

LA DIVERSITÉ GÉOMORPHOLOGIQUE DU VAL D'HÉRENS

CHRISTOPHE LAMBIEL¹, BENOÎT MAILLARD², MARIO KUMMERT³
& EMMANUEL REYNARD⁴

Bull. Murithienne 132/2014: 57-67

Cet article donne un aperçu de la géomorphologie du Val d'Hérens, en s'appuyant sur une carte géomorphologique élaborée au moyen de la légende de l'Université de Lausanne. Cette vallée constitue l'une des principales vallées latérales de la vallée du Rhône. Les dénivelés importants, combinés avec une géologie contrastée, sont à l'origine d'une importante diversité géomorphologique. Les principaux processus actifs en milieu de montagne, à savoir les processus gravitaires, glaciaires, périglaciaires et fluviaux, sont très actifs. Les glaciers ont joué un rôle important au cours du Quaternaire et ont laissé de nombreuses traces sur l'ensemble de la vallée, alors que les processus périglaciaires sont principalement actifs dans les vallons d'Arolla et de Ferpècle et les hauts vallons latéraux.

Mots clés:

Val d'Hérens,
géomorphologie,
cartographie
géomorphologique,
glaciers, glaciers rocheux

Schlüsselworte:

Eringertal,
Geomorphologie,
geomorphologische
Kartierung, Gletscher,
Blockgletscher

Die geomorphologische Vielfalt des Val d'Hérens. Gestützt auf die Legende einer geomorphologischen Karte der Universität Lausanne gibt dieser Artikel einen Überblick über die Geomorphologie des Val d'Hérens. Dieses Tal ist eines der Hauptseitentäler des Kantons Wallis. Seine grosse geomorphologische Vielfalt resultiert aus der Kombination zwischen der kontrastreichen Geologie und den enormen Höhenunterschieden. Die wichtigsten Prozesse, die sich im Gebirge abspielen, sind im Val d'Hérens sehr aktiv (bestimmt durch Gravität, Gletscher, Frost und Flüsse). Vor allem im Quaternär haben Gletscher eine wichtige Rolle gespielt und die Spuren sind im ganzen Tal verschiedentlich sichtbar. Durch Frost verursachte Prozesse sind hauptsächlich in den Regionen Arolla und Ferpècle, sowie in den seitlichen Höhentälern zu beobachten.

Annexe: Carte insérée à la fin du Bulletin.

¹ Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST)
Université de Lausanne
Géopolis
1015 Lausanne
christophe.lambiel@unil.ch

² Institut de géographie et durabilité (IGD)
Université de Lausanne
Géopolis
1015 Lausanne

³ Département des Géosciences
Géographie, Université de Fribourg
Chemin du Musée 4
1700 Fribourg

⁴ Institut de géographie et durabilité (IGD)
Université de Lausanne
Géopolis
1015 Lausanne

INTRODUCTION

A partir des années 1960, un nombre croissant de géologues, de géomorphologues et de glaciologues suisses et internationaux se sont rendus dans le Val d'Hérens pour y mener des études scientifiques. La longue tradition touristique de la vallée n'y est probablement pas étrangère. Au 19^e siècle en effet, touristes, alpinistes, ou encore peintres (anglais souvent) commencèrent à fréquenter les lieux, tant pour la beauté des paysages que pour les nombreux sommets à gravir. L'aménagement de plusieurs routes pour la construction d'ouvrages hydroélectriques à partir des années 1950 a permis un accès rapide aux glaciers, ce qui explique vraisemblablement le nombre spectaculaire d'études glaciologiques menées dans les secteurs de Ferpècle et d'Arolla (par ex. SHARP & al. 1993, MAIR & al. 2001, WILLIS & al. 2003). A titre d'exemple, le Haut Glacier d'Arolla compte à lui seul une centaine de publications scientifiques dans des revues internationales, ce qui en fait l'un des glaciers les plus étudiés au monde. Outre les études glaciologiques, de nombreux travaux portant sur la géomorphologie glaciaire ont également été menés dans la vallée, principalement dans les secteurs de Ferpècle et d'Arolla. La reconstruction des stades glaciaires (WINISTÖRFER 1978), la datation de dépôts morainiques (SCHNEEBELI & RÖTHLISBERGER 1976), la dynamique paraglaciale des moraines (CURRY & al. 2006) et l'évolution actuelle des petits glaciers couverts (BOSSON & LAMBIEL 2015) en sont quelques exemples.

La géologie du Val d'Hérens est très diversifiée, avec une dominance de gneiss et de quartzites au nord, de calcschistes au centre de la vallée et d'orthogneiss au sud. Cette diversité influence fortement la topographie (altitudes, pentes) et les processus géomorphologiques qui en découlent. Parmi les nombreuses études géomorphologiques menées dans la région, celles portant sur la distribution spatiale du pergélisol et sur ses caractéristiques internes occupent une place importante (par ex. GARDAZ 1997, DELALOYE & LAMBIEL 2005,

LAMBIEL & PIERACCI 2008, SCAPOZZA & al. 2011). Le versant droit du Val d'Arolla fait l'objet depuis quelques années d'un nombre important d'investigations sur les mouvements de versant (par ex. LAMBIEL & al. 2005; BARBOUX & al. 2014; Micheletti & al. 2015). De nombreuses études portant sur la géomorphologie fluviale ont également été menées dans la vallée (SMALL 1973, WARBURTON 1990, LANE & al. 1996). Enfin, une analyse intégrée d'un système géomorphologique de montagne a été proposée récemment par REYNARD et al. (2012a).

L'objectif de cet article est de mettre en évidence la diversité géomorphologique du Val d'Hérens, en s'appuyant sur une carte géomorphologique de la vallée, élaborée à l'aide de la légende géomorphologique de l'Université de Lausanne. La carte a été produite dans le cadre d'un mandat pour le Canton du Valais portant sur l'étude de la torrencialité de la vallée (MAILLARD & al. 2013a, b). Du fait de la taille de la région d'étude, une analyse détaillée de tous les secteurs n'aurait pas été possible dans le cadre de cet article. L'accent a donc été mis sur la géomorphologie glaciaire et périglaciaire, en soulignant certaines formes ou certains lieux caractéristiques de la vallée.

MÉTHODE

La carte a été levée à l'aide de la légende géomorphologique de l'Université de Lausanne (SCHOENEICH 1993, SCHOENEICH & al. 1998, LAMBIEL & al. 2015). Cette légende est de type morphogénétique et est construite selon les principes suivants:

- les couleurs représentent les catégories de processus (glaciaires, périglaciaires, gravitaires, fluviales, etc.);
- Les symboles ont une signification morphogénétique et sont dessinés dans la couleur du processus à l'origine de la forme;
- Les formes d'érosion sont dessinées sur fond blanc et les formes d'accumulation sur fond coloré.

Cette légende est utilisée depuis plus de 20 ans pour la cartographie de détail à l'échelle du 1:10'000 et 1:25'000, en particulier dans des régions de moyenne et de haute montagne (par ex. ONDICOL 2009). Elle avait initialement été développée pour la cartographie à la main sur le terrain avec des crayons de couleur. Au cours des années 1990, la légende a été informatisée pour permettre la cartographie numérique, en particulier avec le logiciel Adobe Illustrator (SCHOENEICH 1998, SCHOENEICH & al. 1998). L'amélioration des performances graphiques des systèmes d'information géographiques (SIG) durant la dernière décennie a permis d'envisager une adaptation de la légende pour une utilisation dans un SIG. A travers plusieurs projets, une nouvelle version de la légende a été développée dans le logiciel ArcGIS 10.0 (LAMBIEL & al. 2015). Elle peut désormais être téléchargée sur le site www.unil.ch/igul/legende_UNIL.

Dans ce projet, la cartographie a été effectuée directement sur ordinateur, à l'aide de cartes topographiques au 1:25'000, d'orthophotos de différentes années, du modèle numérique de terrain (MNT) SwissAlti3D de Swisstopo et de données radar satellitaires (InSAR). Plusieurs cartes géomorphologiques levées à l'Université de Lausanne ont été utilisées comme base de travail. Dans la partie nord du terrain, où la forêt recouvre une grande partie des versants, la cartographie s'est fortement inspirée de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. Enfin, des vérifications sur le terrain ont été effectuées dans certains cas.

CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES ET CLIMATIQUES

Le Val d'Hérens constitue l'une des principales vallées latérales de la vallée du Rhône, avec une distance nord-sud d'environ 30 km, une superficie de 270 km² et des altitudes comprises entre 470 m et 4357 m atteintes à la Dent Blanche (**Fig. 1**). Quatre unités géologiques

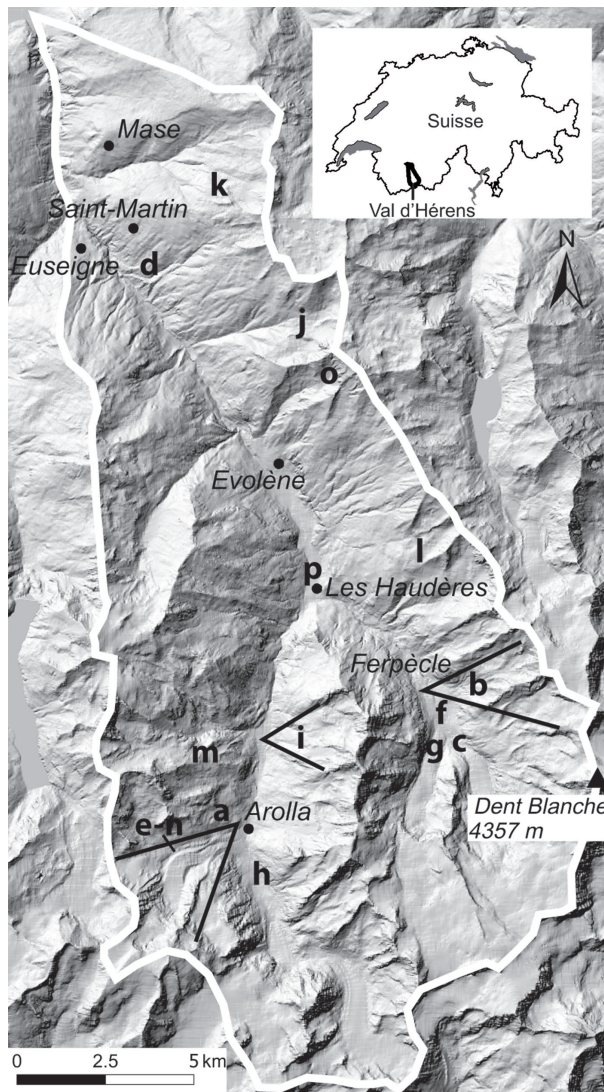
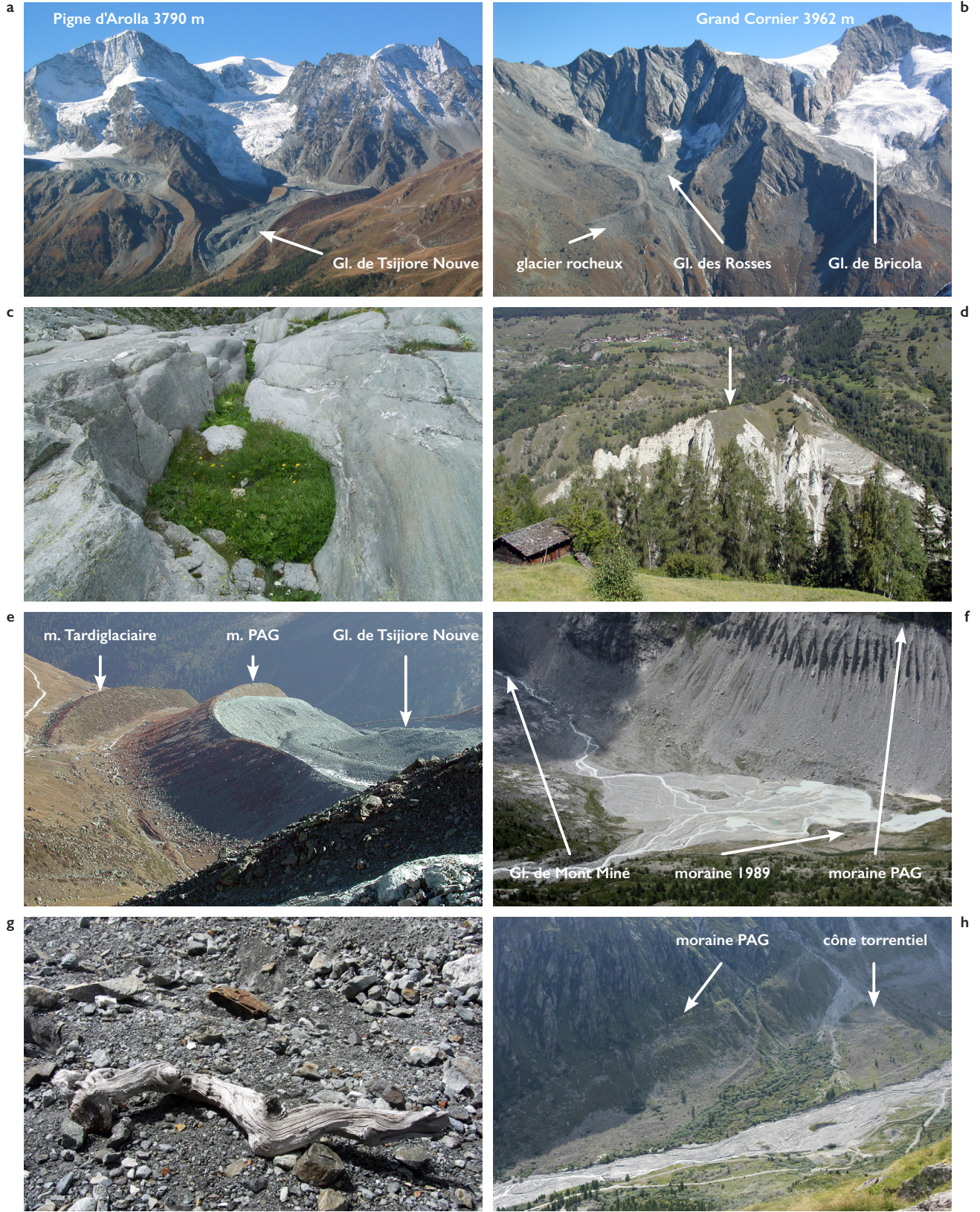


Figure 1 - Situation et topographie du Val d'Hérens. Les lettres en gras correspondent aux photos de la figure 2. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA13064).

principales se succèdent du nord au sud: les nappes de Siviez-Mischabel, du Mont Fort, du Tsaté et de la Dent Blanche (STECK & al. 2001). Les deux premières appartiennent au Pennique moyen et sont principalement constituées de quartzites, de micaschistes, de gneiss et d'amphibolites. Au-dessus, on trouve majoritairement des calcschistes de la nappe du Tsaté, ainsi que çà et là des affleurements de prasinites et de serpentinites. Ces lithologies offrent les pentes les plus douces, à témoin



le versant sud-ouest dominant Evolène, où les parois sont quasi inexistantes. Ce paysage contraste fortement avec les versants beaucoup plus escarpés et les hautes parois rocheuses de la nappe de la Dent Blanche qu'on observe au sud de la vallée. On y trouve principalement des orthogneiss de la série d'Arolla (gneiss d'Arolla). Des métagabbros sont toutefois présents au niveau du Mont Collon, ainsi que des dolomies et des brèches dans le secteur Mont Dolin - Petit Mont Rouge.

De par sa position dans la partie interne des Alpes, le Val d'Hérens est partiellement protégé des principales perturbations atmosphériques. Le climat y est donc relativement sec, avec une moyenne annuelle des précipitations de 720 mm (moyenne 1987-2012) à la station d'Evolène-Villa (1825 m). L'isotherme du 0°C est situé aux environs de 2600 m.

GLACIERS ET GÉOMORPHOLOGIE GLACIAIRE

Les glaciers du Val d'Hérens occupent une surface d'environ 40 km². La relative aridité du climat maintient actuellement leur ligne d'équilibre au-dessus de 3000 m. Cependant, en raison des altitudes élevées, de grands glaciers occupent le fond de la vallée, comme ceux de Ferpèche et de Mont Miné, dans le vallon de Ferpèche, ou les Haut et Bas Glaciers d'Arolla et le glacier de Tsijiore Nouve (**Fig. 2a**), dans le Val d'Arolla. En dehors de ces

principales zones englacées, on dénombre une vingtaine de plus petits glaciers, dont plusieurs glaciers de cirque situés au pied de hautes parois rocheuses (Les Rosses, Tsarmin, La Tsa, etc.) (**Fig. 2b**).

Durant les glaciations pléistocènes, tous ces glaciers se rejoignaient pour former le glacier d'Hérens, qui rejoignait à son tour le glacier du Rhône au débouché de la vallée. La géomorphologie de la vallée est fortement influencée par ces fluctuations glaciaires passées, à témoin les vastes secteurs où la moraine de fond recouvre les versants. Les formes d'érosion glaciaires sont principalement visibles dans la portion sud de la vallée. De larges affleurements de roches moutonnées sont présents sur les pentes escarpées de la rive droite du Val d'Arolla et du vallon de Ferpèche. Le front du glacier de Ferpèche illustre particulièrement bien l'efficacité de l'érosion glaciaire, avec ses nombreux chenaux de Nye et ses marmites glaciaires (**Fig. 2c**).

Les plus anciennes crêtes morainiques que l'on observe dans la vallée sont celles du Lac de Vernamiège, située à 1750 m, et celles des Collons, entre 1800 et 1940 m. Ces dernières sont clairement visibles sur le MNT SwissAlti3D et peuvent être suivies sur environ 2 km. Ces moraines correspondent aux moraines latérales en rive droite, respectivement en rive gauche, du glacier d'Hérens lorsqu'il confluaient avec le glacier du Rhône.

Situées un peu plus au sud, les Pyramides d'Euseigne et les moraines de La Lurette constituent les dépôts morainiques du Tardiglaciaire les plus remarquables de la vallée (**Fig. 2d**). Les premières correspondent à des cheminées de fées, formées par le ravinement et l'érosion gravitaire de till déposé en rive droite du Val d'Hérens. Elles constituent des signatures remarquables de l'extension passée des glaciers et, à ce titre, ont été inscrites dans l'inventaire des géotopes suisses (REYNARD & *al.* 2012b). Les deux vallums latéro-frontaux de La Lurette ont quant à eux été édifiés par le glacier d'Hérens,

Figure 2

- a) Le glacier de Tsijiore Nouve, au pied du Pigne d'Arolla.
- b) Le petit glacier couvert des Rosses (vallon de Ferpèche).
- c) Chenal de Nye dans les roches moutonnées au front du glacier de Ferpèche.
- d) Vallum morainique de La Lurette.
- e) Les moraines tardiglaciaire et holocène (PAG) du glacier de Tsijiore Nouve.
- f) La plaine de Ferpèche, au front du glacier de Mont Miné, avec son sandur, le vallum morainique latéro-frontal de 1989 et la moraine du PAG fortement ravinée.
- g) Tronc d'arolle (?) sur le glacier de Mont Miné.
- h) Marge proglaciaire du Bas Glacier d'Arolla, avec la moraine latérale droite du PAG et la plaine alluviale active de La Borgne.



alors que le glacier d'Hérémence s'avancé plus au nord jusqu'à la hauteur d'Hérémence, obstruant le Val d'Hérens et provoquant ainsi la formation d'un lac de barrage à l'amont d'Euseigne (Coutterand, données non publiées). Le glacier d'Hérens, resté en retrait, a probablement édifié ses moraines au niveau du rivage sud du lac, comme en témoignent les terrasses glacio-lacustres situées au pied des moraines.

Plusieurs autres vallums morainiques construits par des glaciers latéraux sont visibles plus haut dans la vallée, comme ceux du Lac Bleu, édifiés à la confluence des glaciers des Aiguilles Rouges et d'Arolla (KUMMERT 2012), ou ceux de Vouasson et de Tsijiore Nouve (**Fig. 2e**), qui datent vraisemblablement du Dryas récent (SCAPOZZA 2013).

Au Petit Age Glaciaire (PAG), les glaciers de Ferpècle et de Mont Miné étaient coalescents et occupaient l'intégralité de la plaine de Ferpècle, jusqu'à environ 1800 m d'altitude. La limite ouest de l'englacement est clairement visible dans le versant (**Fig. 2f**). A proximité du glacier, le ravinement de la moraine latérale gauche illustre les processus de rééquilibrage qui affectent généralement les dépôts morainiques récents (cf. CURRY & *al.* 2006). En direction du nord, la pente diminue progressivement et la colonisation végétale augmente. La séparation des deux glaciers a eu lieu au début des années 1960. Le retrait glaciaire du 20^e siècle a ensuite été interrompu au début des années 1970. Les deux glaciers ont connu alors un bilan de masse positif durant une vingtaine d'années. Lors de son avancée, le glacier de Mont Miné a excavé les

sédiments fluvio-glaciaires déposés préalablement, pour ensuite construire une moraine de poussée latéro-frontale qui marque distinctement la position frontale du glacier lors de son avancée maximale en 1989 (BEZINGE & KUNZ 2002) (**Fig. 2f**). Un sandur comble aujourd'hui la dépression située à l'amont du vallum morainique. Depuis, le glacier s'est retiré d'environ 700 m. Des troncs d'arolles sont régulièrement régurgités par le glacier, indiquant que, au vu de l'absence d'arbres dans les pentes dominant le glacier de Mont Miné, la limite de la forêt a été par le passé plus élevée qu'aujourd'hui (**Fig. 2g**). Des datations d'échantillons au C_{14} ont, par ailleurs, montré que le glacier de Mont Miné a connu plusieurs phases de retrait plus marquées qu'aujourd'hui au cours de l'Holocène (SCHNEEBELI & RÖTHLISBERGER 1976, JOERIN & *al.* 2006).

Du côté des Haut et Bas Glaciers d'Arolla, l'ampleur du retrait post-PAG est également manifeste (**Fig. 2h**). Là-aussi, l'activité des processus géomorphologiques au sein des zones proglaciaires est intense, en particulier le remaniement des moraines latérales et l'activité fluvio-glaciaire. La colonisation végétale est nettement plus avancée à l'aval du Bas Glacier d'Arolla, en raison des altitudes plus basses.

Le cinquième grand glacier de la vallée, celui de Tsijiore Nouve, s'est avancé dans un espace nettement plus ouvert que dans les cas précédents (**Fig. 2a, e**). Sa langue, située à la base d'une barre de séracs haute d'environ 500 m, est aujourd'hui presque intégralement couverte de débris rocheux, en raison des hautes parois qui dominent la zone d'accumulation. Deux volumineuses moraines délimitent le système, faisant de ce glacier l'un des meilleurs exemples de glaciers non contraints par la topographie dans les Alpes suisses, ce qui lui a valu d'être inscrit à l'inventaire des géotopes suisses (REYNARD & *al.* 2012b). Ce large espace a notamment permis la juxtaposition de plusieurs cordons morainiques dans la partie basse de la moraine latérale gauche. Des datations radiocarbones effectuées par SCHNEEBELI & RÖTHLISBERGER (1976) montrent que ce complexe s'est construit sur les 3000 dernières années

Figure 2 (suite)

- i) Le secteur de Tsarminé, en rive droite du Val d'Arolla. BM = bastion morainique, GR = glacier rocheux, GRD = glissement rocheux disloqué, NA = niche d'arrachement, E = éboulis, TP = torrent de Perroc.
- j) Le glacier rocheux fossile de l'A Vieille.
- k) Glacier rocheux fossile quartzitique aux Rechasses.
- l) Partie aval du glacier rocheux du Liapay d'Enfer.
- m) Versant soliflué à proximité de la Remointse de Pra Gras (Arolla).
- n) Solifluxion sur la moraine latérale gauche du glacier de Tsijiore Nouve.
- o) Ravines et dépôts torrentiels dans le versant occidental du Sasseneire.
- p) Terrasses fluviales à l'aval des Haudères.

au minimum et que les dépôts du Petit Âge Glaciaire et des années 1980 ne constituent que les apports finaux (SCAPOZZA 2013).

Durant les phases froides de l'Holocène, les petits glaciers de cirque des vallons de Ferpècle et d'Arolla ont transporté d'énormes quantités de sédiments jusqu'au sommet des pentes abruptes qui dominent les deux vallons, construisant de volumineux bastions morainiques, comme ceux des Rosses, de Tsarmine et de LaTsa (**Fig. 2b, i**). Aujourd'hui, la glace de ces trois glaciers n'est visible qu'au pied des parois, mais en réalité elle est encore présente sous la moraine superficielle dans une grande partie des secteurs situés à l'amont des moraines frontales, comme en témoignent diverses observations de terrain ainsi que des données géophysiques et cinématiques (LAMBIEL & al. 2005, BARBOUX & al. 2014, BOSSON & LAMBIEL 2015).

FORMES PÉRIGLACIAIRES

La partie nord de la rive droite du Val d'Hérens comporte plusieurs glaciers rocheux fossiles de grande dimension, à des altitudes globalement comprises entre 2300 et 2500 m. La plupart d'entre eux sont constitués de calcschistes, ce qui a favorisé le développement de sols et de végétation herbacée. Selon SCAPOZZA (2013), la plupart de ces formations auraient commencé à se développer au Bølling, une période tempérée comprise entre les périodes plus froides du Dryas Ancien et du Dryas Récent, durant laquelle les taux d'érosion étaient significativement plus élevés que maintenant. Le glacier rocheux de l'A Vieille est une des formes les plus proéminentes du secteur (**Fig. 2j**). La présence de plusieurs crêtes anguleuses sur la moitié amont de la forme suggère une influence glaciaire dans la morphogenèse de ce système, illustrant les complexes relations entre glaciers et glaciers rocheux qui ont probablement prévalu au Dryas récent, non seulement à l'A Vieille, mais également dans d'autres secteurs, comme par exemple aux Cliosses, un peu plus au sud.

Des glaciers rocheux quartzitiques sont aussi présents dans le secteur, comme au lieu-dit les Rechasses (**Fig. 2k**). Ils contrastent avec les formes schisteuses beaucoup plus douces. Ici, la texture grossière des blocs de surface et l'absence de sédiments fins empêchent le développement d'un sol et donc de végétation. Par contre, les lichens (rhizocarpons) recouvrent presque intégralement les blocs.

Situé au sud de la Pointe du Tsaté, le Liapay d'Enfer constitue le plus grand glacier rocheux du Val d'Hérens (**Fig. 2l**). Il s'agit d'une formation complexe, constituée de plusieurs lobes et de secteurs affaissés, avec des blocs de couleur orangée due à l'altération des serpentinites qui le composent. Même si le glacier rocheux est probablement en grande partie fossile, de la glace occupe toujours la partie aval, comme en témoignent des mesures géophysiques et des données de mouvements non publiées.

On trouve également une forte concentration de glaciers rocheux dans d'autres secteurs de la vallée, comme par exemple dans la région du Pic d'Artsinol, avec notamment des glaciers rocheux actifs dans le versant nord-est du sommet et le grand glacier rocheux fossile de La Combette. Le vallon des Fontanesses, à l'ouest d'Arolla, concentre lui-aussi plusieurs glaciers rocheux actifs et fossiles, constitués soit de gneiss d'Arolla (versant nord des Pointes de Tsena Refien), soit de brèches et de dolomies de la série du Mont Dolin (SCAPOZZA 2013). Enfin, plusieurs formations actives occupent le versant escarpé de la rive droite du Val d'Arolla, comme par exemple les glaciers rocheux de Tsarmine (**Fig. 2i**) et de La Roussette (BARBOUX & al. 2014, LAMBIEL & al. 2015). A noter encore que de la glace de sous-sol n'est pas uniquement présente dans les glaciers rocheux, mais également dans de nombreux éboulis de la région (LAMBIEL 2006, LAMBIEL & PIERACCI 2008, SCAPOZZA & al. 2011).

Enfin, les formes liées à la solifluxion sont très répandues dans le Val d'Hérens, en particulier dans les versants constitués de

calcschistes, comme les pentes nord-ouest de la Palanche de la Cretta et le versant nord-est de La Roussette (**Fig. 2m**). Des éboulis gneissiques sont également affectés par la solifluxion, pour autant que de la fraction fine soit présente en surface, comme par exemple dans le versant nord-ouest du Mont Noble. Enfin, on trouve de nombreuses formes de solifluxion sur les moraines du PAG, en particulier sur celles des glaciers de Tsijiore Nouvelle, des Ignes et de Vouasson (**Fig. 2n**).

FORMES GRAVITAIRES

Dans sa partie nord, la rive droite de la vallée est affectée par de nombreux glissements rocheux et glissements de terrain dans des matériaux morainiques, dont la plupart ne sont plus actifs. Ces instabilités sont souvent le résultat de la décompression postglaciaire consécutive au retrait du glacier d'Hérens. De gros glissements rocheux parfois fortement disloqués sont également actifs dans le Val d'Arolla, comme par exemple au-dessus de Satarma et de Pramousse, en rive droite (**Fig. 2i**), ainsi qu'en rive gauche dans le secteur situé sous la ligne La Couta-Mont des Ritses.

Les éboulis forment l'autre grand groupe de formes gravitaires. S'ils sont présents dans toute la vallée, ils sont particulièrement bien développés dans sa moitié sud, au pied des hautes parois de gneiss. Certains, comme les éboulis de Perroc ou de Tsena Réfien, peuvent atteindre une extension verticale de 400 m (**Fig. 2i**).

FORMES FLUVIATILES

L'activité torrentielle dans la vallée est importante. MAILLARD & *al.* (2013a, b) y ont répertorié 40 bassins versants torrentiels, dont 21 présentent des traces d'activité récente. Les bassins versants les plus actifs sont situés dans la moitié sud de la vallée, là où les pentes sont les plus prononcées, en particulier en rive droite du Val d'Arolla (**Fig. 2i**) et en rive gauche du vallon de Ferpècle. L'activité torrentielle est également forte

dans les pentes orientales du Mont de l'Etoile et dans le versant ouest du Sasseneire (**Fig. 2o**).

Les dépôts d'alluvions le long de la Borgne se concentrent dans les deux secteurs les plus ouverts de la vallée, à savoir dans le Val d'Arolla et entre Les Haudères et Evolène. Dans le premier cas, la dynamique fluviale est très forte, en raison des purges fréquentes effectuées à la prise d'eau située en aval du Bas Glacier d'Arolla (**Fig. 2h**). La diminution de la capacité de transport sédimentaire par la rivière, consécutive au captage de l'eau, entraîne un exhaussement marqué du lit, en particulier entre Pramousse et Satarma (LANE & *al.* 2014). Dans le secteur des Haudères, l'histoire holocène des phases de dépôt et d'érosion fluviale se matérialise aujourd'hui par plusieurs niveaux de terrasses bien marqués (**Fig. 2p**).

CONCLUSION

La cartographie géomorphologique constitue un outil important de l'analyse géomorphologique d'un territoire. Elle consiste à répertorier l'ensemble des formes du relief et offre ainsi une base pour la reconstitution de la morphogenèse régionale. La carte géomorphologique du Val d'Hérens, publiée en annexe à cet article, constitue ainsi une importante source documentaire. Elle met en évidence les zones d'érosion et d'accumulation et les formes du relief découlant des processus actifs, actuellement et par le passé, dans la vallée. Ce sont principalement les processus glaciaires, périglaciaires, gravitaires et fluviaux qui ont façonné la vallée. Aujourd'hui, les formes héritées dominent les portions basses et médianes, alors que les processus sont toujours très actifs dans les portions hautes. Cette carte offre ainsi une vue complète de la diversité géomorphologique du Val d'Hérens. Elle peut être utilisée comme base pour des études paléogéographiques, pour l'établissement de budgets sédimentaires ou de cartes de dangers, pour des inventaires du patrimoine géomorphologique ou encore pour le développement d'activités touristiques.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été soutenu par le Canton du Valais (Service des forêts et du paysage, section Dangers naturels, resp. Charly Wuilloud). Nous remercions Philippe Schoeneich, Simon Martin, David Theler et Ramon Pellitero Ondicol pour les discussions fructueuses concernant la mise en œuvre de la cartographie géomorphologique dans un environnement SIG. Merci également à Sylvain Coutterand pour son expertise au sujet des fluctuations glaciaires dans la vallée.

BIBLIOGRAPHIE

- BARBOUX, C., R. DELALOYE & C. LAMBIEL 2014. Inventorying slope movements in Alpine environment using DInSAR. *Earth Surface Processes and Landforms*. DOI: 10.1002/esp.3603.
- BEZINGE, A & P. KUNZ 2002. Glaciers de Ferpècle et du Mont Miné: historique et phénomènes récents. *Bull. Murithienne* 119/2001: 47-54.
- BOSSON, J.-B. & C. LAMBIEL 2015. Internal structure and current evolution of small debris-covered glacier systems located in alpine permafrost environments. *Journal of Glaciology*. Accepté.
- CURRY, A.M., V. CLEASBY & P. ZUKOWSKYJ 2006. Paraglacial response of steep, sediment-mantled slopes to post-'Little Ice Age' glacier recession in the central Swiss Alps. *J. Quaternary Sci.* 21: 211-225. ISSN 0267-8179. DOI: 10.1002/jqs.954
- DELALOYE, R. & C. LAMBIEL 2005. Evidences of winter ascending air circulation in talus slopes situated near the lower limit of alpine discontinuous permafrost (Swiss Alps). *Norsk geog. Tidsskr.* 59: 194-203. DOI: 10.1080/00291950510020673
- GARDAZ, J.-M. 1997. Distribution of mountain permafrost, Fontanesses Basin, Valaisian Alps, Switzerland. *Permafrost and Periglacial Processes* 8: 101-105. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1530(199701)8:1<101:AID-PPP241>3.0.CO;2-X
- JOERIN, U.E., T.F. STOCKER & C. SCHLÜCHTER 2006. Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. *The Holocene* 16: 697-704. DOI: 10.1191/0959683606h1964rp
- KUMMERT, M. 2012. *Cartographie géomorphologique de la dynamique sédimentaire et torrentielle de haute montagne. Le cas du bassin-versant des Aiguilles Rouges d'Arolla*. Université de Lausanne, Mémoire de master en géographie.
- LAMBIEL, C. 2006. *Le pergélisol dans les terrains sédimentaires à forte déclivité: distribution, régime thermique et instabilités*. Thèse de doctorat, Université de Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches 33, 260 p.
- LAMBIEL, C. & K. PIERACCI 2008. Permafrost distribution in talus slopes located within the alpine periglacial belt (Swiss Alps). *Permafrost and Periglacial Processes* 19: 293-304. DOI: 10.1002/ppp.624
- LAMBIEL, C., E. REYNARD, G. CHESEAUX & R. LUGON 2005. Distribution du pergélisol dans un versant instable, le cas de Tsarmine (Arolla, VS), *Bull. Murithienne* 122/2004: 89-102.
- LAMBIEL, C., B. MAILLARD, M. KUMMERT & E. REYNARD 2015. Geomorphology of the Hérens valley (Swiss Alps). *Journal of Maps*. Doi: 0.1080/17445647.2014.999135
- LANE, S.N., K.S. RICHARDS & J.H. CHANDLER 1996. Discharge and sediment supply controls on erosion and deposition in a dynamic alluvial channel. *Geomorphology* 15,1: 1-15.
- LANE, S.N., M. BAKKER, D. BALIN, B. LOVIS & B. REGAMEY 2014. Climate and human forcing of Alpine river flow. In : A. J. Schleiss, G. de Cesare, M. J. Franca, & M. Pfister (eds.), *River Flow 2014*. London, Taylor & Francis, 7-15.
- MAILLARD, B., D. THELER & E. REYNARD 2013a. Typology of the torrential systems in the Hérens valley (Valais, Switzerland), a river-management support. In: Arnaud-Fassetta G., Masson E., Reynard E. (eds). *European continental hydrosystems under changing water policy*. München, Pfeil Verlag, 293-303.
- MAILLARD, B., D. THELER & E. REYNARD 2013b. Géomorphologie des systèmes torrentiels du val d'Hérens (Valais, Suisse). Essai de typologie. In: Graf C. (ed.). *Mattertal - ein Tal in Bewegung*. Publikation zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft 29. Juni-1. Juli 2011, St. Niklaus. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 63-73.
- MAIR, D., P. NIENOW, I. WILLIS & M. SHARP 2001. Spatial patterns of glacier motion during a high-velocity event: Haut Glacier d'Arolla, Switzerland. *Journal of Glaciology* 47(156): 9-20.
- MICHELETTI N., C. LAMBIEL & S.N. LANE 2015. Investigating

- decadal scale geomorphic dynamics in an Alpine mountain setting. *Journal of Geophysical Research*. Soumis.
- ONDICOL, R.P. 2009. Application of an alpine geomorphological mapping system to an atlantic mountain environment: The Curavacas Massif (Cantabrian Range, Northwest Spain). *Journal of Maps*. 194-205. DOI: 10.4113/jom.2009.1065
- REYNARD, E., C. LAMBIEL & S.N. LANE 2012a. Climate change and integrated analysis of mountain geomorphological systems. *Geographica Helvetica* 67(1-2):5-14.
- REYNARD, E., J.-P. BERGER, M. CONSTANDACHE, M. FELBER, L. GRANGIER, P. HÄUSELMANN, P.-Y. JEANNIN & S. MARTIN 2012b. *Révision de l'inventaire des géotopes suisses: rapport final*. Lausanne: Groupe de travail pour les géotopes en Suisse.
- SCAPOZZA, C. 2013. *Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnements des terrains sédimentaires meubles à forte déclivité du domaine périglaciaire alpin* (Géovisions n°40). Lausanne: Université, Institut de géographie et durabilité. 551 p.
- SCAPOZZA, C., C. LAMBIEL, L. BARON, L. MARESCOT & E. REYNARD 2011. Internal structure and permafrost distribution in two alpine periglacial talus slopes, Valais, Swiss Alps. *Geomorphology* 132:208-221. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.05.010
- SCHNEEBELI, W. & F. RÖTHLISBERGER 1976. 8000 Jahre Gletschergeschichte im Wallis. *Die Alpen (SAC)* 52 (3/4): 5-134.
- SCHOENEICH, P. 1993. Comparaison des systèmes de légendes français, allemand et Suisse - Principes de la légende IGUL. In: Schoeneich, P. & E. Reynard (eds). *Cartographie géomorphologique, cartographie des risques*. Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches 9: 15-24.
- SCHOENEICH, P. 1998. *Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Étivaz (Préalpes vaudoises)*. Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches 14, 483 p.
- SCHOENEICH, P., E. REYNARD & G. PIERREHUMBERT 1998. Geomorphological mapping in the Swiss Alps and Prealps. In: Kriz, K. (eds). *Hochgebirgskartographie Silvretta '98*. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie 11: 145-153.
- SHARP, M., K. RICHARDS, I. WILLIS, N. ARNOLD, P. NIENOW, W. LAWSON & J.-L. TISON 1993. Geometry, bed topography and drainage system structure of the Haut Glacier d'Arolla, Switzerland. *Earth surface Process and landforms* 18:557-571.
- SMALL, R.J. 1973. Braiding terraces in the Val d'Herens, Switzerland. *Geography* 58: 129-135.
- STECK, A., J.L. EPARD, A. ESCHER, Y. GOUFFON & H. MASSON 2001. *Carte tectonique des Alpes de Suisse occidentale. Notice explicative*. Office fédéral des eaux et de la géologie. Carte géologique spéciale n° 123.
- WARBURTON, J. 1990. *An alpine proglacial fluvial sediment budget*. Geografiska Annaler. Series A 72, 3/4: 261-272.
- WILLIS, I., D. MAIR, B. HUBBARD, P. NIENOW, U. FISCHER & A. HUBBARD 2003. Seasonal variations in ice deformation and basal motion across the tongue of Haut Glacier d'Arolla, Switzerland. *Annals of Glaciology* 36: 157-167.
- WINISTÖRFER, J. 1978. Paléogéographie des stades glaciaires des vallées de la rive gauche du Rhône entre Viège et Aproz. *Bull. Murithienne* 94/1977:3-65.