

GÉOMORPHOLOGIE ET TOURISME

Actes de la Réunion annuelle
de la Société Suisse de Géomorphologie (SSGm)
Finhaut, 21-23 septembre 2001



Editeurs:
Emmanuel REYNARD
Carole HOLZMANN
Dominique GUEX
Nicolas SUMMERMATTER

Avec le soutien de :



Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften SANW
Académie suisse des sciences naturelles ASSN
Accademia svizzera di scienze naturali ASSN
Academia svizra da ciencias naturais ASSN
Swiss Academy of Sciences SAS



Edition

Institut de Géographie de l'Université de Lausanne (IGUL), janvier 2003

Impression

Easy Document, 1442 Montagny-près-Yverdon

Mise en page et graphisme

Gaston Clivaz, Nicolas Summermatter, Salissou Ibrahim

Tirage

700 exemplaires

Photos de couverture

Les sentiers de Finhaut (Valais) □ un concept de développement touristique durable axé sur les itinéraires didactiques

La région des Attelas, Verbier (Valais) □ un site touristique à la morphologie fortement modifiée par l'Homme

La publication de cet ouvrage a bénéficié d'un soutien financier apprécié de la part de □

- l'Espace Mont Blanc
- l'Académie suisse des sciences naturelles (ASSN)
- l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne (IGUL)

Impacts du développement d'un domaine skiable sur la morphologie glaciaire et périglaciaire : le cas de Verbier (Valais, Suisse)

LAMBIEL Christophe, REYNARD Emmanuel
Institut de Géographie, Université de Lausanne, BFSH 2, CH -1015 Lausanne

Christophe.Lambiel@rect.unil.ch

Résumé

Verbier constitue l'une des plus grandes stations de sports d'hiver des Alpes suisses. Son domaine skiable de premier ordre est cependant situé sur des pentes fortement encombrées de débris rocheux gneissiques amenés par la combinaison des processus gravitaires, glaciaires et périglaciaires. De tels terrains posent de gros problèmes pour la pratique du ski. D'importants travaux ont donc été effectués afin d'aplanir les pistes de ski. Dans cet article sont étudiées les modifications apportées à la morphologie de deux vallons situés dans le domaine skiable de Verbier : Médran et La Chaux. Dans le premier cas, les glaciers rocheux et la couverture morainique ont été presque entièrement nivelés. Dans le deuxième cas, la marge proglaciaire d'un petit glacier qui a subi un fort recul depuis la fin du Petit Age Glaciaire a été plus légèrement modifiée. Les impacts de ces travaux sur la modification du régime thermique du sous-sol par l'amincissement du niveau actif des terrains gelés et la suppression des gros blocs de surface sont également étudiés, de même que le refroidissement du sol provoqué par le damage des pistes. Enfin, le cas de la fonte d'une moraine gelée provoquée par la construction d'une station de départ d'un téléphérique est également abordé.

Abstract

Verbier is one of the largest winter sport resorts of the Swiss Alps. The ski fields are located on slopes strongly recovered by gneissic rock debris brought by the combination of gravitative, glacial and periglacial processes. Such terrains induce problems for the practice of skiing. Significant work was thus carried out in order to level the ski runs. In this paper, the modifications of the morphology of two small valleys located in the ski fields of Verbier, Médran and La Chaux, are studied. In the first case, rock glaciers and morainic cover were almost entirely levelled. In the second case, the proglacial margin of a small glacier, which has strongly retreated since the end of the Little Ice Age, was modified in a slighter manner. The modifications of the ground thermal regime by thinning of the frozen ground active layer and by the removal of large surface blocks is also studied, as well as the cooling of the ground caused by preparation of ski tracks. Lastly, the melting of a frozen moraine due to the construction of a cable way station is analysed.

1. Introduction

La station de Verbier est située dans le Val de Bagnes, dans la partie occidentale des Alpes valaisannes (fig. 1). Jusqu'à dans les années 1930, le cirque de Verbier était essentiellement occupé par des pâturages et quelques chalets. Avec le développement du ski dans les années 1950, l'urbanisation de la «conque» de Verbier prit un véritable essor et se poursuivit à un rythme soutenu pour atteindre une capacité d'hébergement d'environ 25'000 lits actuellement. Les nuitées annuelles frisent le million (moyenne 1993-1997) (Bender 1999).

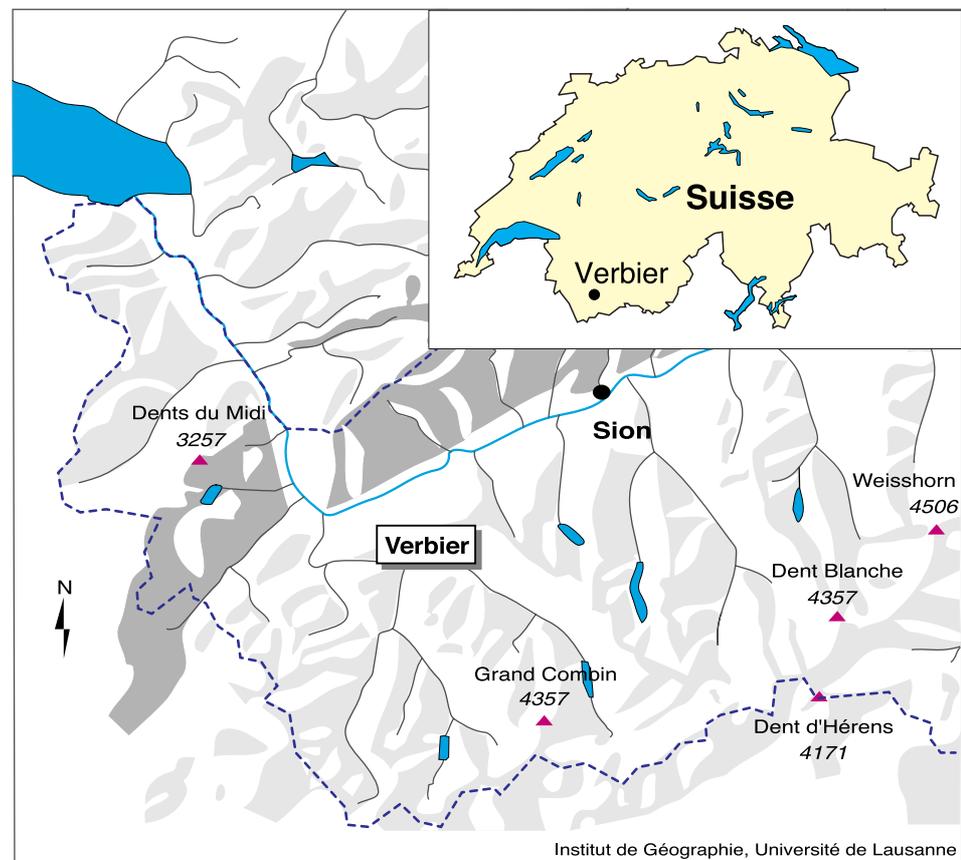


Fig. 1 Situation de Verbier.

Ce développement s'est appuyé sur la mise en place d'un domaine skiable de premier ordre comprenant actuellement 150 km de pistes et 39 installations de remontées mécaniques. Le domaine skiable de Verbier est relié depuis 1978 au domaine des Quatre Vallées, pour un total actuel de 410 km de pistes et de 95 remontées mécaniques. Certaines installations atteignent plus de 3000 m d'altitude. Une surface importante du domaine skiable est donc située dans la ceinture du pergélisol discontinu, au-dessus de 2300 m environ (Lambiel & Reynard 2001) et occupe des vallons où dominent de grands amas de matériaux meubles comme les glaciers rocheux, les éboulis ou les dépôts morainiques.

Ce développement extrêmement rapide du domaine skiable n'est pas allé sans créer des impacts importants sur le paysage géomorphologique de la région. Cet article a pour objectif de présenter, surtout au moyen de documents cartographiques et photographiques, les modifications de la morphologie et des processus géomorphologiques provoquées par les infrastructures touristiques.

2. La zone d'étude

Le domaine skiable de Verbier s'étend entre 1500 et 3328 m (Mont Fort). Géologiquement, il se trouve à cheval sur les nappes du Mont Fort et de Siviez-Mischabel. Gneiss, schistes, amphibolites et prasinites constituent les roches dominantes de la zone étudiée. La géologie tourmentée de la région se traduit sous la forme de parois rocheuses très gélives et extrêmement délitées. La moyenne des températures annuelles est d'environ -2.5°C , alors que la moyenne des précipitations annuelles se situe entre 2000 et 2400 mm à 2800 m. Ce climat relativement sec repousse à haute altitude la ligne d'équilibre des glaciers et permet donc une grande extension de la zone périglaciaire.

Depuis le Tardiglaciaire, d'énormes quantités de matériaux meubles se sont accumulées dans les vallons de la région. Ces zones de dépôt étant situées entre 2000 et 2700 m, c'est-à-dire à l'intérieur de la ceinture du pergélisol discontinu actuelle et tardiglaciaire (Lambiel & Reynard 2001, 2003), de nombreux glaciers rocheux ont pu se développer. On trouve ainsi pas moins d'une quinzaine de glaciers rocheux sur les flancs du Mont Gelé (sommet situé au cœur du domaine skiable de Verbier, et qui porte du reste très bien son nom) (Lambiel 1999). Les glaciers locaux ont également mobilisé et déposé de grandes quantités de matériaux meubles. D'imposantes moraines tardiglaciaires (Lambiel & Reynard 2003), mais aussi des marges proglaciaires liées au retrait actuel des glaciers (Reynard et al., 2003), marquent fortement le paysage géomorphologique de la région.

On trouve ainsi dans la région de Verbier une abondance de formes d'accumulation glaciaire et périglaciaire entre 2200 m et 3000 m, ces formes étant de surcroît souvent constituées de gros blocs. Se pose dès lors le problème du ski car une grande partie du domaine skiable de Verbier se situe dans cette tranche d'altitude. Pour permettre aux skieurs de pratiquer leur sport dans des conditions optimales, de grands travaux visant à aplanir les pistes ont ainsi été entrepris, avec les conséquences que l'on imagine pour le paysage géomorphologique de la région. Afin de mettre en évidence la difficile cohabitation du ski et de ce que l'on appelle souvent «les pierriers», deux sites ont été étudiés : la combe de Médran et la combe de La Chaux.

La combe de Médran prend naissance aux Attelas, à 2700 m et se termine à la hauteur des Ruinettes (2200 m), où elle rejoint les pentes qui dominent Verbier (fig. 2, 4 et 5). Le vallon dessine un V, avec une partie supérieure d'orientation NE-SW et une partie inférieure d'orientation WNW-ESE. Le paysage géomorphologique du vallon est dominé par les glaciers rocheux.

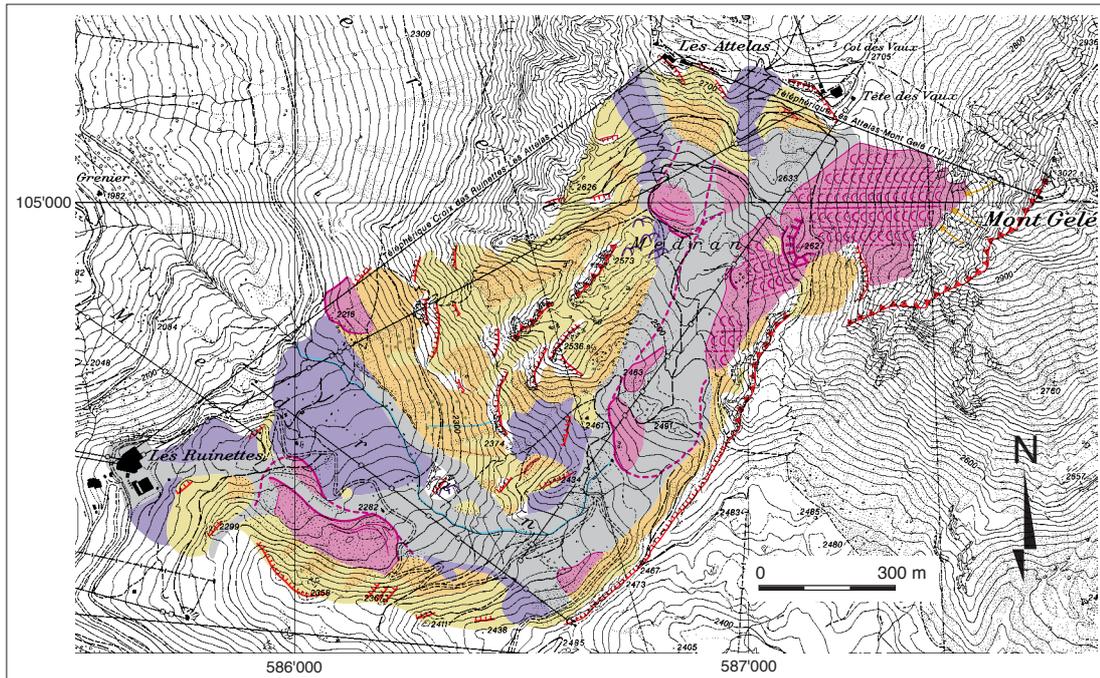


Fig. 2 Carte géomorphologique de la combe de Médran (Plan reproduit avec l'autorisation du Service des mensurations cadastrales du canton du Valais du 2.10.2002).

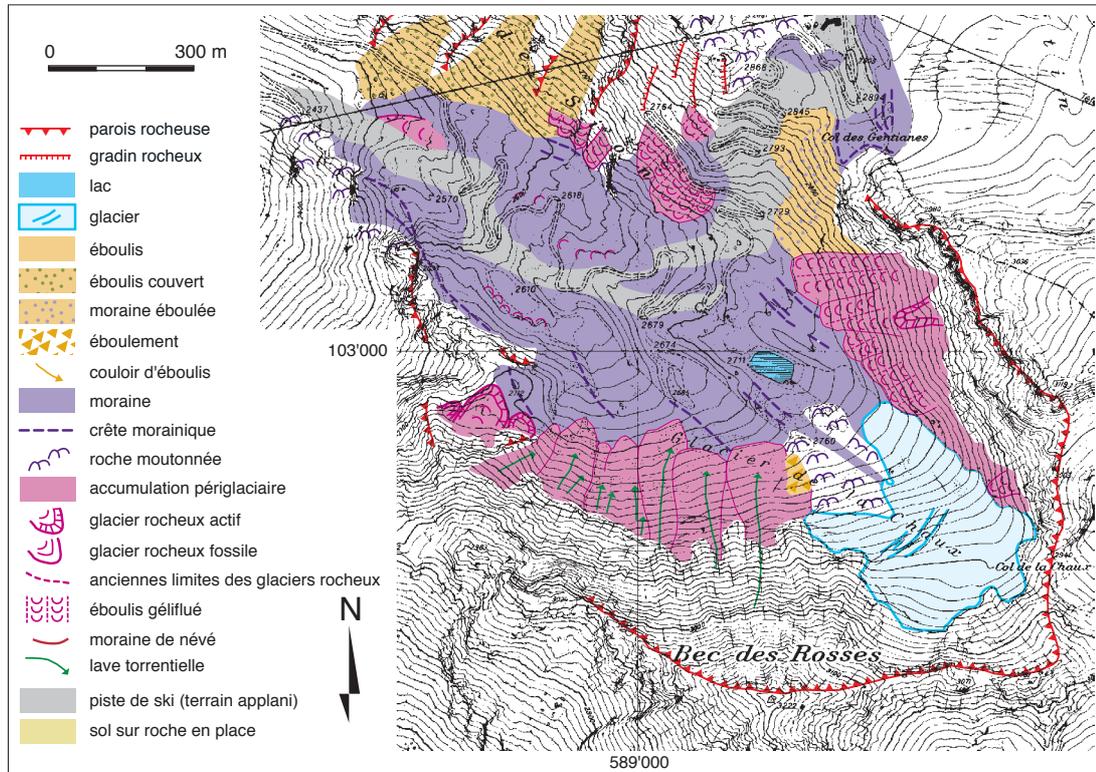


Fig. 3 Carte géomorphologique de la combe de La Chaux (Plan reproduit avec l'autorisation du Service des mensurations cadastrales du canton du Valais du 2.10.2002).

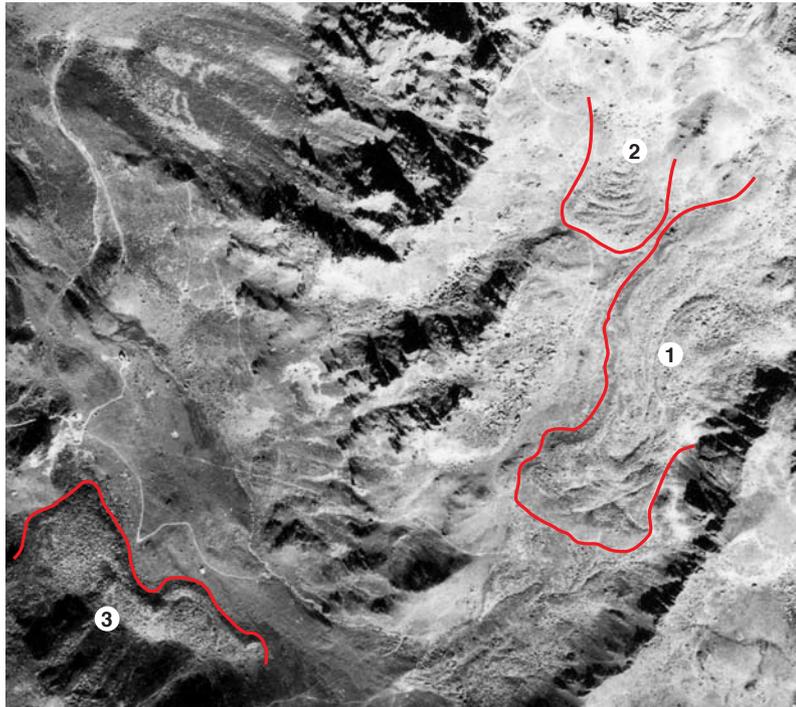


Fig. 4 Photographie aérienne de la combe de Médran en 1959 (© Image de l'Office Fédéral de Topographie).



Fig. 5 Photographie aérienne de la combe de Médran en 1999 (la différence de forme des glaciers rocheux entre les deux photos est due au fait qu'il ne s'agit pas d'orthophotos) (© Image de l'Office Fédéral de Topographie).



Fig. 6 Photographie aérienne de la marge proglaciaire du glacier de La Chaux en 1959 (© Image de l'Office Fédéral de Topographie).



Fig. 7 Photographie aérienne de la marge proglaciaire du glacier de La Chaux en 1999. On distingue nettement la route menant aux bâtiments du Col des Gentianes (en haut à droite), ainsi que la piste de ski qui emprunte la partie centrale de la marge proglaciaire (© Image de l'Office Fédéral de Topographie).

La combe de La Chaux (fig. 3), orientée au NW, est située entre le Bec des Rosses (3222 m), célèbre pour sa compétition de snowboard, et le Mont Fort (3328 m). La partie supérieure du vallon est occupée par le petit glacier de La Chaux, qui domine une marge proglaciaire s'étendant entre 2750 et 2500 m (fig. 6 et 7).

3. Impacts du développement du domaine skiable sur le paysage géomorphologique

Combe de Médran

Le développement du domaine skiable de Verbier remonte au début des années 50 (Deslarzes 1998). La première installation de la région de Médran (reliant les Ruinettes aux Attelas) a été construite en 1957. La figure 4 montre l'état de la combe de Médran en 1959. On y découvre un paysage géomorphologique intact, seuls quelques chemins étant discernables sur la photographie aérienne. Les contours grisés soulignent la présence de trois glaciers rocheux.

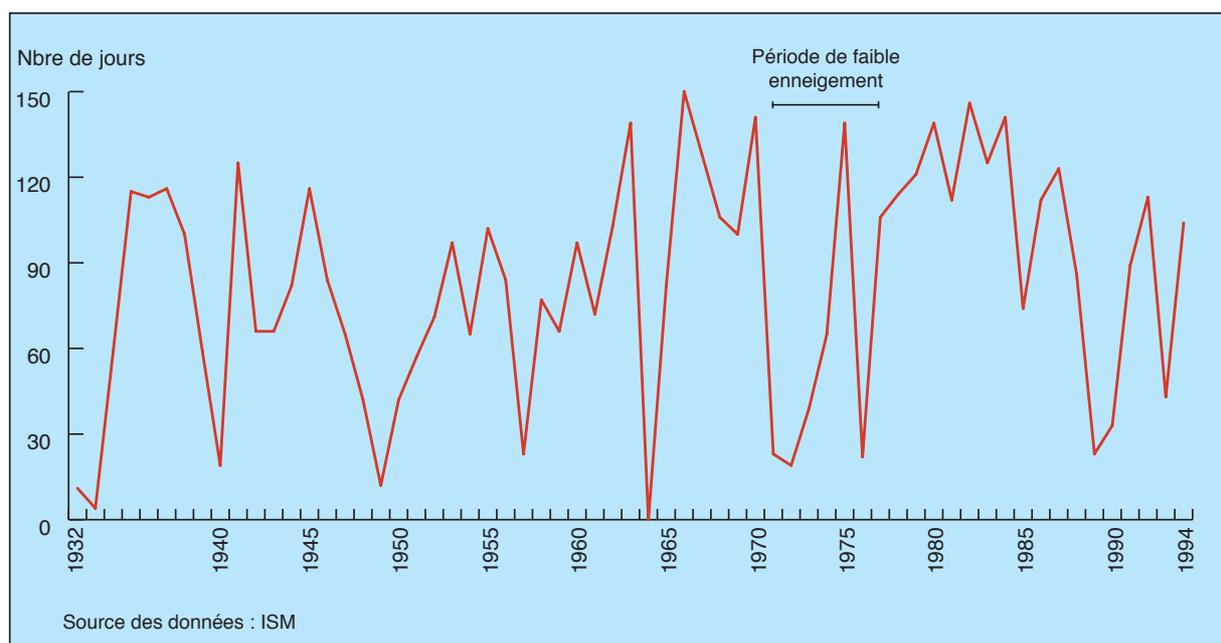


Fig. 8 Evolution du manteau neigeux à Montana (1500 m): nombre de jours avec un manteau neigeux de 30 cm ou plus (un manteau neigeux de 30 cm est nécessaire au damage des pistes).

L'appareil n°1 s'étend sur plusieurs centaines de mètres. Les blocs qui le constituent proviennent de la face Ouest très délitée du Mont Gelé (cf. fig. 2). Il est probable qu'une partie des matériaux alimentant le glacier rocheux ait également été amenée par un petit glacier local. Ce glacier rocheux présente en 1959 une surface très chaotique, avec des rides de flux enchevêtrées dans sa partie frontale. Le glacier rocheux n°2, de dimension bien plus réduite, présente une succession de rides parallèles

et régulières, colonisées par la végétation. A l'inverse, on distingue sur le glacier rocheux situé à l'amont des Ruinettes (n°3) une carapace de blocs exempte de végétation. Au vu de leur altitude, de leur orientation et de leur aspect général, ces trois glaciers rocheux sont aujourd'hui (et également en 1959) très probablement fossiles.

Jusqu'au début des années 1970, on skiait dans ce vallon encore intact. La présence des glaciers rocheux, et donc des gros blocs de surface, exigeait un manteau neigeux considérable. Il n'était pas rare que les pistes restent fermées durant de nombreuses semaines au début de l'hiver. Du fait d'une diminution de l'enneigement dans les années 1970 (fig. 8), on décida d'aplanir la zone skiable. Les travaux durèrent une dizaine d'années. Par bandes, on nivela complètement le vallon en supprimant les irrégularités du terrain. Le glacier rocheux n°1, de par sa position centrale souffrit particulièrement de ces importants travaux. Sa surface fut presque entièrement aplanie. Seules deux petites zones de la partie avale du glacier rocheux furent épargnées (cf. fig. 2). La comparaison des figures 4 et 5 est éloquent: aujourd'hui les rides de flux ont complètement disparu et tous les blocs de surface ont été enlevés. Il en résulte un vaste monticule allongé, difficilement colonisé par la végétation (fig. 9).



Fig. 9 Vue depuis l'amont sur le glacier rocheux de la combe de Médran n°1, orphelin de sa carapace de blocs et traversé de part en part par un télésiège (photo : C. Lambiel).

Les deux autres glaciers rocheux ont également subi passablement de dommages. L'appareil n°2 a été complètement aplanie sur environ deux tiers de sa surface. Il est aujourd'hui ceinturé par une route et la piste de ski (cf. fig. 2 et 5). Quelques rides de flux subsistent toutefois. Le glacier rocheux n°3 constituait quant à lui un obstacle au passage des skieurs

qui voulaient rejoindre la station des Ruinettes. Pour remédier à ce problème, de grandes quantités de matériaux ont été excavées du glacier rocheux. La tranchée qui en résulte est bien visible sur la figure 10. Les travaux de nivellement réalisés dans la combe de Médran n'ont pas affecté que les glaciers rocheux, mais également la couverture morainique. Comme on peut le voir sur la figure 2, pratiquement toute la partie « skiable » du vallon a subi des modifications.



Fig. 10 Le glacier rocheux des Ruinettes (n°3) traversé de part en part par la piste de ski (photo : C. Lambiel).

Combe de La Chaux

Le paysage géomorphologique du vallon de La Chaux est dominé par les formes glaciaires déposées par le petit glacier de La Chaux qui ne subsiste aujourd'hui plus que sous les parois du Bec des Rosses. Ce glacier occupait tout le vallon au Petit Age Glaciaire. On peut estimer qu'il a perdu aujourd'hui près de 90 % de son volume, laissant ainsi devant lui une vaste marge proglaciaire (cf. fig. 3, 6, 7).

A la fin des années 1970, on décida d'étendre le domaine skiable dans la région du Mont Fort, afin de permettre la pratique du ski sur le glacier de Tortin. La station du Col des Gentianes (cf. fig. 3 et 7) a été construite en 1979, sur la moraine latérale gauche du glacier de Tortin (alt. 2900 m). La piste reliant le Col des Gentianes au reste du domaine skiable emprunte la marge proglaciaire de La Chaux, avec sa moraine de fond caractéristique constituée de blocs émoussés et de fines. Malgré cette topographie relativement douce, des travaux de nivellement ont tout de même été effectués. En 1997, une piste a ainsi été tracée à travers la marge proglaciaire (cf. fig. 3 et 7).

L'impact visuel de ces modifications est moins important que dans le cas de la combe de Médran, car l'ampleur des travaux de terrassement est restée plus faible et la surface initiale était relativement plane. Celle-ci était en outre constituée uniquement de matériaux rocheux (moraine de fond) contrairement à la combe de Médran où les glaciers rocheux étaient selon les cas presque entièrement colonisés par la végétation. Certaines zones, comme la partie située directement à l'aval de la marge proglaciaire, ont cependant été passablement perturbées, (fig. 11). On notera dans ce cas que c'est à nouveau la présence d'un glacier rocheux qui a nécessité le plus de travaux.



Fig. 11 *Vue sur la partie aval de la piste de ski construite sur la marge proglaciaire du glacier de La Chaux. A l'arrière-plan le Bec des Rosses (3222 m) (photo : C. Lambiel).*

D'autres formes géomorphologiques de dimensions plus réduites ont également payé un large tribut à l'aménagement de cette piste. La présence de fines dans la marge proglaciaire favorise en effet le tri et la reptation des matériaux lors des phases de gel-dégel. De multiples formes de flux superficielles se sont ainsi dessinées au cours du XX^e siècle. Ces formes ont évidemment été détruites lors des travaux.

4. Impacts du développement du domaine skiable sur les processus géomorphologiques

Combe de Médran

La colonisation de ces espaces naturels par l'homme a bien évidemment des répercussions non seulement sur les formes du paysage, mais également sur les processus géomorphologiques en cours. Le damage

des pistes de ski a ainsi pour effet d'entraîner une compaction du manteau neigeux et donc un amincissement et une augmentation de la densité de la couche de neige. L'effet isolant de la neige est ainsi réduit, ce qui favorise le refroidissement du sol (Haeberli 1990). D'autre part, une neige compactée fond plus tardivement au printemps, ce qui a pour effet de retarder le réchauffement du sol (Haeberli 1992). Dans les milieux périglaciaires, ce double effet thermique est favorable au développement ou au maintien d'un permafrost.

Des mesures de températures par mini-loggers¹ UTL-1 (Hoelzle et al. 1999) ont été effectuées durant l'année hydrologique 2001-2002 sur un glacier rocheux situé sur le flanc NW du Mont Gelé, dans la région des Lacs des Vaux. Les températures observées en mars 2002 témoignent des perturbations thermiques provoquées par le damage des pistes (tab. 1). Les loggers lv1 et lv6, situés sur des zones damées en hiver (route ou piste) montrent des valeurs 2.5°C à 3°C plus basses que les loggers lv5 et lv9, situés à l'extérieur des pistes de ski, à quelques dizaines de mètres seulement des loggers lv1 et lv6.

Logger	T° moyenne de Mars [°C]	Emplacement
lv1	-7.0	Piste à travers le glacier rocheux, 2690 m
lv6	-6.9	Route à travers le glacier rocheux, 2705 m
lv8	-5.4	Eboulis à gros blocs et pente très raide, 2742 m
lv9	-4.5	Partie active du glacier rocheux, 2715 m
lv5	-4.0	Partie active du glacier rocheux, 2695 m
lv4	-2.8	Partie inactive du glacier rocheux, 2660 m
lv3	-2.3	Partie inactive du glacier rocheux, 2645 m

Tableau 1: Températures moyennes de mars 2002 enregistrées par 7 mini-loggers UTL-1 sur le glacier rocheux des Lacs des Vaux, flanc NW du Mont Gelé, quelques centaines de mètres au N de la combe de Médran.

Le damage des pistes peut par ailleurs introduire des conditions de permafrost dans des sols normalement non gelés (Haeberli 1990). Cela doit être le cas sur les glaciers rocheux fossiles de la combe de Médran, où les températures de subsurface ont certainement baissé depuis que l'on dame les pistes. Ce refroidissement a cependant pu être atténué par un autre phénomène. En hiver, les blocs qui émergent du manteau neigeux servent en quelque sorte de conducteur à l'air froid, qui peut ainsi s'infiltrer dans le sol. Une épaisse couche de neige est donc nécessaire pour que l'effet isolant de celle-ci soit efficace. Les blocs de surface favorisent donc par leur seule présence le refroidissement du sol (Harris & Pedersen 1998). Ce refroidissement sera d'autant plus marqué que la taille des blocs est importante. La suppression de ces blocs provoque donc la disparition d'un facteur important de refroidissement des glaciers rocheux.

Ce phénomène a dû être particulièrement marqué sur le grand glacier rocheux de la combe de Médran. Nous avons en effet vu que presque

¹ Petite capsule qui mesure la température à intervalle régulier (ici chaque 2 heures) et que l'on place dans le sol ou entre des blocs durant une année.

toute sa surface est aujourd'hui libre de blocs. Le réchauffement du sol provoqué par le « nettoyage » du glacier rocheux a donc dû atténuer quelque peu le refroidissement induit par le damage de la piste de ski.

Enfin, la suppression des blocs de surface dans les terrains gelés doit provoquer un fort déséquilibre thermique dans les premiers mètres proches de la surface. En effet, le niveau actif devient alors subitement très mince et le toit du permafrost se retrouve très proche de la surface. Les températures du sous-sol se retrouvant en déséquilibre par rapport à la température de l'air, un rapide réchauffement de ce niveau doit s'opérer.

Combe de La Chaux

Dans le cas de la combe de La Chaux, nous avons vu que les impacts des travaux sur la morphologie de surface étaient moins importants que dans le cas de la combe de Médran. Des mesures géoélectriques (sondages et tomographie) et thermiques (BTS et mini-loggers UTL-1) effectuées sur la marge proglaciaire indiquent qu'il n'y a globalement pas de permafrost sous la moraine (Reynard et al. 2003). Les travaux de terrassement n'ont donc pas dû engendrer de grandes perturbations thermiques. Par contre, le refroidissement provoqué par le damage de la piste n'est certainement pas à négliger. On ne possède malheureusement pas de mesures permettant de quantifier ces modifications thermiques.



Fig. 12 Vue sur les fondations de la station du Col des Gentianes. L'espace compris entre le bâtiment et la moraine mesure trois mètres environ. Il témoigne de l'affaissement de la moraine durant ces 20 dernières années (photo : C. Lambiel).

On trouve dans la région de La Chaux un autre exemple de perturbation des processus géomorphologiques par le développement d'un domaine skiable. Lorsque la station du Col des Gentianes a été construite, on s'est

aperçu que la moraine dans laquelle allaient reposer les fondations du bâtiment contenait une quantité non négligeable de glace. Des sondages géoélectriques réalisés en été 2002 sont venus confirmer la présence de glace dans cette moraine.

On recense dans les Alpes de nombreux cas d'affaissement de bâtiments construits sur des terrains gelés en permanence (Haeberli 1992). Pour se prémunir de ce genre de problèmes, les fondations du bâtiment ont été posées sur des pieux de béton de 2,5 m x 2,5 m descendant à une profondeur de 15 m dans la moraine². Ces mesures se sont révélées efficaces. Aujourd'hui, 20 ans après les travaux, le réchauffement induit par le bâtiment a provoqué la fonte d'une partie de la moraine, celle-ci s'étant affaissée de trois mètres environ, comme en témoigne la figure 12. Le bâtiment n'a cependant pas bougé, ce qui souligne l'efficacité des mesures prises.

5. Conclusions

La station de Verbier jouit indéniablement d'un domaine skiable de premier ordre. Ses pistes sont nombreuses, larges, avec un minimum de ruptures de pente et toujours bien entretenues. Pour atteindre une telle qualité, il a malheureusement fallu sacrifier certaines formes du paysage, comme nous l'avons montré à travers les deux exemples présentés dans cet article. Une autre partie du domaine skiable de Verbier, le vallon des Yettes Condjà, au NE du Mont Gelé, où la morphologie périglaciaire a été préservée (Reynard et al. 1999), est au contraire très souvent fermée aux skieurs durant une bonne partie de l'hiver. La mise en place d'un domaine skiable dans une région aussi « caillouteuse » que celle de Verbier nécessite ainsi très souvent un aménagement du terrain. C'est d'ailleurs le cas pour d'autres stations situées dans des contextes géologiques et géomorphologiques similaires, comme par exemple Arolla, Zermatt ou Grächen. La réalisation de tels aménagements est par ailleurs accélérée par le développement de l'enneigement artificiel, l'obtention d'une couche de neige suffisante étant moins onéreuse si la morphologie du terrain est régulière.

Ces aménagements sont certainement un mal nécessaire. Des choix pourraient toutefois être réalisés au moment de l'étude d'impact sur l'environnement ou de la mise à l'enquête publique des travaux, en se basant sur des critères objectifs tels que la valeur esthétique ou scientifique, l'importance en termes de processus, etc. (voir notamment Monbaron 1993, Cavallin et al. 1994, Marchetti et al. 1995, Grandgirard 1996 et 1997, Panizza et al. 1996). Une meilleure prise en compte des critères géomorphologiques - au même titre que les aspects biologiques - dans les évaluations des impacts des travaux de haute montagne s'avère ainsi nécessaire.

Les mesures de températures effectuées sur un glacier rocheux actif ont montré que le damage des pistes entraîne un fort refroidissement du sol, de l'ordre de 3°C dans le cas étudié. Ce refroidissement est extrêmement

² Bureau Technique Paul Glassey SA, 1997 Haute-Nendaz, Comm. orale.

favorable au maintien ou au développement d'un pergélisol et pourrait engendrer dans certains cas un fluage des matériaux, et donc une déstabilisation de portions de terrain. A l'inverse on a pu voir que la construction d'un bâtiment dans un terrain gelé (moraine du Col des Gentianes) a provoqué un fort réchauffement des premiers mètres du sous-sol, avec un affaissement de la moraine de l'ordre de trois mètres en une vingtaine d'année. Enfin, la suppression des blocs de surface lors des travaux de nivellement provoque très certainement un réchauffement du sol. Il serait intéressant d'équiper de mini-loggers un site regroupant des zones "perturbées" et des zones "non-perturbées", afin de quantifier ces modifications thermiques.

Remerciements

Nous tenons à remercier Messieurs Gaston Barben, Raymond Casanova et Hilaire Dumoulin pour les précieuses informations qu'ils nous ont fournies sur Verbier et le développement de son domaine skiable. Merci également à Monsieur Paul Glassey pour ses renseignements concernant les travaux effectués au Col des Gentianes.

Bibliographie

- Bender D. (1999). *Dynamique du marketing touristique: une image en mutation. Le cas de Verbier*. Université de Lausanne, Institut de Géographie, Mémoire de licence non publié, 133 p.
- Cavallin A., Marchetti M., Panizza M., Soldati M. (1994). The role of geomorphology in environmental impact assessment, *Geomorphology*, 9, 143-153.
- Deslarzes B. (1998). *Verbier, tourisme et mutations 1930-1960*, Fribourg, Ed. Faim de siècle.
- Grandgirard V. (1996). Géotopes. In: Hertig J. A. (Ed.). *Etudes d'impact sur l'environnement*, Lausanne, Presse polytechniques et universitaires romandes, 333-343.
- Grandgirard V. (1997). *Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage* Thèse, Faculté des Sciences, Université de Fribourg.
- Haeberli W. (1990). Scientific, environmental and climatic significance of rock glaciers, *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 823-831.
- Haeberli W. (1992). Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts, *Permafrost and Periglacial Processes*, 3, 111-124.
- Harris S. A., Pedersen D. E. (1998). Thermal regimes beneath coarse blocky materials, *Permafrost and Periglacial Processes*, 9, 107-120.
- Hoelzle M., Wegmann M., Krummenacher B. (1999). Miniature Temperature Dataloggers for Mapping and Monitoring of Permafrost in High Mountain Areas: First Experience from the Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10, 113-124.
- Lambiel C. (1999). *Inventaire des glaciers rocheux entre le Val de Bagnes et le Val d'Hérémence (Valais)*, Université de Lausanne, Institut de Géographie, Mémoire de licence non publié, 167 p.
- Lambiel C., Reynard E. (2001). Regional modelling of present, past and future potential distribution of discontinuous permafrost based on a rock

- glacier inventory in the Bagnes-Hérémece area (Western Swiss Alps), *Norwegian Journal of Geography*, 55, 219-223.
- Lambiel C., Reynard E. (2003). Cartographie de la distribution du pergélisol et datation des glaciers rocheux dans la région du Mont Gelé (Valais), in : Maisch M., Vonder Mühl D., Monbaron M. (eds) : *Entwicklungstendenzen und Zukunftsperspektiven in der Geomorphologie*, Zürich, Physische Geographie 31 (sous presse).
- Marchetti M., Panizza M., Soldati M., Barani D. (1995) (eds). *Geomorphology and Environmental Impact Assessment, Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria*, 3/1995.
- Monbaron M. (1993). La géomorphologie, élément indispensable dans toute étude d'impact sur l'environnement, *UKPIK, Cahiers de l'Institut de Géographie de Fribourg*, 9, 113-130.
- Panizza M., Fabbri A.G., Marchetti M., Patrono A. (1996). *Geomorphologic analysis and evaluation in environmental impact assessment*, ITC Publication 32, Enschede, The Netherlands.
- Reynard E., Delaloye R., Lambiel C. (1999). Prospection géoélectrique du pergélisol alpin dans le massif des Diablerets (VD) et au Mont Gelé (Nendaz, VS), *Bull. Murithienne*, 117, 89-103.
- Reynard E., Lambiel C., Delaloye R., Devaud G., Baron L., Chapellier D., Marescot L. Monnet R. (2003). Glacier/permafrost relationships in forefields of small glaciers (Swiss Alps), *Proceedings of the 5th International Conference on Permafrost*, Zurich, juillet 2003 (accepted).