Revue Géographique de l'Est

vol. 47 / 4 | 2007

Milieus naturels et paléomilieus des Vosges au bassin
de la Sarre

Névés, corniches et risque d'avalanche dans les Hautes-Vosges

En hommage à Laurent Wahl, décédé le 18 décembre 2008

Firns, cornices and avalanche risks in the High Vosges mountains

Firne, Wächten und Lawinengefährdung in den Hochvogesen

Laurent Wahl, Olivier Planchon et Pierre-Marie David

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rge/1533>

DOI : 10.4000/rge.1533

ISSN : 2108-6478

Éditeur

Association des géographes de l'Est

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2007

ISSN : 0035-3213

Référence électronique

Laurent Wahl, Olivier Planchon et Pierre-Marie David, « Névés, corniches et risque d'avalanche dans les Hautes-Vosges », *Revue Géographique de l'Est* [En ligne], vol. 47 / 4 | 2007, mis en ligne le 16 juillet 2012, consulté le 08 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rge/1533> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rge.1533>

Ce document a été généré automatiquement le 8 septembre 2020.

Tous droits réservés

Névé, corniches et risque d'avalanche dans les Hautes-Vosges

En hommage à Laurent Wahl, décédé le 18 décembre 2008

Firns, cornices and avalanche risks in the High Vosges mountains

Firne, Wächten und Lawinengefährdung in den Hochvogesen

Laurent Wahl, Olivier Planchon et Pierre-Marie David

NOTE DE L'AUTEUR

Les auteurs remercient Bernard Etlicher, Milena Kociánová, John Pottie et Adam Watson pour leur aide à l'obtention de sources bibliographiques et leurs commentaires.

Introduction

- 1 De nombreuses études s'intéressent à la variabilité interannuelle de l'enneigement et ses conséquences dans le cadre du réchauffement climatique global (dans l'hémisphère Nord, par exemple : Brown, 2000 ; Cohen et Entekhabi, 2001 ; Kumar et Yang, 2003 ; Garcia-Herrera et Barriopedro, 2006 ; Vicente-Serrano et al., 2007). L'espace géographique le plus étudié est l'arc alpin avec le retrait des glaciers (Vincent, 2002 ; Zemp, 2006), le risque d'avalanche (Lehning et al., 2002 ; Corripio et al., 2004 ; Jomelli et al. 2007), l'influence de l'enneigement sur l'hydrologie (Baumgartner et Weingartner, 1995 ; Seidel et Martinec, 2004 ; Martin et Etchevers, 2005) et sur l'écologie (Ellenberg, 1988 ; Pomeroy et al., 2001 ; Holtmeier, 2005) et sur les éventuels impacts du changement climatique sur les activités liées aux sports d'hiver (Bürki et al., 2003). En comparaison, l'enneigement dans les milieux de moyenne montagne demeure encore peu étudié, surtout lorsqu'il s'agit des névés temporaires et des risques potentiels d'avalanche. Pourtant les neiges résiduelles ont un impact non négligeable sur le sol, la végétation, la faune et les ressources en eau (Harshberger, 1929 ; Vincent et Lee, 1982 ; Ellenberg, 1988 ; Watson et al., 1994 ; Brouillet et al., 1998 ; Rango et al., 2007). Les

études détaillées sur la dynamique des névés en relation avec la morphologie et le climat restent assez rares. Quelques études scientifiques ont néanmoins été réalisées dans le Forez (Etlicher et al., 1993), les Monts des Géants (Hecjman et al., 2006) et surtout sur les montagnes d'Ecosse (Watson et al., 1994, 2002, 2006). Pour le massif vosgien, celles-ci n'ont fait l'objet que d'études ponctuelles (Rothe et Herrensneider, 1963), que les auteurs de cet article proposent de développer dans le cadre des travaux du GDR 2663 CNRS RICLIM (Risques liés au CLIMat).

- 2 Le massif vosgien, malgré son altitude modeste (Grand Ballon 1424m, Hohneck 1362m), permet l'édification de névés temporaires sur le versant oriental de la ligne de crête principale des Hautes-Vosges entre 1200 et 1300 mètres. Ch. Grad, évoquait en 1840, la présence de glaciers embryonnaires dans les Vosges avec la présence de neige à gros grain qui se transformait peu à peu en glace compacte (Grad, 1871). D'autres auteurs évoquaient la présence de niches de nivation où la neige persistait jusqu'au milieu de l'été (Collomb, 1847, 1848). La formation de ces névés est favorisée par la physionomie du relief et l'occupation du sol. La présence de croupes sommitales dépourvues de végétation arborée (hautes-chaumes) permet à la neige d'être balayée par le vent et de s'accumuler dans les parties sommitales des cirques glaciaires situées en position d'abri. Ces accumulations se font soit sous forme de corniches ou de névés. La formation d'un névé nécessite des conditions topographiques particulières. Il faut qu'il y ait une topographie en creux avec un versant convexo-concave (par ex., dans les Hautes-Vosges, au niveau du cirque du Schwalbennest sur le versant NE du Kastelberg). Si la pente du cirque est trop forte (plus de 45°) il ne se formera pas de névé mais une corniche : la neige est soufflée dans le vide (Seligman, 1962 ; Kobayashi et al., 1988). Les névés disparaissent chaque année au cours de l'été, même, si en 1860, certains auteurs affirment qu'un névé aurait persisté d'un hiver à l'autre au niveau du Kastelberg. D'après les caractères généraux des années du XIXe siècle (Louis, 1887), l'année 1860 se caractérise par un hiver qui s'est prolongé fort tard et une absence de chaleur tout au long de l'année. D'après les relevés effectués à Epinal, les températures maximales n'ont jamais franchi le seuil des +30°C (+28°C) et les minima ont atteint +3,0°C en juillet et +5,0°C en août. La date de disparition de ces névés semble constituer un bon indicateur de l'enneigement de l'hiver qui vient de s'achever, comme l'ont déjà souligné quelques auteurs (Lauriol et al., 1986 ; Suchel, 1992).
- 3 Après avoir évoqué certains aspects climatiques du massif vosgien, nous essayerons d'analyser les conditions de mise en place de ces névés et corniches en réalisant un inventaire précis de l'ensemble des secteurs géographiques propices à leur édification. Le massif du Hohneck fera l'objet d'une cartographie et d'une analyse détaillée. Nous évoquerons également le risque avalancheux lié à ces accumulations de neige.

I. Données et méthodes

- 4 L'espace étudié (les Hautes-Vosges), délimité à l'intérieur de la moitié sud du massif vosgien (figure 1) est situé à environ 48°N et 7°E et s'étend sur 40 km du nord au sud et 20 km d'ouest en est, englobant les plus hauts sommets des Vosges.

Figure 1 : localisation de la zone d'étude au sein du massif vosgien

- 5 Les données climatiques de référence (température, précipitations, neige), ont été mesurées au Chalet Universitaire de la Schlucht (1220 m), géré conjointement de 1976 à 1997 par les universités de Strasbourg et de Nancy (tableau 1). Depuis la fermeture du chalet en 1997, il n'existe plus de station météorologique mesurant l'épaisseur de neige sur les crêtes des Hautes-Vosges. La station Météo-France d'Altenberg (1084 m), où étaient mesurées aussi des données d'enneigement, a fermé en 1985. Les données de la station météorologique du Feldberg, point culminant de la Forêt-Noire en Allemagne (1493 m) et situé à 75 km à l'ESE du massif du Hohnack, ont donc été aussi utilisées comme données de référence (Deutscher Wetterdienst : DWD). Les données quotidiennes de température et de précipitations ont été obtenues depuis 1994 pour la station automatique ouverte par Météo-France au Markstein (1184 m). Les données pluviométriques d'Altenberg, du lac de la Lauch (Météo-France ; 925 m) de la station du Schiessrothried (DIREN ; 930 m) ont été utilisées et mentionnées à titre de comparaison avec les autres stations.

Tableau 1 : Stations météorologiques dont les données ont été utilisées (T : température, P : précipitations, N : enneigement), périodes de mesure disponibles et sources des données

Station	Lat. (N)	Lon. (E)	Alt. (m)	Élément	Période	Source
Altenberg	48°04'	7°03'	1084	P, N	1966-1985	Météo-France
Chalet Schlucht	48°03'	7°01'	1220	T, P, N	1976-1997	U. Strasbg-Nancy
Lac Lauch	47°56'	7°03'	925	P	1941-2008	Météo-France
Markstein	47°55'	7°02'	1184	T, P	1994-2008	Météo-France
Schiessrothried	48°02'	7°02'	930	P	1965-2000	DIREN
Feldberg (All.)	47°53'	8°00'	1493	N	1925-2008	DWD

- 6 Les principaux sites d'accumulation de neige ont été identifiés et répertoriés lors de campagnes de terrain, entre le Lac Blanc (au nord) et le Ballon de Servance (au sud). Des repérages complémentaires ont été effectués au moyen de données de télédétection (National Geographic, 2008 ; Google Earth). Des observations effectuées sur 30 années discontinues de 1934 à 2008, notamment par le gérant de l'hôtel du Hohneck, ont permis de compléter cette base de données concernant la date de disparition du névé principal (névé du Schwalbennest). Un inventaire détaillé des sites de formation de névés et de corniches a donc pu être établi, avec une description précise de chaque site (nom du cirque et du site, coordonnées géographiques, exposition, type d'accumulation de neige, période moyenne de disparition). La période de disparition est fondée sur une date médiane observée une année sur deux sur les 30 années d'observations discontinues de 1934 à 2008.
- 7 La date de disparition du névé le plus persistant (le Schwalbennest) a été confrontée aux données d'enneigement disponibles (Feldberg) durant quelques saisons froides caractéristiques et aux types de circulations atmosphériques observés durant l'hiver et le printemps (décembre à mai), au moyen de la méthode objective de classification de Hess et Brezowsky. Cette méthode repose sur la distribution du champ de pression au niveau de la mer et du géopotentiel à 500 hPa au-dessus de l'Océan Atlantique Nord et de l'Europe, et identifie 29 types de circulations atmosphériques (Grosswetterlagen ou GWL : (Gerstengarbe et Werner, 2005). P. James (2007) a développé une version objective (automatique) de la méthode de Hess et Brezowsky, utilisée dans cet article (tableau 2). Cette méthode présente notamment l'avantage d'être mieux utilisable sur l'ensemble de l'Europe et le catalogue quotidien, dont l'année de départ a été reculée de 1881 à 1850, est mis à jour en continu (<http://www.cost733.org/GWL/ObjGWL.html>).

Tableau 2 : Liste des Grosswetterlagen (GWL), utilisés pour classer les types de circulations atmosphériques d'après la méthode de Hess et Brezowsky

	<i>Grosswetterlagen</i>	<i>GWL</i>
01	Circulation d'ouest, anticyclonique	WA
02	Circulation d'ouest, cyclonique	WZ
03	Circulation d'ouest méridionale	WS
04	Circulation d'ouest « formant un angle »	WW
05	Circulation de sud-ouest, anticyclonique	SWA
06	Circulation de sud-ouest, cyclonique	SWZ
07	Circulation de nord-ouest, anticyclonique	NWA
08	Circulation de nord-ouest, cyclonique	NWZ
09	Anticyclone sur l'Europe centrale	HM
10	Dorsale anticyclonique sur l'Europe moyenne	BM
11	Dépression sur l'Europe centrale	TM
12	Circulation de nord, anticyclonique	NA
13	Circulation de nord, cyclonique	NZ
14	Anticyclone sur l'Islande, anticyclonique	HNA
15	Anticyclone sur l'Islande, cyclonique	HNZ
16	Anticyclone sur les îles Britanniques	HB
17	Talweg sur l'Europe centrale	TRM
18	Circulation de nord-est, anticyclonique	NEA
19	Circulation de nord-est, cyclonique	NEZ
20	Anticyclone sur la Fennoscandie, anticyclonique	HFA
21	Anticyclone sur la Fennoscandie, cyclonique	HFZ
22	Anticyclone sur mer de Norvège – Fennoscandie, anticyclonique	HNFA
23	Anticyclone sur mer de Norvège – Fennoscandie, cyclonique	HNFZ
24	Circulation de sud-est, anticyclonique	SEA
25	Circulation de sud-est, cyclonique	SEZ
26	Circulation de sud, anticyclonique	SA
27	Circulation de sud, cyclonique	SZ
28	Dépression sur les îles Britanniques	TB
29	Talweg sur l'Europe occidentale	TRW

D'après Gerstengarbe et Werner, 2005 ; James, 2007.

- 8 Une carte des risques d'avalanches a été réalisée pour le massif du Hohneck, en relation avec la localisation des principaux névés et corniches, à l'aide de témoignages d'habitants des Hautes-Vosges, d'articles de journaux et d'observations personnelles. Le risque avalancheux a été estimé en prenant en compte la fréquence d'apparition des avalanches et leur intensité (incluant les dégâts provoqués).

II. Caractéristiques climatiques du massif

- 9 Les Hautes-Vosges connaissent un climat assez rude. De part leur orientation méridienne, elles constituent le premier obstacle orographique pour les masses d'air en provenance de l'océan Atlantique. Ces dernières subissent une ascendance forcée qui se traduit par un refroidissement et des précipitations assez soutenues sur le versant occidental (versant lorrain). On enregistre plus de 2000 mm de précipitations par an au Hohneck (2094 mm pour la station du Schiessrothried, 1765 mm au niveau du Chalet Universitaire de la Schlucht, 1724 mm pour la station de l'Altenberg).

Tableau 3 : Hauteurs moyennes mensuelles de précipitations relevées au Chalet Universitaire (1976-1997)

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	
P mm	144,2	146,9	147,8	95,2	141,6	146,2	133,6	106,5	163,6	167,1	168,3	204,3	1765
N jour	15,2	17,9	17,8	16,8	18,3	19,0	15,6	14,5	16,6	17,5	17,3	18,2	204,7

Source P.M. David

- 10 Sur la ligne de crête principale des Vosges, le régime est de type océanique avec des précipitations marquées vers la fin de l'automne et le début de l'hiver (tableau 3). Les précipitations tendent à diminuer en été compte tenu d'un décalage du flux perturbé en direction de latitudes plus septentrionales. Les fonds de vallée connaissent un régime de type analogue (Shamsi, 1968 ; Humbert et al., 1984). Au fur et à mesure que l'on s'élève, la part des précipitations sous forme solide tend à augmenter par rapport aux précipitations sous forme liquide.
- 11 Le coefficient nivométrique (rapport des précipitations solides par rapport au précipitations liquides) est estimé à 4% en plaine d'Alsace, 20% vers 700 m, 30% vers 1000 m et 60% vers 1350 m d'altitude. D'après les observations établies par E. Juillard en 1954, plus de la moitié des précipitations se fait sous forme solide (neige ou grésil) au sommet du Hohneck. La neige peut faire son apparition pratiquement tout au long de l'année (le 1er juin 2006, 10 à 15 cm ont blanchi les crêtes) ; seuls les mois de juillet et août n'ont jamais enregistré de neige au sol depuis 1976. Le nombre de jours avec chute de neige peut être estimé à 50 jours à partir de 1000 mètres d'altitude et 70 à 90 jours vers 1200 à 1400 m (tableau 4). L'enneigement moyen varie de 60 jours vers 750 mètres à plus de 160 jours vers 1200 m (163 jours au niveau du chalet universitaire).

Tableau 4 : Caractéristiques de l'enneigement pour différentes tranches d'altitude en zone tempérée (Massif Alpin, Jura, Vosges)

ALTITUDE	NOMBRE MOYEN DE JOURS D'ENNEIGEMENT	NOMBRE DE JOURS AVEC CHUTE DE NEIGE	HAUTEUR MAXIMALE
500 m	30-50 jours	20-40 jours	aléatoire
750 m	60-70 jours	40-50 jours	début février
1 000 m	110-145 jours	50-60 jours	mi-février
1 250 m	160-180 jours	70-90 jours	début mars

Sources : Juillard, 1954 ; Humbert et al., 1984

- 12 L'apparition de la neige est tributaire de la décroissance de la température avec l'altitude avec un gradient thermique vertical moyen de $-0,65^{\circ}\text{C}$ pour 100 mètres de dénivellation. Ce gradient varie selon la saison, puisqu'il oscille entre $-0,2^{\circ}\text{C}$ en décembre (inversions thermiques) et $-0,8^{\circ}\text{C}$ en avril-mai (invasions d'air froid en altitude suite à une coulée méridienne de Nord). Ce gradient a été calculé entre la station de Luttenbach-près- Munster (400 m) et le Chalet Universitaire de la Schlucht (1200 m) distantes de 8 km. Compte tenu de cet effet de gradient, les moyennes annuelles s'abaissent progressivement avec l'altitude, avec des valeurs comprises entre $+9^{\circ}\text{C}$ vers 400 m et $+3^{\circ}\text{C}$ vers 1400 m ($+5,1^{\circ}\text{C}$ au chalet universitaire, $+3,6^{\circ}\text{C}$ au Hohneck).
- 13 Le mois le plus froid étant le mois de janvier avec une température moyenne de $-2,1^{\circ}\text{C}$ ($-3,2^{\circ}\text{C}$ au Hohneck) et le mois le plus chaud, juillet avec $+13,6^{\circ}\text{C}$ ($+11,3^{\circ}\text{C}$ au Hohneck). Le nombre de jours avec gel augmente avec l'altitude. Il constitue un facteur important pour la constitution et la conservation du manteau neigeux. On dénombre environ 120 jours avec gel vers 1000 mètres et 140 vers 1200 mètres. Au niveau du Hohneck, il peut atteindre 160 jours.
- 14 La neige fait sa première apparition vers la mi-octobre, donnant naissance à une couche de neige éphémère. En moyenne, il faut attendre la deuxième décade de novembre pour que l'enneigement devienne conséquent. A partir de cette période, la couche de neige ne cesse d'augmenter progressivement pour atteindre une valeur

moyenne maximale de 100 cm vers la fin du mois de février ou la mi-mars. Néanmoins cette progression peut être très irrégulière au cours de la saison froide.

- 15 Après cet optimum, la couche de neige va régresser par paliers successifs avant de disparaître complètement au cours de la première quinzaine de mai. La fonte étant relativement rapide au cours du mois de mai, en raison de la diminution du nombre de journées de gel (4 à 5 jours en moyenne), de l'augmentation de la durée du jour et d'un bilan d'énergie excédentaire. Il s'agit d'une courbe de l'enneigement moyen qui ne retrace pas les irrégularités interannuelles. Pour faire apparaître cette irrégularité, il convient d'étudier les quartiles inférieurs (valeur dépassée 3 années sur 4) et supérieurs (valeur dépassée 1 année sur 4) ainsi que la valeur médiane (valeur dépassée 2 années sur 4). La valeur du quartile inférieur reste souvent en-dessous de la barre des 50 cm avec des fluctuations plus ou moins importantes (figure 2). Sur les portions de la ligne de crête dépourvues de végétation arborée (Gazon du Faing, Haut de Falimont, Hohneck, Kastelberg, Rotenbachkopf), la couche de neige ne dépasse jamais les 20 à 30 cm ; le reste servant à l'édification des corniches et des névés.

Figure 2 : Variabilité de l'enneigement au chalet universitaire (période 1976-1997)

- 16 Les conditions bioclimatiques qui règnent sur les hautes chaumes vosgiennes sont plus rudes que celles des Alpes Centrales à altitude égale. Il faut monter vers 1800 ou 2000 mètres pour trouver des conditions analogues dans les Alpes. Les Hautes-Vosges bénéficient d'un climat océanique dégradé de montagne humide et venté où la variabilité des types de temps observés est très élevée. Cette variabilité entraîne de fortes fluctuations de température qui ont une incidence sur le maintien d'une couverture neigeuse. Les types de temps observés au cours du semestre froid (octobre à mars) déterminent l'épaisseur du manteau neigeux et la formation des névés et corniches à venir. Une fréquence élevée de types de temps perturbés ou anticycloniques avec des advections d'air subtropical (perturbé de Sud Ouest, anticyclone avec une advection chaude de Sud en altitude) contrecarrent la formation d'un manteau neigeux conséquent et durable (cf. hiver 2006-2007). A partir des années 1990, le manteau neigeux a disparu presque entièrement à plusieurs reprises (hiver 1989-1990, hiver 1992-1993) même au cœur de l'hiver, limitant la formation de névés conséquents.

- 17 Une fréquence élevée de types de temps Perturbés de Nord-Ouest, de Nord ou avec des Retours d'Est (perturbation centrée sur le golfe de Gênes ou l'Europe Centrale), entrecoupé de périodes anticycloniques froides, est la garantie d'un manteau neigeux conséquent et durable comme ce fut le cas durant l'hiver 2005-2006. L'apparition de conditions anticycloniques en hiver permet une conservation plus ou moins optimale de la couche de neige, sous réserve qu'il y ait une sous-couche qui se soit formée au début de l'hiver.

III. Processus de formation et de développement d'un névé ou d'une corniche

- 18 Le névé et la corniche sont considérés comme des accumulations de neige qui vont subir des modifications sous l'effet de la compaction et des alternances gel-dégel. La neige va s'accumuler dans les dépressions et cirques à l'abri des vents dominants. Ce processus va se répéter après chaque chute de neige conséquente. La neige, une fois déposée, va commencer à se tasser et se transformer. Les névés et les corniches présentent, vers la fin de l'hiver, une stratification où l'on voit les différentes couches de neige tombées au cours de la saison froide. Selon la topographie on aura la formation d'un névé ou d'une corniche. Vers le milieu du printemps, les corniches peuvent s'effondrer ou basculer dans le vide et détruire la végétation arborée qui se trouve en contrebas. Selon la physionomie de la ligne de crête on aura une alternance de névés et de corniches (photos 1a et 1b).

Photos 1a et 1b : Névés (1) et corniches (2) sur le massif du Hohneck (20 avril 2006)

a) sur le versant est de la ligne de crête au niveau du Kastelberg ; b) sur le versant supérieur du cirque du Frankenthal)

- 19 Ces accumulations de neige sous forme de névés tendent à glisser au niveau de la convexo-concavité du versant sous l'effet de la gravité. Lors de ce glissement, des fissures peuvent apparaître, analogues à celle des crevasses ou rimayes que l'on retrouve sur les glaciers (photo 1b). La masse des névés entraîne une compaction et un tassement du sol avec l'apparition de « faux sentiers à vaches » qui favorisent l'érosion du versant avec des « arrachements » de la pelouse alpine (photo 2). Selon les études menées par Rothé (1935), la partie la plus épaisse des névés est généralement située entre 30 et 40 mètres en contrebas des cirques sur des pentes avoisinant les 40° ce qui la protège du rayonnement solaire direct (photo 2). Les névés et les corniches se forment toujours aux mêmes endroits ce qui permet de les localiser avec précision.

Photo 2 : Névé résiduel du Schwalbennest (29 juin 2008) avec au premier plan des cicatrices d'arrachement de la pelouse alpine

Névé qui est positionné au niveau de la rupture de pente

- 20 Du Lac Blanc au Ballon de Servance on recense une quarantaine de sites de formation potentiels de névés ou de corniches (tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques des principaux sites de formation de névés ou de corniches dans les Hautes-Vosges d'après les observations et relevés effectués sur le terrain (1934-2008)

	CIRQUE	LIEU-DIT	B-V	TYPE	PERSISTANCE	VERSANT	ALTITUDE
1	Lac Blanc	Crête lac Blanc	Weiss	corniche	début mai	E	1 230-1 270 m
2	Forlet	Reif	Fecht	corniche	fin mai	ENE	1 280 m
3	Forlet	Altenwasen	Fecht	névé	début juin	ENE	1 240-1 260 m
4	Tanet	Seestaettle	Fecht	névé	mi-mai	E	1 230-1 250 m
5	Missheimle	Missheimle	Fecht	corniche	début mai	ESE	1 250 m
6	Frankental	Rochers Verts	Fecht	corniche	début mai	NE	1 260 m
7	Frankental	Martinswand	Fecht	névé	fin mai	E	1 275 m
8	Frankental	Haut de Falimont	Fecht	corniche	mi-mai	E	1 290 m
9	Frankental	Couloir de Falimont	Fecht	névé	début juin	NE	1 260 m
10	Frankental	Couloir du Y	Fecht	névé	début juin	N	1 310 m
11	Frankental	Grand couloir Dagobert	Fecht	névé	mi-juin	N	1 300 m
12	Frankental	Petit couloir Dagobert	Fecht	névé	mi-juin	N	1 300 m
13	Frankental	Combe Dagobert	Fecht	névé	début juin	N	1 300 m
14	Rothried	Schaeffertal	Fecht	névé	fin mai	N	1 200 m
15	Rothried	Couloir de la Bloy	Fecht	névé	fin mai	N	1 230-1 250 m
16	Petit Hohnack	Combe de Schallern	Fecht	névé	début mai	NE	1 170 m
17	Wormspel	Hohnack versant S	Fecht	corniche	fin avril	S	1 320-1 340 m
18	Wormspel	Col du Wormspel	Fecht	corniche	début mai	E	1 280 m
19	Wormspel	Cirque Wormspel	Fecht	névé	fin juin	NE	1 250 m
20	Wormspel	Rhodiola/Spitzkopf	Fecht	névé	fin juin	NNE	1 280 m
21	Amneltal	Kaltenbrunnennunz	Fecht	névé	début juillet	E	1 275 m
22	Amneltal	Amneltal	Fecht	névé	mi-mai	ENE	1 300 m
23	Amneltal	Schwalbennest	Fecht	névé	fin juillet	NE	1 260-1 280 m
24	Altenweilher	Pterrey - Rainkopf	Fecht	corniche	début mai	NE	1 260-1 280 m
25	Leibelthal	Rainkopf versant Sud	Fecht	névé	début mai	SE	1 240 m
26	Leibelthal	Rotenbach Nord	Fecht	corniche	début juin	E	1 220-1 260 m
27	Leibelthal	Rotenbach Sud	Fecht	névé	mi-juin	NE	1 230-1 270 m
28	Steinwasen	Batteriekopf	Fecht	corniche	début mai	E	1 240-1 270 m
29	Schweisel	Schweisel	Fecht	névé	mi-mai	NE	1 250 m
30	Grande Fecht	Lauchenkopf	Fecht	névé	début mai	ENE	1 240 m
31	Lechtenwann	Hilsenfirst	Fecht	corniche	début mai	NE	1 230 m
32	Petit Ballon	Strohberg	Fecht	corniche	début mai	ENE	1 240 m
33	Markstein	Trehkopf	Lauch	névé	mi-mai	E	1 190 m
34	Grand Ballon	Hôtel Club Vosgien	Lauch	névé	fin mai	NE	1 370 m
35	Ventron	Winterung	Thur	névé	début mai	E	1 170 m
36	Felzsch	Haut de Felzsch	Thur	corniche	début mai	ENE	1 140 m
37	Drumont	Lochberg	Thur	corniche	mi-mai	E	1 180 m
38	Ballon d'Alsace	Boedelen	Doller	corniche	début mai	E	1 220 m
39	Ballon d'Alsace	Morteville	Moselle	corniche	fin mai	NNE	1 220 m
40	Ballon Servance	Goutte du Ballon	Moselle	corniche	mi-mai	NNE	1 200 m

- 21 Les numéros d'identification des différents sites sont mentionnés sur la carte de localisation (figure 3)

Figure 3 : Localisation des principaux névés et corniches dans les Hautes-Vosges

- 22 La quasi totalité de ces sites se trouve à des altitudes supérieures à 1150 mètres et sur des versants orientés vers l'E, l'ENE ou le NE. La date de persistance est une date médiane observée une année sur deux sur les 30 années d'observations discontinues de 1934 à 2008. La persistance des névés et des corniches au cours du printemps et du début de l'été dépend de la quantité de neige qui a pu s'accumuler au cours de l'hiver et de la présence d'une zone sommitale plane assez vaste dépourvue de végétation arborée (ancienne pénéplaine hercynienne) comme celle que l'on trouve au Kastelberg (photos 1a et 3). Les vents balayant cette surface peuvent accumuler de grosses quantités de neige. Ces vents (vents de secteur SW, W, NW dominants) subissent parfois une accélération par la présence de vallées (vallée de la Moselotte et de la Vologne) ou de cols (col de Falimont, du Wormspel). A l'abri de la ligne de crête on peut observer des vents tourbillonnants ou rotatifs. Ces derniers peuvent façonner les corniches. Des phénomènes similaires ont été mis en évidence dans les Monts des Géants (Jeník, 1959 et 1997 ; Hejzman et al., 2006). Plus la surface sommitale plane est étendue plus la quantité de neige amassée est importante avec l'édification d'un névé conséquent. Ce phénomène est régulièrement observé sur le versant nord-est du Kastelberg au lieu dit du Schwalbennest.

Photo 3 : Névés et résidus de corniches accrochés aux flancs du cirque du Wormspel et du Kastelberg (4 juin 2006)

- 23 Le névé du Schwalbennest peut parfois atteindre une épaisseur de 15 à 20 mètres de neige compactée. Il disparaît généralement en dernier compte tenu de son épaisseur. Les dates de disparition avaient été relevés à l'époque par le gérant de l'hôtel du sommet du Hohnneck ; elles s'échelonnent entre le 3 juin 2007 et le 15 septembre 1978. La date médiane calculée en jours juliens sur 30 années d'observations discontinues est le 26 juillet. Les autres névés persistent généralement jusqu'au début du mois de juin ou juillet (névés du cirque de Wormspel). Les corniches disparaissent généralement en

premier par fonte et écoulement. Il arrive parfois que des morceaux de corniche se retrouvent dans les fonds des cirques glaciaires comme le Frankenthal ou le Pferrey. La persistance des névés et corniches est étroitement liée aux conditions climatiques qui ont été observées au cours de l'hiver et du printemps (Suchel, 1992). Quelques années particulières ont été sélectionnées à partir des dates de disparition du dernier névé du Schwalbennest, en précisant pour chaque année les conditions d'enneigement ainsi que les données relatives aux températures et précipitations (tableau 4).

- 24 A partir des données journalières nous avons calculé une température moyenne pour l'hiver et le printemps météorologique et effectué un décompte du nombre de jours de gel (température minimale inférieure ou égale à 0°C) et du nombre de jours sans dégel (température maximale inférieure ou égale à 0°C). A partir des données thermiques, les précipitations ont été classées en 3 catégories (pluie, pluie et neige mêlées, neige seule). Faute de données disponibles plus détaillées et avec les réserves d'usage quant aux seuils pris en compte, nous avons estimé qu'il s'agissait de pluie lorsque la température minimale dépasse le seuil de +2°C, de pluie et neige mêlées lorsque la température minimale est comprise entre -1°C et +2°C avec une température maximale supérieure à +2°C, de neige seule lorsque la température maximale n'excède pas +2°C. Un cumul a été réalisé pour chaque catégorie pour l'hiver et le printemps météorologique. Nous avons également mentionné le nombre de jours avec des précipitations supérieures à 0,1 mm. Les résultats de l'analyse des situations synoptiques réalisée au moyen de classification de Hess et Brezowsky adaptée par P. James montrent de forts contrastes d'une année à l'autre (tableau 6). L'épaisseur des névés et leur conservation sont tributaires des températures et des précipitations tombées au cours du semestre froid.

Tableau 6 : caractéristiques climatiques pour quelques années particulières

	<i>S 1969-1970</i>	<i>S 1994-1995</i>	<i>S 2005-2006</i>	<i>S 2006-2007</i>	<i>S 2007-2008</i>
1	14 septembre	18 août	20 juillet	3 juin	8 juillet
2	350 cm	121 cm	230 cm	60 cm	62 cm
3	204 jours	151 jours	182 jours	131 jours	176 jours
4	nc	- 0,7 °C	- 3,3 °C	+ 1,4 °C	+ 0,5 °C
5	nc	+ 3,9 °C	+ 3,8 °C	+ 7,4 °C	+ 4,5 °C
6	59 jours	68 jours	52 jours	53 jours	43 jours
7	64 jours	52 jours	66 jours	44 jours	62 jours
8	WW (15,6 %)	WZ (28,9 %)	WW (17,8 %)	WZ (21,1 %)	WZ (21,1 %)
	TRM (13,3 %)	BM (17,8 %)	NWA (13,3 %)	WA (16,7 %)	WA (18,9 %)
	WZ (12,2 %)	WA (12,2 %)	HB (13,3 %)	WS (12,2 %)	SWZ (14,4 %)
9	NWZ (18,5 %)	NWA (14,1 %)	WZ (16,3 %)	WZ (18,5 %)	NZ (16,3 %)
	TM (13,0 %)	HNZ (12,0 %)	SWZ (15,7 %)	BM (17,4 %)	HNZ (16,3 %)
	WZ (13,0 %)	WW (10,9 %)	TRM (9,8 %)	HM (12,0 %)	TB (10,0 %)

Nc : données non disponibles. Les chiffres en italique correspondent à la station du Lac de Lauch

1 : Date de disparition du névé du Schwalbennest

2 : Epaisseur maximale de neige relevée au Feldberg (Forêt-Noire)

3 : Durée de l'enneigement au Feldberg (Forêt-Noire)

4 : Température moyenne observée au Markstein durant l'hiver météorologique (décembre, janvier, février)

5 : Température moyenne observée au Markstein durant le printemps météorologique (mars, avril, mai)

6 : Nombre de jours avec précipitations au Markstein durant l'hiver météorologique

7 : Nombre de jours avec précipitations au Markstein durant le printemps météorologique

8 : Type de temps observés au cours de l'hiver météorologique

9 : Type de temps observés au cours du printemps météorologique

- 25 En 1969-1970, la durée d'enneigement a été de 204 jours au Feldberg avec un enneigement record de 350 cm. Cela s'explique par des circulations subméridiennes ou méridiennes assez fréquentes, même si les circulations zonales arrivent en 3ème position. La fréquence élevée de situations perturbées froides (NWZ 18,5%, TRM 13,5%, TM 13,0%) s'est fréquemment accompagnée de précipitations sous forme solide ou liquide (cumul de 1133 mm au Lac de la Lauch de décembre à mai). L'épaisseur record du manteau neigeux associé à une fréquence élevée de circulations perturbées a permis au névé de se conserver jusque vers la mi-septembre.

- 26 En 1994-1995, l'hiver météorologique a été humide et modérément froid ($-0,7^{\circ}\text{C}$, 70 jours de gel) avec un cumul de 914 mm dont plus d'un tiers s'est fait sous forme solide. Les situations perturbées d'ouest (WZ) ayant été prédominantes (28,9%). Elles ont vraisemblablement entraîné des modifications du manteau neigeux avec des fontes partielles de ce dernier. En effet, au Feldberg, on ne relève que 151 jours de sol couvert de neige avec une épaisseur maximale de 121 cm. Malgré les redoux temporaires, le vent et les chutes de neige associées ont permis l'édification de névés conséquents. Le printemps a été assez froid ($+3,9^{\circ}\text{C}$) avec des épisodes perturbés de type HNZ (12,0%) qui ont engendré des chutes de neige tardives (cumul de 106 mm). Le début de l'été s'est caractérisé par des températures conformes aux normales, ce qui a permis au névé du Schwalbennest de se maintenir jusqu'à la mi-août.
- 27 En 2005-2006, l'hiver a été également froid et assez humide avec près de 182 jours de sol couvert de neige au Feldberg et une épaisseur maximale de 230 cm. Durant l'hiver météorologique, l'ensemble des précipitations (291mm) se sont faites sous forme de neige ou de pluie et neige mêlées. Les situations d'Ouest en coin (WW) ont été majoritaires en raison de la persistance d'un anticyclone continental qui a permis le maintien de la couverture neigeuse (89 jours avec gel). Le printemps a été humide et assez froid (température moyenne de $+3,8^{\circ}\text{C}$ de mars à mai) avec un cumul de 683 mm dont 181 mm sous forme de neige seule. Les situations perturbées ayant été prédominantes (WZ 16,3%, SWZ 15,7%, TRM 9,8%). Au cours du mois de mars on a mesuré près de 3 mètres de neige à l'abri du vent grâce aux chutes de neige conséquentes du 2 au 4 mars (cumul de 120 cm). Malgré cela, le névé du Schwalbennest n'a persisté que jusqu'au 20 juillet, en raison d'une fin de printemps assez pluvieuse et d'un mois de juillet très chaud.
- 28 Lorsque l'hiver est très doux et pauvre en neige et le printemps assez chaud, comme durant la saison 2006-2007, les névés disparaissent très tôt (fin mai-début juin). Les hivers doux sont marqués par un flux zonal océanique tantôt dépressionnaire (WZ 21,1%) tantôt anticyclonique (WA 16,7%). En 2006-2007, seul 78 mm se sont produits sous forme de neige seule pour un cumul de 648 mm ! Le printemps est chaud (température moyenne de $+7,4^{\circ}\text{C}$) avec une prédominance de situations anticycloniques (BM 17,4%, HM 12,0%) et l'absence de circulations méridiennes de Nord. Il s'agit ici d'un cas extrême qui risque de se reproduire dans l'hypothèse du réchauffement climatique contemporain.
- 29 Il arrive parfois qu'après un hiver faiblement enneigé le début du printemps présente un caractère hivernal ce qui permet l'édification tardive des névés comme au cours de la saison 2007-2008. Le printemps est marqué par une prédominance de circulation méridienne (NZ, 16,3%) ou subméridienne avec la présence de retours d'Est assez fréquents (HNFZ, 16,3%). L'enneigement continue à progresser pour atteindre un maximum durant le mois de mars. Il arrive que certaines corniches, qui avaient disparues en février, se reforment au début du printemps (mars-avril). Ce phénomène a été observé sur le versant oriental du Petit Ballon (cirque du Strohhberg). Grâce à un début de printemps froid et humide le névé a pu se maintenir jusqu'au 8 juillet.
- 30 La comparaison de ces quelques années récentes montre que, d'une manière générale, la saison froide tend à être d'autant plus enneigée, et la neige est d'autant plus persistante, que les épisodes à circulations perturbées de nord ou nord-ouest sont fréquents durant toute la période hiver-printemps. Les périodes hiver-printemps extrêmes 1969-70 et 2006-2007 illustrent clairement cette caractéristique. En revanche,

les nuances de détail observées durant les années « intermédiaires » traduisent toute la diversité des facteurs qui entrent en jeu et toute la complexité des combinaisons possibles, provoquant parfois des « surprises » comme en 2006 (fonte accélérée de fin de printemps / début d'été) et en 2008 (accumulations de neige au printemps après un hiver quasiment sans neige).

IV. Le risque avalancheux dans les Hautes-Vosges

- 31 Le risque avalancheux ne doit pas être négligé dans les Hautes-Vosges. Le massif du Hohneck est particulièrement exposé à ce risque. Lorsque l'enneigement est très abondant, il se produit fréquemment des avalanches de poudreuse, de plaque ou de fond. L'hiver 2005-2006 particulièrement enneigé, avec plus de 3 mètres de neige aux Trois-Fours, a engendré de nombreuses avalanches de poudreuse et de fonte. L'effondrement de certaines corniches peut également générer des avalanches de blocs détruisant la végétation située en contrebas comme nous le montrent les photos 4 et 5.

Photo 4 : Eboulement d'une corniche au dessus du cirque du Frankenthal (20 avril 2006)

Photo 5 : Face Nord du Hohneck avec des résidus avalancheux (13 mai 2006)

- 32 L'analyse de documents anciens (articles de journaux, chroniques anciennes) montre que de nombreuses avalanches se sont déjà produites dans le massif des Hautes-Vosges ayant causé des morts et entraîné des dégâts aux habitations isolées. La marcairerie (ferme) du Wormspel a été détruite à 2 reprises par des coulées de neige au XIX^{ème} Siècle, elle n'a plus été reconstruite. En février 1895, une avalanche sur le flanc occidental du Rotenbachkopf suit le ravin du « lawinenrunz » et s'arrête au niveau de la route du Col de Bramont soit 600 à 700 mètres plus bas à coté de la ferme de Bramont. Le 20 avril 1910, la marcairerie du Frankenthal a été détruite par une avalanche issue du couloir du Grand Dagobert ; elle a due être reconstruite 100 mètres plus loin dans un site un peu plus abrité. En mars 1952, une avalanche emprunte le vallon du Leibelthal et s'arrête peu avant les fermes du Kolbenwasen en détruisant la végétation arborée sur son passage. En 1984, une avalanche de plaque dans la combe de Schallern (massif du Petit-Hohneck) emporte et tue un skieur. En mars 2006, une avalanche de poudreuse détruit une partie de la végétation arborée qui se trouve sur les flancs du cirque de Frankenthal. De la fin du XIX^e siècle jusqu'à nos jours les avalanches auraient causé la mort de 22 personnes auxquelles s'ajoutent 22 blessés.
- 33 En fonction du type de végétation, on peut facilement localiser l'emplacement des couloirs d'avalanche les plus actifs. Associé à la localisation des principaux névés et corniches, une cartographie du risque avalancheux a été réalisée pour le massif du Hohneck (figure 4).

Photo 6 : Couloir d'avalanche sur le flanc Nord du Hohneck (20 avril 2006)

Photo 7 : Forêt détruite par une avalanche dans le cirque du Frankenthal (mars 2006)

- 36 Quelques couloirs ne sont plus actifs à l'heure actuelle en raison de la croissance de la végétation ligneuse liée à la déprise agricole (chaumes abandonnées) et vraisemblablement à l'augmentation des températures au cours du 20ème siècle. Comme exemple, nous pouvons citer le vallon du Leibelthal entre le Rainkopf et le

Rothenbachkopf (figure 3 et photo 8) ou encore le vallon du Lawinenrunz au-dessus de la vallée de la Thur. La forêt constitue un élément protecteur vis-à-vis des coulées avalanches. Si la végétation ligneuse (forêt pionnière) n'est pas trop importante il arrive qu'elle soit à nouveau détruite par une coulée (photo 7 – cirque du Frankenthal, photo 9 – versant oriental du Rothenbachkopf). L'état de la végétation ligneuse permet d'établir un premier diagnostic sur le degré de l'activité avalancheuse. Sur les pentes raides dépourvues de végétation arborée (couloir du Grand Dagobert) il est vraisemblable que l'on ait une activité avalancheuse conséquente (une ou plusieurs avalanches par an).

Photo 8 : Ancien couloir d'avalanche du Leibelthal (29 juin 2008)

Photo 9 : Couloirs d'avalanche du Rothenbachkopf (29 juin 2008)

- 37 La suralimentation neigeuse et les avalanches permettent le maintien d'une végétation postglaciaire particulière (groupement subalpin thermophile), étant donné que certains couloirs d'avalanche n'ont jamais été colonisés par la forêt, même lors de l'optimum climatique médiéval (Lemee, 1963). Les forêts de chênaies à coudriers présentes lors de cet optimum n'ont pas réussi à s'implanter sur les parois des cirques glaciaires. Les avalanches sont donc nécessaires au maintien de cette végétation subalpine postglaciaire (Jeník et Kociánová, 2000).

Conclusion

- 38 Le climat froid et humide des Hautes-Vosges est favorable à la persistance de neiges résiduelles jusqu'à la fin du printemps et en été. Ces accumulations neigeuses se reforment toujours aux mêmes endroits avec l'apparition de névés ou de corniches selon la topographie. Les névés sont, en fait, des reliques miniatures des anciens glaciers qui ont recouvert les différents cirques il y a 18000 ans. Il suffirait d'un abaissement de la température moyenne annuelle de quelques degrés pour qu'il deviennent permanents et puissent donner naissance à des glaciers embryonnaires. Ils sont tributaires des précipitations solides qui se produisent au cours du semestre froid. La variabilité des types de circulations observées durant l'hiver et le printemps implique une forte variabilité interannuelle de l'enneigement, une fréquence élevée de circulations perturbées de nord-ouest et nord étant favorable à un enneigement abondant et persistant (1969-1970). L'aléa lié aux avalanches ne doit pas être négligé dans les Hautes-Vosges même s'il est minime en comparaison avec d'autres massifs (Monts des Géants, Massif Alpin). Les avalanches se produisent assez fréquemment sur les versants des cirques glaciaires les plus escarpés du massif vosgien. Au sein des couloirs d'avalanches se maintiennent de petits biotopes particuliers avec une flore

remarquable qui constitue de véritables petits jardins secrets qu'il faut absolument préserver et protéger. Une surveillance plus systématique du risque d'avalanches, en association avec un suivi de l'enneigement, est souhaitable. La nette diminution des hauteurs de neige observée depuis la fin des années 80 pourrait avoir d'importantes conséquences environnementales et économiques si cette tendance persistait ou même s'aggravait durant le XXI^e siècle dans le contexte du changement climatique, comme dans d'autres montagnes moyennes des latitudes tempérées (Hennessy et al., 2003 ; Schneider et Schönbein, 2006 ; Schneider et al., 2006 ; Hamilton et al., 2007).

BIBLIOGRAPHIE

- Baumgartner M.F., Weingartner R. (1995).– Schneeschmeltz- und abfluss-modellierung in den Alpen unter Einbezug von Fernerkundungsdaten. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 47 (9-10), pp. 216-224.
- Brouillet L., Hay S., Turcotte P., Bouchard A. (1998).– La flore vasculaire alpine du plateau Big Level, au Parc National du Gros-Morne, Terre-Neuve. Géographie Physique et Quaternaire, 52 (2).
- Brown R.D. (2000).– Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915–1997. Journal of Climate, 13, pp. 2339-2355.
- Bürki R., Elsasser H., Abegg B. (2003).– Climate change and winter sports: environmental and economic threats. Proceedings 5th World Conference on Sport and Environment (IOC/UNEP), Turin (2-3 December 2003), 8 p.
- Cohen J., Entekhabi D. (2001).– The influence of snow cover on Northern Hemisphere climate variability. Atmosphere-Ocean, 39 (1), pp. 35-53.
- Collomb E. (1847).– Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les Vallées des Vosges. Paris, Victor Masson, Vol. 1, 246 p.
- Collomb E. (1848).– Nouvelles observations faites sur un petit glacier temporaire des Vosges en janvier et février 1848. Genève, Bibliothèque Universelle, 23 p.
- Corripio J.G., Durand Y., Guyomarc'h G., Mérindol L., Lecorps D., Pugliese P. (2004).– Land-based remote sensing of snow validation of a snow transport model. Cold Region Science and Technology, 39 (2-3), pp. 93-104.
- Ellenberg H. (1988).– Vegetation ecology of Central Europe. Cambridge University Press, 731 p.
- Etlicher B., Bessenay C., Couhert J.P., Faury O., Francez A.J., Sourp E., Suchel J.B., Thébaud G. (1993).– Les Hautes-Chaumes du Forez : Diagnostic écologique pour la gestion d'un espace sensible. Publications de l'Université de Saint-Etienne.
- Garcia-Herrera R., Barriopedro D. (2006).– Northern Hemisphere snow cover and atmospheric blocking variability. Journal of Geophysical Research, 111 (D21), D21104.
- Gerstengarbe F.W., Werner P.C. (2005).– Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881-2004). PIK Report n°100, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 153 p.
-

- Grad C. (1871).– Observations sur les petits glaciers temporaires des Vosges. Bulletin Société Histoire Naturelle, Colmar, pp. 207-213.
- Hamilton L.C., Brown C., Keim B.D. (2007).– Ski areas, weather and climate: time series models for New England case studies. *International Journal of Climatology*, 27, 2113-2124.
- Harshberger J.W. (1929).– Preliminary notes on American snow patches and their plants. *Ecology*, 10 (3), pp. 275-281.
- Hejcman M., Dvorak I.J., Kociánová M., Pavlu V., Nezerkova P., Vitek O., Rauch O., Jeník J. (2006).– Snow depth and vegetation pattern in a late-melting snowbed analyzed by GPS and GIS in the Giant Mountains, Czech Republic. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 38 (1), pp. 90-98.
- Hennessy K., Whetton P., Smith I., Bathols J., Hutchinson M., Sharples J. (2003).– The impact of climate change on snow conditions in mainland Australia. CSIRO/CRES, Victoria (Australia).
- Holtmeier F.K. (2005).– Relocation of snow and its effects in the treeline ecotone – with special regard to the Rocky Mountains, the Alps and Northern Europe. *Die Erde*, 136 (4), pp. 343-373.
- Humbert J., Nonn H., Paul P., Vogt H. (1984).– Toute l'Alsace, la terre et les Hommes. Editions Mars et Mercure-Wettolsheim, 140 pages.
- James P.M. (2007).– An objective classification for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 88, pp. 17-42.
- Jeník J. (1959).– Kurzgefaßte Übersicht der Theorie der anemo-orographischen Systeme. *Preslia (Praha)*, 31, pp. 337-357.
- Jeník J. (1997).– Anemo-orographic systems in the Hercynian Mts and their effects on biodiversity. *Acta Universitatis Wratislaviensis* N° 1950, pp. 9-21.
- Jeník J., Kociánová M. (2000).– Avalanche action and its positive effects on biodiversity. In: Hamilton, L.S.: *Mountain Protected Areas Update – March 2000*, 25, World Commission on Protected Areas/IUCN, 13 p
- Jomelli V., Delval C., Grancher D., Escande S., Brunstein D., Hétu B., Filion L., Pech P. (2007).– Probabilistic analysis of recent snow avalanche activity and weather in the French Alps. *Cold Region Science and Technology*, 47 (1-2), pp. 180-192.
- Juillard E. (1954).– L'enneigement dans les Vosges et dans la plaine d'Alsace. *Annales Institut Physique du Globe, nouvelle série, 3ème partie Géophysique*, Strasbourg, pp. 3-21.
- Kobayashi D., Ishikawa N., Nishio F. (1988).– Formation process and direction distribution of snow corniches. *Cold Regions Sci. and Tech.*, 15 (2), pp. 131-136.
- Kumar A., Yang F. (2003).– Comparative influence of snow and SST variability on extratropical climate in northern winter. *Journal of Climate*, 16, pp. 2248-2261.
- Lauriol B., Carrier Y., Beaudet H., Binda G. (1986).– The residual snow cover in the Canadian Arctic in July: a means to evaluate the regional maximum snow depth in winter. *Arctic*, 39 (4), pp. 309-315.
- Lehning M., Bartelt P., Brown B., Fierz C. (2002).– A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning; Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold Region Science and Technology*, 35 (3), pp. 169-184.
- Lemee G. (1963).– L'évolution de la végétation et du climat des Hautes-Vosges centrales depuis la dernière glaciation. In : *Le Hohneck, aspects physiques biologiques et humains*. Publication de l'association philomathique d'Alsace et de Lorraine, Strasbourg, pp. 185-192.

- Louis L. (1887).– Le département des Vosges, description, histoire, statistique (Tome 1). Nîmes, Editions Lacour, 360 p.
- Martin E., Etchevers, P. (2005).– Impact of climatic changes on snow cover and snow hydrology in the French Alps. *Advances in Global Change research* 23, in: Huber, U.M. et al. (eds). *Global Change and Mountain Regions*, Springer, pp. 235-242.
- Pomeroy J.W., Höller P., Marsch P., Walker D.A., Williams, M. (2001).– Snow vegetation interactions: issues for a new initiative. *IAHS-AISH publication*, 270, pp. 299-305.
- Rango A., Martinec J., Roberts R.T. (2007).– Global warming effects on snowfields and water supply evaluated using snowmelt modeling and normalized annual data. *Proceedings 75th Annual Western Snow Conference*, Kailua-Kona, Hawaii.
- Rothe J.P. (1935).– L'enneigement des Vosges en 1934 et 1935. *Annuaire de l'Institut Physique du Globe*, Strasbourg, 1ère partie météorologie, pp. 88-89.
- Rothe J.P. et Herrenschneider A., (1963).– Climatologie du massif du Hohneck. In : *Le Hohneck, aspects physiques biologiques et humains*. Association Philomathique d'Alsace et de Lorraine, Strasbourg, pp. 63-93.
- Schneider C., Schönbein J. (2006).– Klimatologische Analyse der Schneesicherheit und Beschneibarkeit von Wintersportgebieten in deutschen Mittelgebirgen. *Schriftenreihe Natursport und Ökologie*, Deutsche Sporthochschule Köln (Hrsg.), 111 p.
- Schneider C., Schönbein J., Ketzler G., Buttstädt M. (2006).– Winterklima, Klimawandel und Schneesport in Deutschen Mittelgebirgen. *FdSnow*, 29, pp. 2-11.
- Seidel K., Martinec J. (2004).– Remote sensing in snow hydrology. *Runoff Modelling, Effect of Climate Change*. Springer Praxis Books, 150 p.
- Seligman G. (1936/1962).– Snow structure and ski fields. Brussels, Adam.
- Shamsi F. (1968).– Les climats de la France de l'Est. Thèse de Doctorat de Troisième Cycle, Strasbourg, 258 p. (+ 100 tableaux).
- Suchel J.B. (1992).– La dynamique des congères sur les hautes chaumes des monts du Forez. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 5, pp. 383-390.
- Vicente-Serrano S.M., Grippa M., Le Toan T., Mognard N. (2007).– Role of the atmospheric circulation with respect to the interannual variability in the date of snow cover disappearance over northern latitudes between 1988 and 2003. *Journal of Geophysical Research*, 112 (D8), D08108.
- Vincent C. (2002).– Influence of climate change over the 20th century on four French glacier mass balances. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D19), 4375, ACL4 1-12.
- Vincent P.J., Lee M.P. (1982).– Snow patches on Farleton Fell, south-east Cumbria. *The Geographical Journal*, 148 (3), pp. 337-342.
- Watson A., Davison R.W., French D.D. (1994).– Summer snow patches and climate in northeast Scotland, UK. *Arctic and Alpine Research*, 26 (2), pp. 141-151.
- Watson A., Davison R.W., Pottie J., (2002).– Snow patches lasting until winter in north-east Scotland in 1971-2000. *Weather*, 57, pp. 374-385.
- Watson A., Duncan D., Pottie J., (2006).– Two scottish snow patches survive until winter 2005/06. *Weather*, 61 (5), pp. 132-134.

Zemp M. (2006).– Glaciers and Climate Change. Spatio-temporal analysis of glacier fluctuations in the European Alps after 1850. Dissertation zur Erlangung der Naturwissenschaftlichen Doktorwürde (Dr. sc. nat.), Universität Zürich, 61 p.

Logiciels :

Der Große National Geographic 3D-Globus 5.0 Premium. DVD-ROM, United Soft Media Verlag GmbH (Langen Müller Herbig), München.

Google Earth (<http://earth.google.fr/>)

RÉSUMÉS

Le climat froid et humide des Hautes-Vosges est favorable à la persistance de neiges résiduelles jusqu'à la fin du printemps et en été. Cet enneigement persistant est favorable aux activités liées aux sports d'hiver, mais son instabilité peut provoquer aussi le déclenchement d'avalanches. Les accumulations neigeuses se reforment toujours aux mêmes endroits, avec l'apparition de névés ou de corniches sur les pentes et les rebords des cirques glaciaires exposés à l'est ou au nord-est, au-dessus de 1150 m. Leur persistance dépend notamment de la hauteur de neige tombée pendant l'hiver, elle-même soumise à une forte variabilité interannuelle liée à la succession de différents types de circulations atmosphériques durant la saison froide. Une carte des principaux sites d'accumulations neigeuses persistantes et des risques d'avalanches a pu être réalisée pour le massif du Hohneck.

The cold and wet climate of the High Vosges mountains allows the persistence of residual snow cover until late spring or summer. This long-lasting snow cover is favourable to winter sports activities, but its instability can involve avalanche motion. Snow accumulations always re-form at the same locations in the form of firns or cornices in glacial cirques essentially facing E to NE and above 1150 m. The persistence of firns and snow cornices essentially depends on the winter snow depth, which is subjected to a high interannual variability due to the succession of different weather patterns during the cold season. A map of the main sites of long-lasting snow accumulation and of the avalanche risks has been drawn for the Hohneck massif.

Der kalte und nasse Klima der Hochvogesen begünstigt die Dauerhaftigkeit des Schnees am Ende des Frühlings und im Sommer. Diese dauerhafte Schneedecke begünstigt den Wintersport, aber ihre Labilität kann auch Lawinen verursachen. Die Anhäufungen von Schnee entstehen immer in den gleichen Standorten, mit Firnen und Wächten auf den Hängen der Kare, die oberhalb von 1150 m nach Osten und Nordosten ausgerichtet sind. Ihre Dauerhaftigkeit hängt von den winterlichen Höhen der Schneefälle ab, die jährlich infolge der meteorologischen Verhältnisse in der kalten Jahreszeit stark variieren. Eine Karte der wichtigsten Standorte der dauerhaften Schneeansammlungen und der Lawinengefährdung im Hohneckgebirge wurde gezeichnet.

INDEX

Schlüsselwörter : Firne und Wächten, Hochvogesen, Lawinen, Schneedecke

Keywords : avalanches, firns and cornices, High-Vosges mountains, snow cover

Mots-clés : avalanches, enneigement, Hautes-Vosges, névés et corniches

AUTEURS

LAURENT WAHL

Université de Nancy 2, Département de Géographie, 23 boulevard Albert 1er, 54 015 NANCY

OLIVIER PLANCHON

Université de Rennes 2, Place Recteur Henri Le Moal, 35 043 RENNES Cedex

PIERRE-MARIE DAVID

Observateur bénévole, 75, rue Paul Martin, 88 400 XONRUPT-LONGEMER