

ETUDE DE LA NIVOMÉTRIE ET DE SES IMPLICATIONS TOURISTIQUES DANS LA VALLÉE D'AOSTE

S. FRATIANNI ET L. MOTTA

Dipartimento di Scienze della Terra - 35, Via Valperga Caluso, 10125 Torino, Italie

E-mail : Simona.fratiannina@unito.it; luigi.mottana@unito.it

Résumé

On a étudié les données nivométriques de six stations météorologiques à relèvement manuel de la Région Autonome de la Vallée d'Aoste (Italie) pour la période 1972-2002. Nous avons considéré trois variables pour évaluer la nivométrie mais aussi pour leur répercussion sur le tourisme d'hiver en montagne: l'épaisseur du manteau neigeux, la hauteur de neige au sol, la température. En outre, tous les paramètres nivométriques ont été mis en relation avec les présences touristiques dans la Vallée d'Aoste.

Abstract

This paper examines data from six meteorological stations with manual survey in Autonomic Region of the Aosta Valley, Italy for the period 1972-2002. We have considered three variables to value the snow but also for their relationship on winter tourism in the mountains: snow packs thickness, snow precipitation, temperature. All the parameters of the snow have been also correlated with the tourist's presences in Aosta Valley.

Mots-clés : Couvert neigeux, régimes nivométriques, nombre de jours neigeux, fréquentation touristique.

Keywords : snow-covering, regimes of snow, number of snow's days, touristic fréquentation .

Introduction

La Région autonome de la Vallée d'Aoste (Italie) est une zone touristique très connue pour ses domaines skiables. Nous cherchons, dans cet article, à mettre en relation la fréquentation touristique avec la variabilité interannuelle des paramètres nivométriques. Pour cette étude on a utilisé les données de six stations météorologiques à relèvement manuel (**tableau 1**). Les données, appartenant toutes à l'AINEVA (Association Interrégionale Neige et Avalanches), couvrent les trente dernières années, à partir de la saison 1972-73, année d'installation des stations de Gressoney et Rhêmes Notre Dame, jusqu'au mois d'avril 2002. On a aussi tenu compte des données climatiques de Brusson (1285 m), du Lac Cignana (2130 m), du Lac Gabiet (2380 m), du Lac Goillet (2550 m) qui proviennent de C.V.A. S.p.A. (ex ENEL, Agence Nationale pour l'Energie Electrique).

Tableau 1 : Localisation et caractéristiques des stations considérées.

Stations	Commune	Vallée	Altitude (m)	Coordonnées géographiques		Gestion	Données
Brusson	Brusson	Ayas	1285	45.46N	7.44E	ENEL	Hs_j
Gressoney	Gressoney la Trinité	Gressoney	1640	45.45N	7.50E	Région	Hn_j e Hs_j
Rhêmes N.D.	Rhêmes Notre Dame	Rhêmes	1720	45.34N	7.07E	Région	Hn_j e Hs_j
Lac Cignana	Valtourn anche	Valtournanche	2130	45.53N	7.35E	ENEL	Hs_j
Lac Gabiet	Gressoney la Trinité	Gressoney	2380	45.51N	7.52E	ENEL	Hs_j
Lac Goillet	Cervinia	Valtournanche	2550	45.56N	7.40E	ENEL	Hs_j

1. Analyses des données et méthode utilisée

Toutes les données des stations nivo-climatiques, actives sans interruption pendant les trente dernières années, des Alpes valdôtaines ont été récupérées et contrôlées.

Pour chaque mois, de novembre à avril, les paramètres nivométriques journaliers, Hn - (hauteur de la précipitation neigeuse en cm) et Hsj (hauteur de la neige au sol en cm), ont été agrégés pour obtenir les paramètres mensuels suivants:

- $Hn = ? Hn$ - = hauteur mensuelle de la précipitation neigeuse cumulée;
- Gn = nombre de jours pendant un mois où on a $Hn > 1$ cm;
- HsM = hauteur mensuelle maximum de la neige au sol;
- Hsm = hauteur mensuelle minimum de la neige au sol;

On a calculé les valeurs moyennes des trente années (indiquées respectivement par M_{Hn} , M_{Gn} , M_{HsM} , M_{Hsm}). Pour rendre comparables les données des mois, on a calculé les paramètres:

- $M_{Hn,j} = M_{Hn} / I$ nombre de jours du mois = hauteur moyenne de la précipitation journalière;
- $M_{Gn} = M_{Gn} / I$ nombre de jours du mois = nivosité du mois.

On a calculé les déviations standard respectives (σ_{Hn} , σ_{Gn}), les coefficients de variation ($C_{V_{Hn}}$, $C_{V_{Gn}}$) et les coefficients d'asymétrie de forme de la distribution (Sk_{Hn} , Sfc_{Gn}) et curtos relative (Ku_{Hn} , Ku_{Gn}).

Enfin, on a calculé les valeurs extrêmes pour chaque mois et pour chaque saison de novembre à avril l'épaisseur maximum et minimum de la neige au sol ($Maximum_{Hn}$ et $Minimum_{Hn}$).

2. Précipitations neigeuses

Les seules stations possédant des données de précipitations sont Gressoney et Rhêmes N.D (tableau 2). Le cumul saisonnier de la précipitation neigeuse est de 410 cm pour Gressoney et 429 cm pour Rhêmes Nôtre Dame. Le nombre moyen de jours de précipitation neigeuse égale ou supérieure à 1 cm dans l'ensemble de la saison est de 37,2 pour la première station et de 32,8 pour la seconde.

Tableau 2 : Principaux paramètres nivométriques calculés pour les stations de Gressoney (1640 m) et de Rhêmes Nôtre Dame (1720 m).

Rhêmes	Mhmois	Mhnj	Shnj	CVHnj	SkHnj	CuHnj	Mgnmois	Mgnj	Sgnj	CVGnj	SkGm	CuGnj	Nivosité
<i>Novembre</i>	16.3	0.54	1.30	239%	3.5	13.8	3.8	0.13	0.21	168%	1.7	1.9	4.3
<i>Décembre</i>	75.3	2.43	1.90	78%	0.5	-0.7	6.1	0.20	0.12	60%	0.0	-0.9	12.4
<i>Janvier</i>	96.0	3.10	2.31	75%	0.6	0.2	7.9	0.25	0.16	62%	0.2	0.1	12.2
<i>Février</i>	89.5	3.17	1.74	55%	0.4	0.1	7.6	0.27	0.13	49%	0.0	-1.1	11.7
<i>Mars</i>	84.0	2.71	1.73	64%	0.5	-0.6	6.6	0.21	0.13	59%	0.3	-1.0	12.7
<i>Avril</i>	67.9	2.26	2.42	107%	1.8	3.5	4.4	0.15	0.11	76%	0.7	0.0	15.4
<i>Saison</i>	429.1	2.37	0.72	30%	0.1	0.3	36.4	0.20	0.07	35%	-0.2	-0.8	11.8
Gressoney	Mhmois	Mhnj	Shnj	CVHnj	SkHnj	CuHnj	Mgnmois	Mgnj	Sgnj	CVGnj	SkGnj	CuGnj	Nivosité
<i>Novembre</i>	12.9	0.43	0.86	199%	2.1	3.8	4.7	0.16	0.23	143%	1.6	2.1	2.7
<i>Décembre</i>	65.1	2.10	2.08	99%	1.0	0.1	6.1	0.20	0.14	69%	0.5	-0.2	10.6
<i>Janvier</i>	92.5	2.98	2.40	81%	1.2	1.4	8.2	0.27	0.14	54%	-0.5	-0.7	11.2
<i>Février</i>	87.0	3.08	2.40	78%	1.1	0.8	8.2	0.29	0.13	45%	0.5	0.1	10.7
<i>Mars</i>	91.3	2.94	2.58	88%	1.4	1.9	8.0	0.26	0.15	57%	0.5	-0.5	11.4
<i>Avril</i>	61.1	2.04	1.90	93%	1.3	1.8	6.7	0.22	0.16	73%	0.9	0.8	9.1
<i>Saison</i>	409.9	2.26	1.02	45%	0.5	-0.6	42.0	0.23	0.09	40%	0.5	-0.6	9.8

Le régime de la précipitation neigeuse cumulée pour les deux stations est unimodal avec un maximum en février, mais présentant des valeurs quasi équivalentes en janvier, février et mars à Gressoney. Le régime de Gressoney est comparable à ceux des versants alpins français: «Les régimes équilibrés ou à maximum étalé sont très fréquents aux alentours de 1000 m dans les Alpes françaises

du nord, où les trois mois de décembre, janvier et février reçoivent des abats neigeux sensiblement équivalents (Les Houches, dans les massifs centraux savoyards) » (Besancenot, 1990).

Sur le versant piémontais on rencontre un régime de ce genre dans les stations de Rochemolles (Biancotti et al., 1998), et Salbertrand-Le Selle (Fратиanni et Motta, 2002) qui se trouvent à des altitudes très supérieures (1975 et 1950 m). Le régime de Rhêmes N.D. est, par contre, celui présent sur le versant italien des Alpes Occidentales au dessous de 1900 m d'altitude. Les précipitations sont mieux réparties sur l'ensemble de la saison à Gressoney et plus concentrées à Rhêmes Nôtre Dame.

La variabilité pendant les trente ans de Hn n'est pas élevée et même le paramètre C_{vw} se situe au dessous de 70% pendant tous les mois à l'exception d'avril pour les deux stations considérées.

3. Hauteur de la neige au sol

Pour décrire l'évolution saisonnière de l'épaisseur du manteau neigeux on a rassemblé dans le tableau 3 les valeurs moyennes et extrêmes: hauteur maximum de la neige au sol enregistrée pendant un mois déterminé au cours des trente ans ($Maximum_n$), la hauteur minimum ($Minimum_n$) et les moyennes M_{HSM} et M_{Hsm} .

Tableau 3 : Epaisseur moyenne trentenaire du manteau neigeux de novembre à avril (cm) et valeurs maximales et minimales extrêmes enregistrées.

Station	Altitude (m)	Moyenne des maxima mensuels						Moyenne des minima mensuels					
		ND	J	F	M	A	ND	J	F	M	A		
Brusson	1285	16	37	60	64	56	27	3	8	21	29	12	2
Gressoney	1640	20	58	93	112	114	84	10	20	38	60	52	22
Rhêmes N.D.	1720	20	62	93	108	116	91	12	24	44	66	58	21
Lac Cignana	2130	44	90	115	131	129	115	4	26	54	76	69	47
Lac Gabiet	2380	71	109	147	164	192	210	17	44	73	95	105	108
Lac Goillet	2550	83	124	157	180	191	202	18	50	84	114	116	108
		<i>Maximum Absolu</i>						<i>Minimum Absolu</i>					
Brusson	1285	85	90	150	158	180	85	0	0	0	0	0	0
Gressoney	1640	98	144	255	415	270	188	0	0	4	5	0	0
Rhêmes N.D.	1720	130	162	195	192	208	240	0	0	0	10	0	0
Lac Cignana	2130	170	229	226	247	220	229	0	1	3	8	6	0
Lac Gabiet	2380	284	265	368	380	391	425	0	0	4	21	31	0
Lac Goillet	2550	265	283	305	360	360	405	1	2	13	13	28	0

En considérant les données de Gressoney et de Rhêmes N.D. on observe que l'évolution saisonnière de l'épaisseur du manteau neigeux est influencée surtout par le régime des précipitations neigeuses: dans les deux stations, l'épaisseur minimum du manteau neigeux (M_{Hsm}) est au maximum en février, mois des précipitations neigeuses maximales, tandis qu'à cause des phénomènes d'accumulation, le manteau neigeux atteint l'épaisseur maximale (M_{HSM}) pendant le mois suivant, en mars. Les valeurs minimales trentenaires de l'épaisseur du manteau sont maximales de nouveau en février ($Minimum_n$), tandis que les maximales ($Maximum_n$) se trouvent en avril à Rhêmes N.D. et en février à Gressoney.

Si on considère l'ensemble des valeurs dans toutes les stations, on observe que celles-ci semblent se distribuer presque exclusivement en fonction de l'altitude des stations, sans influence évidente de la situation géographique, à l'exception de la station du Lac Cignana, située dans un cirque glaciaire, avec des valeurs maximales annuelles (M_{Hsm}) et trentenaires ($Maximum_n$) insolites en février. Normalement les valeurs de l'épaisseur minimum (M_{Hsm}) sont en février dans les stations situées à

basse altitude et en mars-avril pour celles situées plus haut. Les valeurs de l'épaisseur maximum (M_{max}) sont par contre plus irrégulières: elles tombent en février-mars dans les stations plus basses (Brusson, Gressoney et Rhêmes N.D.) et en avril dans les stations plus élevées (Lac Gabiet et Lac Goillet). Seule la station de Brusson présente des valeurs minimales trentenaires ($Minimum_{mf}$ égales à zéro dans tous les mois considérés; dans les autres stations la distribution de ces valeurs suit celle des normales (M_{mf}).

4. Potentialités touristiques liées au climat

L'élément le plus important pour la pratique des sports d'hiver est sans doute l'épaisseur du manteau neigeux: ce paramètre a donc été mis en relation avec les fréquentations touristiques dans la Vallée d'Aoste. Les chutes de neige ne doivent pas être inférieures à 40 cm pour la pratique du ski alpin (Gumuchian, 1983) afin de permettre le damage de la piste en toutes conditions. Pour évaluer la potentialité du ski on a calculé pour les stations nivométriques les pourcentages des années durant lesquelles le manteau neigeux s'est maintenu sur une épaisseur supérieure à 40 cm pendant tout le mois (mois complets) et au moins pendant un jour du mois (mois incomplets) (figure 1).

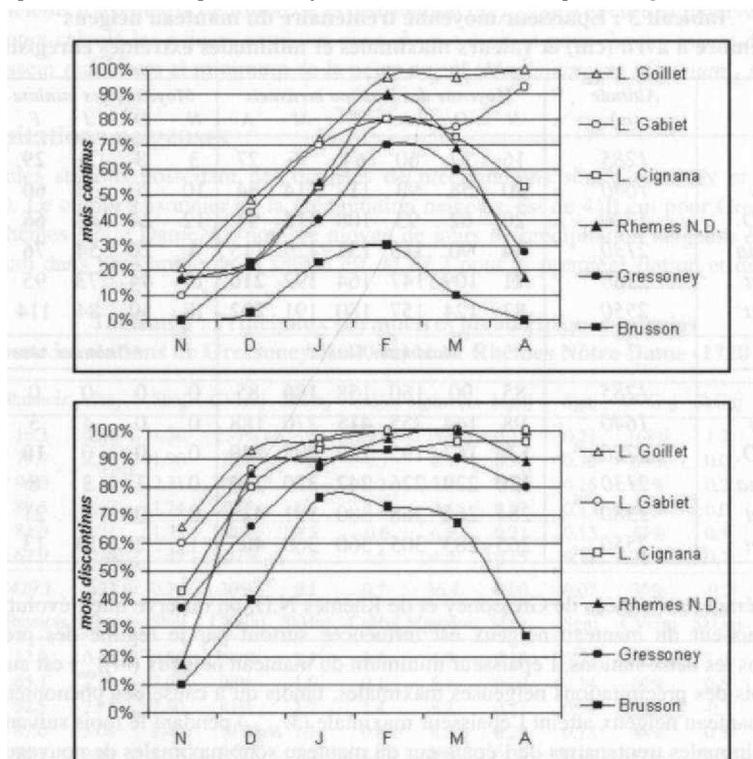


Figure 1 : Pourcentage des mois dans lesquels $H_{sj} > 40$ cm dans tous les jours (en haut, mois complets) et avec au moins un jour avec $H_{sj} > 40$ cm (au dessous, mois incomplets).

Brusson présente un maximum de 30% des mois continus en février, qui se révèle être le seul mois assez favorable à la pratique du ski. Les régimes des stations de Gressoney, Rhêmes et Lac Cignana sont très semblables, mais au Lac Cignana on trouve des pourcentages plus élevés de mois continus

(55%) et plus bas (5%) en novembre. On trouve le pourcentage le plus élevé de mois continus en février (entre 70% à Gressoney et 85% à Rhêmes Nôtre Dame). Les stations qui sont situées au dessus de 2300 mètres (Lac Gabiet et Lac Goillet) présentent de 10 à 20% de mois continus en novembre et atteignent de bons pourcentages, environ 70%, dès janvier. En avril on trouve le pourcentage le plus élevé, avec 90 à 100% des mois continus.

On peut remédier au manque de neige naturelle en fabriquant de la neige artificielle à condition que la température soit négative (Gumuchian, 1983). En s'appuyant sur les données thermométriques journalières des stations (T) on a pu évaluer les jours où il y a un manque de neige suffisant pour skier ($Us < 40$ cm) et en même temps des températures moyennes négatives ($T < 0$ °C) (tableau 4).

À Brusson (figure 2), situé seulement à 1200 m d'altitude, on observe de novembre à janvier un fort pourcentage de jours par mois, pendant lesquels il est utile de fabriquer de la neige artificielle. La possibilité d'enneiger artificiellement les pistes de ski est presque exclue pendant les mois de printemps et surtout en avril quand la température devient trop élevée.

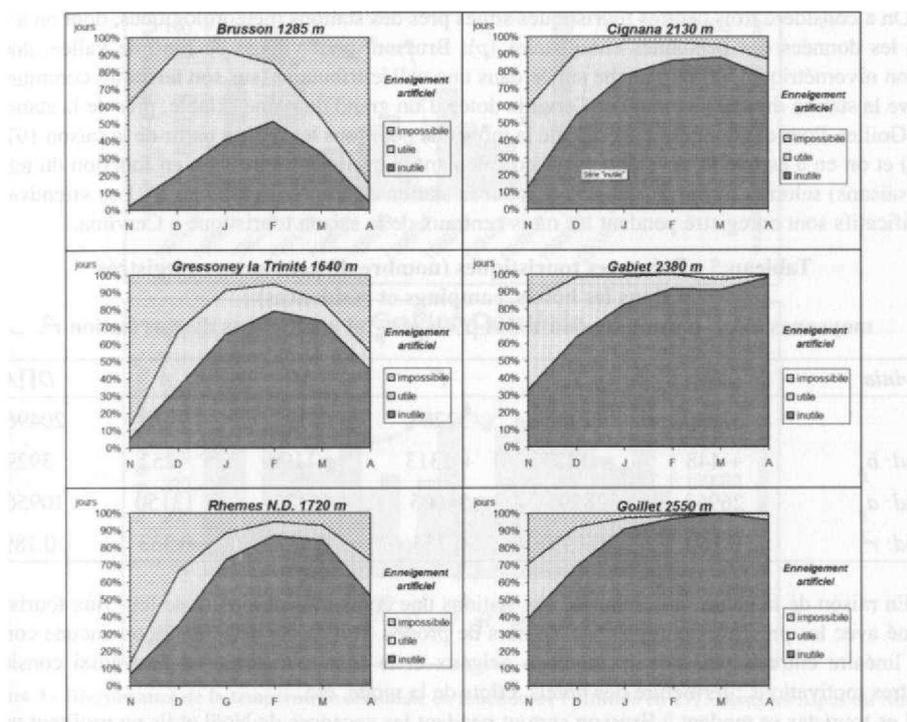


Figure 2 : Pourcentage des jours dans lesquels l'enneigement artificiel est utile ($T < 0$ °C et $H_{sj} < 40$ cm) et inutile (avec $H_{sj} \geq 40$ cm).

Gressoney et Rhêmes Nôtre Dame présentent par contre un pourcentage faible de jours pendant lesquels l'enneigement artificiel est utile au début de l'hiver à cause de la présence d'un bon manteau neigeux au sol. A Cignana et à Gabiet l'enneigement artificiel serait utile dans 30 à 50% des jours en novembre seulement. Dans toutes les stations au dessus de 2000 m les conditions de neige au sol sont optimales de janvier à avril et l'enneigement artificiel est donc peu utile.

Tableau 4 : Nombre de jours assez enneigés pour le ski sur piste ($H_{sj} > 40$ cm) et des jours dans les quels l'enneigement artificiel est utile (avec $H_{sj} < 40$ cm et $T < 0$ °C).

Station	Altitude (m)	Jours avec $H_{sj} > 40$ cm					Jours avec $H_{sj} < 40$ cm, et $T < 0$ °C							
		N	D	J	F	MA	N	D	J	F	M	A		
Brusson	1285	0.7	6.5	12.7	14.5	10.2	1.4	17.7	22.0	16.0	9.4	6.5	3.0	
Gressoney	1640	1.7	10.9	20.4	22.4	22.9	13.5	2.0	10.0	8.0	4.4	3.4	3.1	
Rhêmes	N.D.	1720	2.1	11.0	22.7	24.6	26.2	15.5	2.0	9.6	4.8	2.3	2.6	6.2
Lac Cignana	2130	3.9	16.9	24.1	24.4	27.4	23.0	13.7	11.4	5.9	3.0	2.2	3.1	
Lac Gabiet	2380	10.0	19.8	25.6	25.9	28.2	29.6	15.1	10.8	5.1	2.3	1.9	0.3	
Lac Goillet	2550	11.9	21.6	28.3	27.5	31.0	28.9	9.4	7.0	1.9	0.5	0.0	1.0	

5. Rapports entre enneigement et flux touristique

On a considéré trois centres touristiques situés près des stations météorologiques, dont on a récupéré les données des personnes enregistrées (p): Brusson, petit village de fond de vallée, doté de station nivométrique, Valtournanche située dans une vallée tribulaire (sur son territoire communal se trouve la station du Lac Cignana) et Cervinia dotée d'un grand domaine skiable, près de la station du Lac Goillet. Pour ces données on a calculé la moyenne pour tous les mois à partir de la saison 1978/79 (M_p) et on en a estimé le développement en calculant la droite de régression en fonction du temps t (les saisons) selon la forme $p' = b_p t + a_p$ pour la station de Cervinia (**tableau 5**). Les «trends» plus significatifs sont enregistré pendant les mois centraux de la saison touristique à Cervinia.

Tableau 5 : Présences touristiques (nombre de personnes enregistrés dans les hôtels, campings et résidences) : moyennes (M_p), paramètres du trend $p' = b_p t + a_p$ et coefficients de corrélation r^2 .

Cervinia	D	J	F	M	A	$DX \setminus A$
m_p	32930	47931	52204	62122	9776	204965
Trend: b_p	+ 448	+ 1427	+ 1313	+ 1190	- 252	3929
Trend: a_p	26963	28791	34605	46172	13150	109567
Trend: r^2	0.160	0.699	0.734	0.667	0.333	0.789

En raison de la nature différente de ces stations une comparaison directe de leur flux touristique estimé avec les présences enregistrées est hors de propos. Il n'existe de toute façon aucune corrélation linéaire entre l'épaisseur du manteau neigeux et le flux touristique. Il faut aussi considérer d'autres motivations : fermeture des hôtels, effets de la mode, etc..

Les touristes se rendent à Brusson surtout pendant les vacances de Noël et ils ne profitent pas de février qui est le seul mois ayant un manteau neigeux qui atteint les 40 cm et 30% de mois continus. Il y a eu pendant ces dernières années une baisse consistante des présences touristiques en décembre, qui ne parait pas complètement se justifier par la faible diminution de la neige au sol pendant ce mois. Les présences touristiques ont été plus abondantes (40.000 environ) pendant la saison 1987-88. Dans 50% des jours de novembre, décembre et janvier la neige artificielle est utile. Après une baisse de l'épaisseur du manteau neigeux dans les années 1993-95, on a assisté à une forte réduction du flux touristique, aux environs de 20.000 présences. A cette réduction correspond aussi une réduction marquée des personnes pendant le mois de décembre (**figure 3**).

Valtournanche est fréquentée pendant les mois de février et mars quand on enregistre plus de 90 cm de neige, mais les présences touristiques sont très réduites et c'est seulement en mars (à cause

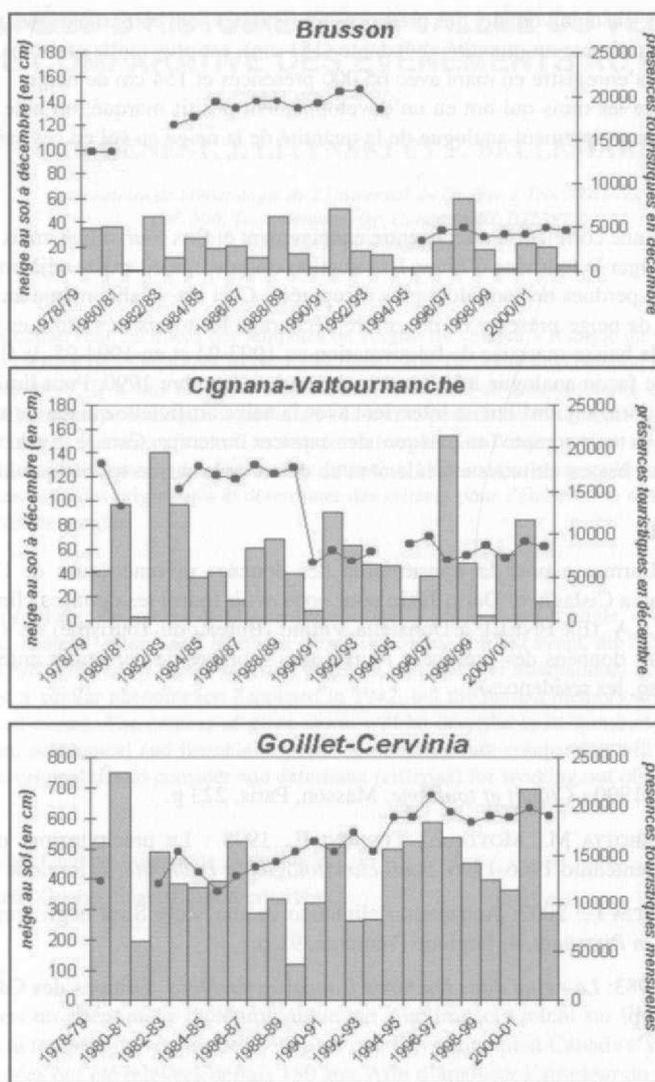


Figure 3 : Décroissance de la température minimale en fonction de l'altitude en 1973, dans les Alpes du Nord

des fêtes de pâques) qu'elles frôlent les 20.000. Il y a eu dans les dernières années une baisse des présences surtout dans les mois extrêmes de la saison, décembre et avril. Du point de vue annuel on a assisté à une diminution des présences touristiques dans les saisons peu neigeuses: le minimum est enregistré en 1993-94 avec 40.000 présences après deux années consécutives de carence neigeuse. La saison qui enregistre le minimum de personnes en décembre et une très forte inflexion négative de la courbe est celle de 1990-91, particulièrement avare de neige.

Cervinia présente un développement positif de tous les mois sauf en fin de saison en avril. On a observé la quantité de neige la plus élevée (230 cm) en 2000-01, avec 240.000 présences, la troisième valeur la plus élevée depuis 1978. Les conditions de l'épaisseur du manteau neigeux demeurent

bonnes sur toute la saison hivernale. Les présences touristiques sont consistantes jusqu'en avril, quand la neige, bien que présente en quantité abondante (151 cm), est plus molle et moins indiquée pour le ski. Le maximum s'enregistre en mars avec 65.000 présences et 154 cm de neige.

Si on considère les mois qui ont eu un développement positif marqué, on note que cela ne correspond pas à un accroissement analogue de la quantité de la neige au sol en ces saisons.

Conclusion

Il n'existe pas une corrélation directe entre enneigement et flux touristique, mais une période sans neige peut décourager le tourisme d'hiver. La situation est grave là où existe déjà une tendance négative: les présences perdues ne sont alors plus récupérées. Ceci est valable même au niveau mensuel: la faible quantité de neige présente en décembre décourage les touristes surtout en haute montagne. A Brusson après la baisse marquée de fréquentation en 1993-94 et en 1994-95, le flux touristique ne remonte pas, et de façon analogue à Valtournanche après décembre 1990. Pour limiter ou éviter que cette situation perdure, aujourd'hui on intervient avec la neige artificielle qui garantit à la clientèle des pistes skiables, sans tenir compte (ou presque) des caprices du temps. Ceci se révèle vraiment efficace seulement aux plus basses altitudes et seulement au début de la saison touristique hivernale.

Remerciements

A Giovanni Barmasse pour la transmission des données nivométriques de l'Aineva (Bureau Avalanches), à Vania Cislighi et Dario Janin pour nous avoir fourni les données climatiques appartenant au C.V.A. S.p.A. (Ex ENEL), à Donatella Vittino (Bureau du Tourisme) de « l'Assessorato al Turismo » pour les données des présences touristiques (nombre de personnes enregistrées dans les hôtels, les camping, les résidences).

Bibliographie

BESANCENOT, J.R., 1990 : *Climat et tourisme*. Masson, Paris, 223 p.

BIANCOTTI A., CAROTTA M., MOTTA L., TURRONI E., 1998 : Le precipitazioni nevose sulle alpi piemontesi. Trentennio 1966-1996. *Studi climatologici in Piemonte*, 2, Regione Piemonte, 80 p.

FRATIANNI S., MOTTA L., 2002: Andamento climatico in alta Valle Susa negli anni 1990-99. *Studi climatologici in Piemonte*, 4, Regione Piemonte, 91 p.

GUMUCHIAN H., 1983: *La neige dans les Alpes françaises du Nord*. Editions des Cahiers de l'Alpes, Grenoble, 620 p.