stabiliser l'épaisseur moyenne sur 5 ans du manteau neigeux entre 60 et 70 cm.

Pour mieux comprendre cette évolution l'intérêt se porte sur le cumul annuel des chutes de neige. Le manteau neigeux s'amincit-il parce qu'il neige moins ? Ce facteur explique seulement en partie la tendance observée. En effet les cumuls annuels des chutes baissent également dans le temps, mais selon un rythme décalé et dans des proportions moindres : compris entre 4 et 7 m de 1973 à 1989 (avec une exception en 1981), les cumuls oscillent ensuite entre 2 et 5 m jusqu'en 2007 (avec là aussi une année atypique en 1996). L'originalité de l'évolution croisée des hauteurs d'enneigement et des cumuls des chutes réside dans l'absence de relation forte entre ces variables dès 1982 : alors que les cumuls de neige sont sensiblement les mêmes que de 1973 à 1980, les hauteurs d'enneigement sont nettement plus faibles (fig. 2). Enfin les deux dernières années (2009 et 2010) retrouvent de forts cumuls de chutes de neige tandis que les hauteurs moyennes d'enneigement, certes orientées à la hausse, n'ont rien de comparable avec les données enregistrées dans les années 70.

Ainsi la relation statistique entre l'épaisseur du manteau neigeux et l'intensité annuelle des chutes de neige a changé durant ces quelques décennies bien que les évolutions de ces deux variables soient orientées dans la même direction. Quels pourraient être les facteurs météorologiques responsables de ces tendances ?

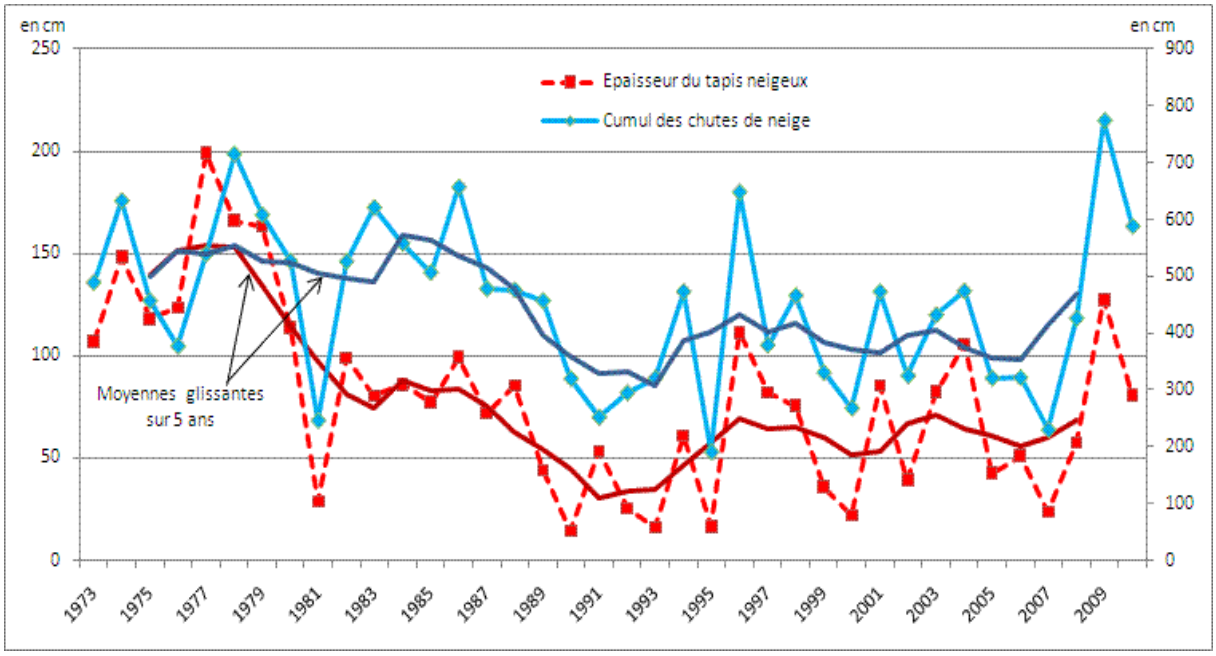

Figure 2 : Evolutions du tapis neigeux moyen (ordonnées à gauche) et des cumuls annuels de chutes de neige (ordonnées à droite) à Isola 2000 de novembre à avril de 1973 à 2010.

2. La circulation atmosphérique générale et les chutes de neige dans les Alpes-Maritimes.

2.1. Les données macroéchelle des réanalyses du NCEP et les chutes de neige locales.

Dans le but de comprendre le ou les contextes synoptiques généraux dans lesquels les chutes de neige se produisent, un recours aux réanalyses du NCEP est opéré. Ces modélisations (Kalnay, 1996) procurent une abondante source de données à une résolution spatiale grossière de 2.5°.

Une sélection de variables est menée en déterminant les coefficients de corrélation entre chacune des variables journalières des réanalyses, disponibles pour l'ensemble des niveaux de geopotentiel à 12h TU, et les chutes de neige journalières d'Isola 2000 relevées à 6h TU entre 1972 et 2010 pour les jours des mois de novembre à avril au cours desquels un événement neigeux a été enregistré (1658 jours au total). Le calcul est effectué en se fondant sur les 2 points de réanalyses les plus proches spatialement du site de mesures d'Isola 2000 (7.5°E/45°N et 7.5°E/42.5°N). Malheureusement aucun des deux points n'est situé dans un environnement comparable au poste de Météo-France, l'un se trouvant dans la plaine du Pô à 15 km au sud-ouest de Turin et l'autre au dessus de la Méditerranée à plus de 100 km des côtes. Cependant des coefficients de corrélation compris entre 0,3 et 0,5 en valeur absolue suggèrent l'existence de relations entre les chutes de neige et la pression atmosphérique en surface, le flux méridien et l'humidité spécifique à 700 hPa, la vitesse verticale à 850 hPa. Ces variables météorologiques sont donc employées pour caractériser les configurations atmosphériques moyennes responsables de différents cumuls de neige précipités sur 24h.

2.2. Les types de circulation à neige

Les chutes de neige, comme les précipitations en général, nécessitent l'association de deux facteurs principaux: d'une part la « matière première » c'est-à-dire de la vapeur d'eau, et d'autre part un « moteur d'ascendance » (pour qu'il y ait précipitation il faut qu'air et vapeur d'eau montent, d'où détente et refroidissement nécessaires à la condensation).

Les chutes de neige quotidiennes sont réparties en 4 classes d'épaisseur tombée en 24h, dont la moyenne est respectivement pour les classes 1 à 4 : 2,6 cm (853 jours), 12,2 cm (570 jours), 27,8 cm (196 jours), et 54,8 cm (39 jours). Pour chacune de ces classes, à partir des 187 points de grille couvrant l'Europe, a été reconstitué le « champ-type » de chacune des 4 variables météorologiques retenues, fondé sur la moyenne de toutes les situations quotidiennes constituant la classe.

La « matière première » est représentée par la variable « humidité spécifique du géopotentiel 700 hPa ». L'allure générale du champ est la même pour toute les classes, avec une opposition entre une Europe du Nord sèche (1 à 1.5 g/kg d'air humide) et une Méditerranée occidentale humide (> 2 g/kg), avec deux noyaux centrés sur l'Algérie, et la Provence ou le golfe de Gênes. Le maximum concerne l'Algérie pour les 3 premières classes et notre région pour la quatrième. Il croît avec les classes : de 2, il passe successivement à 2.15, 2.45 et 2.50 g/kg pour la classe de chutes maximales.

Les trois autres variables sont susceptibles d'exprimer l'ascendance. La pression en surface dessine un champ avec un vaste secteur dépressionnaire sur l'Atlantique nord auquel se rattache un talweg axé NW-SE de la Normandie à la mer Ionienne, encadré par de hautes pressions vers les Açores et la mer Noire. Avec les classes les plus enneigées, le talweg se creuse et tend à « glisser » vers le sud, occasionnant un flux de surface bien marqué de SE, en même temps que dans la région la pression évolue assez peu (1013 à 1011.5 hPa). La vitesse verticale à 850 hPa (en Pa/s) montre une répartition spatiale complexe, à plusieurs noyaux, avec une constante, quelle que soit la classe de chute : un axe de vitesses négatives (donc ascendantes) du golfe de Gascogne au sud de l'Adriatique avec deux minimum, entouré de valeurs positives (subsidentes) sur l'Irlande, le Sud-est de l'Espagne et surtout sur la Tchéquie. Le minimum centré sur la mer Tyrrhénienne (-0.040 Pa/s) pour les faibles chutes se décale sur l'est de la Corse pour la classe 2, puis se centre entre Corse et Provence pour les classes 3 et 4 donnant des ascendances de 1.30 Pa/s (soit environ 1.3m/s). Enfin, la variable vent à 700 hPa dessine un champ où les vitesses sont maximales en Méditerranée, avec une composante ouest dominante. Un faible talweg axé nord-sud sur la France se marque de plus en plus profondément quand on change de classe, pour aboutir à un cut off (probablement associé à une goutte froide) dès la troisième classe centré sur le Pays de Galles, puis sur la Bretagne pour la quatrième. Dans ce dernier cas, le flux devenu méridien sur la région s'incurve à son maximum au SW, avec un cyclonisme marqué à l'avant de ce talweg, position idéale pour une forte convergence (fig.3).

Au total, on constate que prise isolément, la configuration pour chaque variable associée aux classes les plus neigeuses est toujours celle qui leur est plus favorable : forte humidité spécifique vers 3000 m, faible pression en surface associée à un flux de SE (ascendance forcée par le relief), fortes vitesses verticales vers 1500 m, et rapide flux de SW à 3000 m perturbé, soulevé par le relief et fortement cyclonique. On peut en déduire que la situation synoptique idéale pour de fortes chutes de neige à Isola devrait rassembler tous ces ingrédients simultanément…

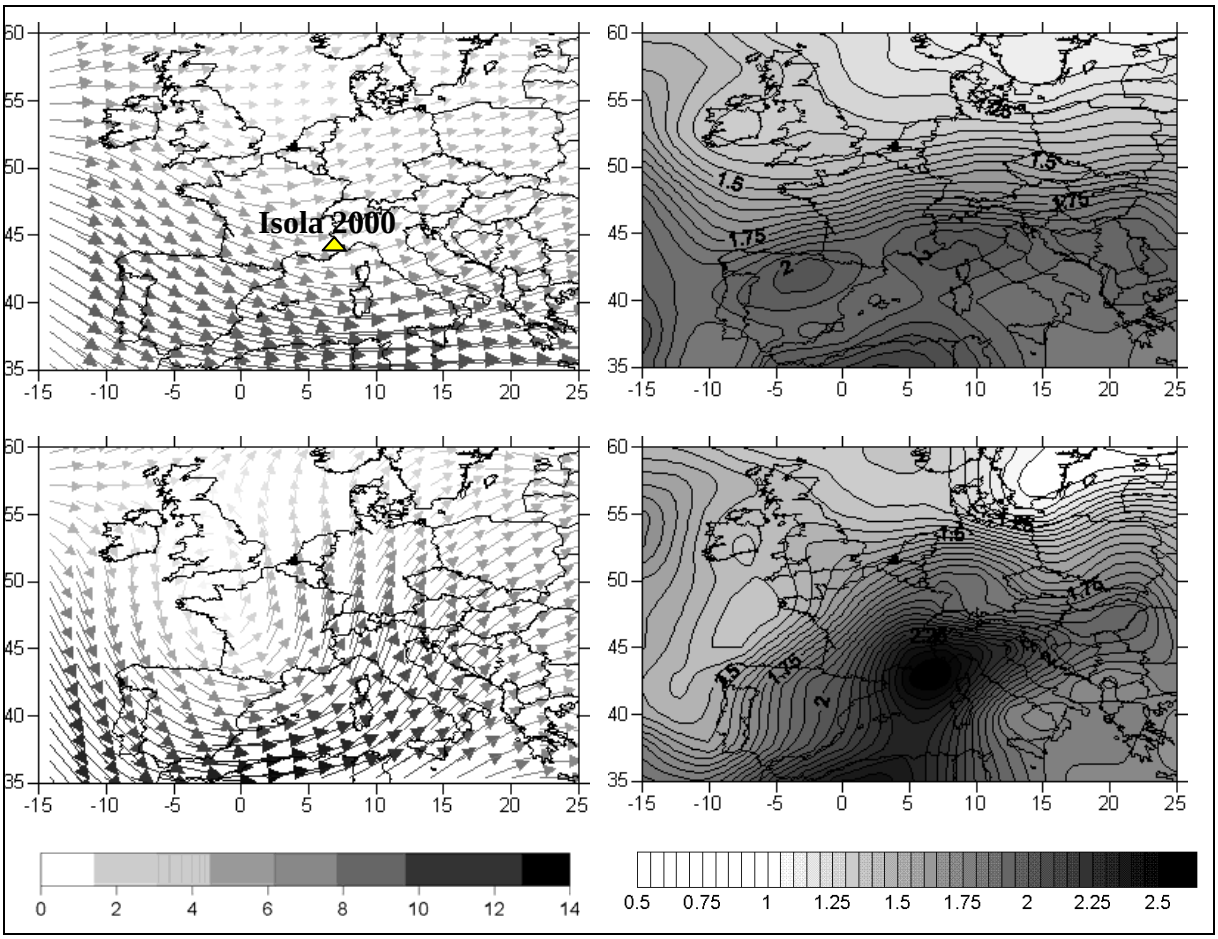

Figure 3 : Champs-type de vitesse du flux en m/s et de l'humidité spécifique en g/kg à 700ha pour les classes 1 (faibles chutes) en haut et 4 (forte chutes) en bas.

2.3 Evolution de l'occurrence des évènements neigeux

Dans l'optique de comprendre pour quelles raisons les cumuls de chutes de neige ont été orientés à la baisse durant les années 80 puis ont stagné depuis, la démarche la plus séduisante intellectuellement aurait été d'établir une classification des 4 variables du NCEP sélectionnées. L'évolution de l'occurrence des classes de circulation atmosphérique produites aurait ensuite pu indiquer une éventuelle diminution des contextes synoptiques associés aux chutes de neige. Cependant aucune des nombreuses tentatives de classification effectuées (classification ascendante hiérarchique et k-means selon plusieurs critères d'agrégation) sur les 187 points de grille de la fenêtre européenne n'a permis d'identifier des classes de circulation atmosphérique présentant des chutes de neige sur 24h aussi distinctes que les classes empiriques élaborées dans le paragraphe précédent.

Ainsi pour mieux comprendre les tendances observées sur l'épaisseur du tapis neigeux et sur les cumuls annuels, l'occurrence annuelle des chutes de neige par classe a été calculée (fig. 4). Seules les chutes de neige inférieures à 5 cm voient leur effectif annuel augmenter dans le temps : alors qu'elles étaient moins de 15 par an durant les années 70 en moyenne glissante sur 5 ans, elles sont passées à environ 25 depuis le milieu des années 80. Pour les chutes comprises entre 6 et 21 cm, et 21 et 40 cm, une hausse suivie d'une baisse s'est produite entre 1980 et 1990 de telle sorte que leur occurrence sur les 40 dernières années n'a pas changé. Enfin la classe des plus fortes chutes de neige s'est faite de plus en plus rare avec un nombre moyen d'évènements passant de plus de 2 en moyenne sur 5 ans, entre 1974 et 1981, à moins de 1 depuis 1985.

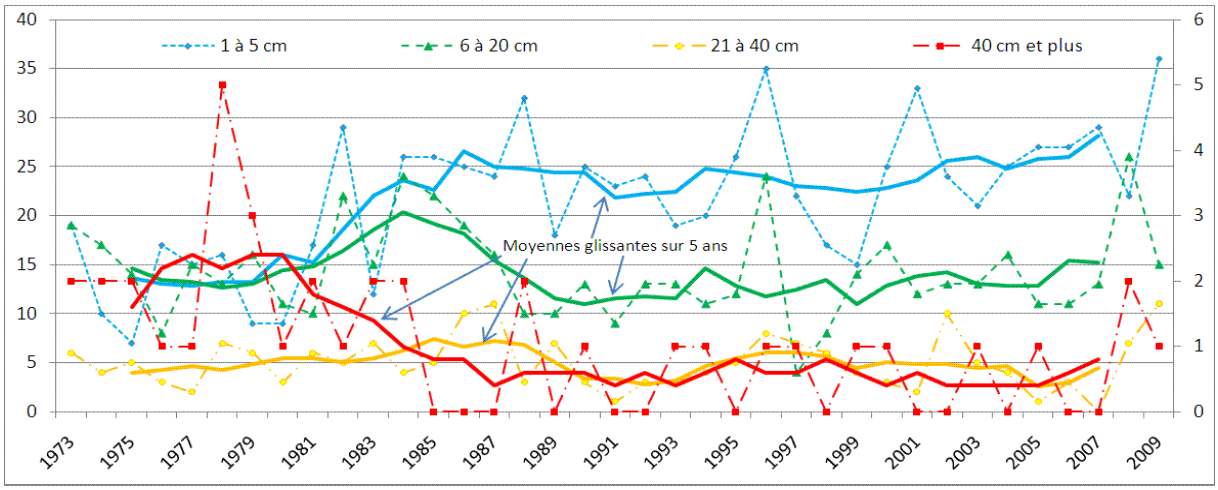

Figure 4 : Evolutions du nombre de chutes de neige par classe et par an à Isola 2000 entre 1973 et 2010. Pour la classe « 40 cm et plus » les effectifs se lisent sur l'axe des ordonnées de droite tandis que pour les 3 autres classes l'axe de référence est à gauche.

L'impact de la diminution des grosses chutes de neige est sensible sur l'épaisseur du manteau neigeux qui s'amincit de manière synchrone au début des années 80 ; cette tendance se renforce encore lorsque le nombre de chutes de neige de 6 à 20 et de 21 à 40 cm, qui avait légèrement cru dans un premier temps, baisse aussi à la fin des années 80. Il semblerait donc que les configurations atmosphériques associées aux classes de chutes de neige les plus fortes soient moins fréquentes depuis une vingtaine d'années, ou que la même classe de situation ne produise plus les mêmes effets…

Conclusion

La tendance observée sur l'épaisseur du tapis neigeux et sur l'importance des chutes de neige dans les Alpes-Maritimes est orientée à la baisse entre 1973 et 2010. Le facteur explicatif choisi dans cette étude met en avant la diminution de la fréquence des configurations de circulation atmosphérique favorables aux chutes de neige conséquentes et donc à l'épaississement du manteau neigeux. Seules les variations à la hausse sont donc considérées et aucun aspect concernant le tassement, la sublimation ou encore la fusion de la neige n'est abordé. Ces divers phénomènes ont probablement un poids non négligeable dans la tendance observée. Des variables telles que la température, la teneur en eau de la neige fraichement tombée ou encore la durée moyenne entre chaque chute seront bientôt prises en compte.

Remerciements : Les auteurs remercient le NOAA/OAR/ESRL PSD (Boulder, Etats-Unis) pour l'obtention des réanalyses atmosphériques NCAR-NCEP, de même que Météo-France pour les données nivologiques de plusieurs postes dans les Alpes-Maritimes.

Bibliographie

Armstrong R.L. et Brun E., 2008 : Snow and climate: Physical processes, surface energy exchange and modeling. Cambridge, Cambridge University Press, 222 pages.

Carrega P., 1982 : Les séquences froides dans les Alpes Maritimes Franco-Italiennes : durée de retour et structure géographique. *In Géographes Aujourd'hui*. Mélanges offerts en hommage à Jean MIEGE, 239-254.

Carrega P., 1989 : L'évolution du manteau neigeux dans l'arrière-pays niçois. Mélanges offerts au Professeur Gonnet, Nice, 309-316

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds E., Jenne R. et Joseph D., 1996 : The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor.Soc.*, **77**, 437-470.