

Zinal: histoire naturelle et présence humaine

Zinal: Natural history and human presence

<http://www.erlebnis-geologie.ch/geoevent/zinal-histoire-naturelle-et-presence-humaine>

Walter Wildi

2018

Département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève
Privé: 23, ch. des Marais, CH-1218 Le Grand Saconnex, walter.wildi@unige.ch, 079 310 0039



Zinal: histoire naturelle et présence humaine

Walter Wildi*
2018

Zinal: Natural history and human presence

*Walter Wildi**
2018

Table des matières

Résumé

1. Préface
2. Le contexte géologique de la vallée
3. Histoire géologique ancienne
4. Creusement de la vallée et sculpture des paysages
5. Changements climatiques et glaciations
6. Les mécanismes de l'érosion glaciaire
7. Les glaciers du Val d'Anniviers
8. Les premiers habitants et le développement du village de Zinal
9. Avalanches, laves torrentielles et la vie d'un village de montagne
10. Excursion: de Zinal au refuge du Petit-Mountet

Références

Petit glossaire de géologie

Content

Abstract

1. *Preface*
2. *The geological context of the valley*
3. *Geological history*
4. *Erosion of the valley and modelling of the landscape*
5. *Climate change and glaciations*
6. *The processes of glacial erosion*
7. *Glaciers of the Val d'Anniviers*
8. *The first inhabitants and the development of the village of Zinal*
9. *Avalanches, mud flows and the life of a mountain village*
10. *Field trip from the village of Zinal to the Petit-Mountet mountain refuge*

Bibliography

A short glossary of geology

* Département F.A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève
Privé: 23, ch. des Marais, CH-1218 Le Grand Saconnex, walter.wildi@unige.ch, 079 310 0039

<http://www.erlebnis-geologie.ch/geoevent/zinal-histoire-naturelle-et-presence-humaine>

Résumé

Localisé à 1675 m d'altitude, Zinal est un des villages les plus élevés du Val d'Anniviers, une vallée latérale située au sud du Valais Central.

Le Val d'Anniviers a été creusé dans l'empilement des nappes tectoniques du bâti alpin. Ces nappes correspondent à des unités de roches de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres d'épaisseur qui ont été décollées pendant le plissement alpin de leur ancien substrat, puis empilées les unes sur les autres et souvent replissées ensemble. Trois anciennes régions géographiques, soit la marge nord du continent africain, la Mer alpine et la marge sud de l'Europe, se trouvent ainsi «ramassées» et superposées dans un empilement vertical de nappes tectoniques.

Au cours du Pléistocène, depuis un peu plus de 2 Mio d'années, quatre glaciations majeures, un certain nombre de fluctuations plus faibles des glaciers et autant de périodes interglaciaires plus courtes ont passé sur les massifs alpins. Ces glaciations sont responsables du creusement de la vallée et, ensemble avec la gélifraction, l'action des rivières et les processus gravitaires, de la sculpture du paysage alpin.

Les maisons les plus anciennes du vieux village de Zinal datent probablement du 18^{ème} siècle. Mais d'autres maisons d'habitation et des granges ont pu exister auparavant. Dès environs 1850, le village touristique et de montagnards se développe d'abord lentement en tant que station d'été, puis, à la fin du 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle de façon plus rapide, avec la construction des hôtels. Zinal n'est devenu station d'hiver qu'en 1961, avec la construction de remontées mécaniques.

Avalanches parties sur les versants glissants de part et d'autre de la vallée et laves torrentielles déclenchées dans les zones de permafrost en fusion, loin au-dessus du village, menacent en fonction de la saison et de la météorologie l'image idyllique des chalets dispersés au pied de la pente. En plus, les changements climatiques en cours nous font sentir que la présence humaine n'est possible ici qu'au prix d'un effort de surveillance et de sécurisation permanent.

Abstract

Located at an altitude of 1,675 m, Zinal is one of the highest villages of Val d'Anniviers, a lateral valley in the south-central part of Valais.

Val d'Anniviers was dug in a stack of tectonic thrust sheets of the Alps. These so called "nappes" correspond to rock units, ranging from a few hundred meters to a few kilometres thickness, which were detached from their substrate during the Alpine folding. The units then piled up and often folded together. Three ancient geographical regions, namely, the northern margin of the African continent, the Alpine Sea and the southern margin of Europe, meet there and are currently superimposed in a vertical stack of tectonic units.

During the last 2 Mio years of Earth history, the period called Pleistocene, four major glaciations, several minor variations of the glaciers, and an equal number of interglacial periods occurred. In conjunction with freezing/unfreezing, fluvial- and gravitation-driven processes, these glaciations are responsible for the erosion of the valley and the modelling of the alpine landscape.

The oldest houses of the traditional village of Zinal were probably built during the 18th century; however, older huts and barns may have existed before. Tourism and activities linked to mountain climbing and exploration of the surrounding high mountains began gradually, during the summer seasons, around 1850. This development increased at the end of the 19th and the beginning of the 20th century, with the construction of several hotels. Zinal became a site for winter sports in 1961, with the construction of cable cars and other devices.

Depending on the season and the climate, the idyllic landscape is threatened by avalanches on the steep slopes on both sides of the valley, and by mudflows in the areas of melting permafrost, far above the village. In addition, the current climate changes make us realise that human presence here is only possible at the cost of permanent monitoring and safety measures.

1. Préface

En montant le Val d'Anniviers, situé au sud du Valais Central, Zinal est le dernier village de la vallée, à 1675 m d'altitude. C'est depuis ici que les alpinistes partent en été à l'assaut de cinq sommets alpins de plus de 4'000 m: Bishorn, Weisshorn, Zinalrothorn, Obergabelhorn, Dent Blanche.

Village ou hameau? Le nombre d'habitants vivant dans le village à l'année se situe autour de 260, le nombre de lits est d'environ 4'000. Dans les faits, la nature a réservé dans ces lieux une petite place sûre pour un hameau, mais la vallée est belle et elle attire, hiver comme été, de nombreux visiteurs. En conséquence, le village se construit et s'agrandit. Situation durable ou situation temporaire? La question est justifiée: Avalanches parties sur les versants glissants de part et d'autre de la vallée et laves torrentielles déclenchées dans les zones de permafrost en fusion, loin au-dessus du village, menacent en fonction de la saison et de la météorologie l'image idyllique des chalets dispersés au pied de la pente. En plus, les changements climatiques en cours nous font sentir que la présence humaine n'est possible ici qu'au prix d'un effort de surveillance et de sécurisation permanent.

La présence humaine à Zinal fait partie de l'histoire récente de la vallée, celle du dernier siècle. Mais d'autres événements de l'histoire, cette-fois-ci de l'histoire naturelle de la vallée, se sont passés à une échelle temps identique, celle des siècles, ou même des décennies. C'était notamment le cas du Petit Âge glaciaire, cette période de détérioration climatique qui a démarré vers la fin du 16^{ème} siècle et qui était à l'origine d'une avancée très remarquable des glaciers. C'est autour de 1850 que cette période s'est terminée et que les conditions climatiques ont commencé à s'améliorer. Mais le niveau de retrait des glaciers observé au cours du Moyen—Âge (les Alpes avaient alors perdu une grande partie de leur couverture de glace) n'est pas encore atteint actuellement, malgré le réchauffement en cours.

1. Preface

Visitors to Val d'Anniviers, a lateral, southern valley branching of the central part of the Valais, will discover Zinal as the highest village of the valley at an altitude of 1,675 m. It is from this place that mountaineers leave in summer to climb five alpine peaks of more than 4,000 m: Bishorn, Weisshorn, Zinalrothorn, Obergabelhorn, and Dent Blanche.

Is it a village or a hamlet? The number of inhabitants living in the village the whole year is around 260, and the number of beds is about 4,000. In fact, nature has left a safe place for a hamlet. However, the valley is beautiful and attracts many visitors during the winter and summer season. As a result, the village is growing. Is it a sustainable or temporary situation? The question is justified, as depending on the season and the climate, avalanches on the slippery slopes on both sides of the valley and mudflows in the areas of melting permafrost, far above the village, threaten the idyllic picture of the landscape. In addition, the current climate changes make us feel that human presence here is only possible at the cost of an effort of monitoring and security measures.

Human presence in Zinal is part of the recent history of the valley, i.e., the last 100 years. But other historical events, mainly concerning the natural history of the valley, have occurred during the same time scale, the one of centuries, or even decades. This was particularly true during the Little Ice Age, the period of climatic deterioration that began in the late 16th century and caused a considerable advance of glaciers. It was around 1850 that this period came to an end and climatic conditions began to improve. But the level of retreat of the glaciers observed during the Middle Ages (the Alps had lost a large part of their ice cover) has not yet been achieved, despite the current climate change.

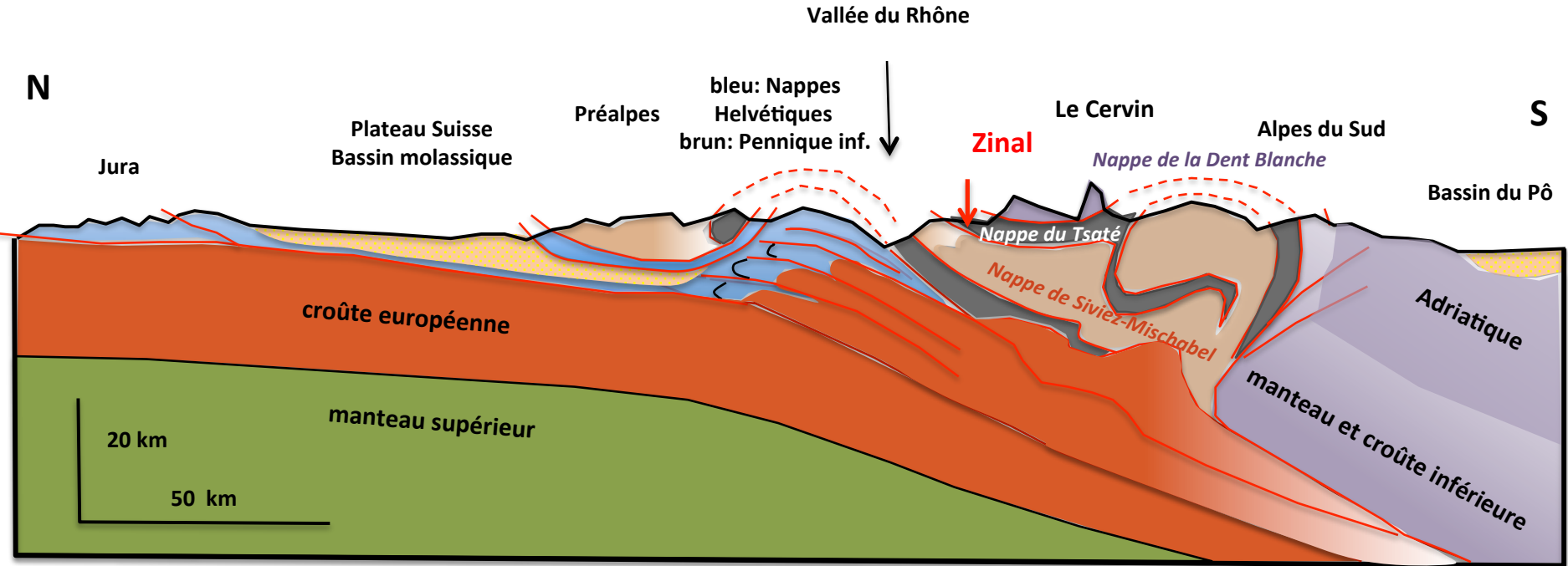


Figure 1: coupe géologique fortement simplifiée du bâti alpin, du Jura à la Plaine du Pô, en passant par la région de Zinal. Les unités géologiques et leur provenance sont identiques à celles des figures 3 et 4 (inspiré de <http://cirquedebarrasa.free.fr/formpyr1.htm>).
Figure 1: Geological cross-section from the Jura mountains to the Po Plain crossing the Zinal area. Major geological units are the same as those in Figs. 3 and 4 (modified after <http://cirquedebarrasa.free.fr/formpyr1.htm>).

A Zinal, les échelles temporelles, humaine et naturelle, et plus particulièrement géologique se rejoignent. Un endroit idéal pour réfléchir à notre place dans l’histoire.

2. Le contexte géologique de la vallée

Le Val d’Anniviers est creusé dans l’empilement des nappes tectoniques du bâti alpin. Ces nappes correspondent à des unités de roches de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres d’épaisseur qui ont été décollées pendant le plissement alpin de leur ancien substrat, puis empilées les unes sur les autres et souvent replissées ensemble (figure 1). Cette histoire se situe dans le cadre de la tectonique des plaques, et notamment de l’ouverture de la Mer

At Zinal, the time scales, human and natural, and more particularly geological, meet at the same site; a great place, therefore, to reflect upon our role in history.

2. The geological context of the valley

Val d’Anniviers was dug in a stack of tectonic thrust sheets of the Alps. These so called “nappes” correspond to rock units, ranging from a few hundred meters to a few kilometres, which were detached during the Alpine folding from their substrate. The units then piled up and often folded together (Figure 1). This event happened in the context of plate tectonics, including the opening of the Alpine Sea inside the supercontinent “Pangea” (Africa and Eurasia),

alpine à l'intérieur du supercontinent «Pangée», réunissant Afrique et Eurasie, à partir de la période du Trias, il y a 250 Mio d'années, puis de sa re-fermeture et la collision entre les deux continents dès la période du Crétacé, il y a 120 Mio d'années. Dans la vallée de Zinal, la partie sommitale de cet empilement de nappes peut être observée sur les versants des montagnes.

En passant en revue l'empilement de nappes alpines, on constate que le «désordre» règne dans le transect géologique de Zinal (figure 1): Des roches parmi les plus anciennes se trouvent dans les unités les plus hautes qui forment les sommets des 4'000 m. Ce sont des roches qui appartenaient à l'origine à la plaque africaine, et qui se trouvent aujourd'hui dans la **Nappe de la Dent Blanche**. Elles surmontent les formations géologiques plus jeunes de la **Nappe du Tsaté**, d'origine sédimentaire et volcanique, témoin de l'ancien océan alpin puis, au fond de la vallée, d'une unité géologique appartenant à un ancien haut-fond au sein de la Mer alpine issu de la marge continentale européenne, la **Nappe de Siviez-Mischabel** («Briançonnais» de la fig. 4). Les soubassements rocheux de trois anciennes régions géographiques juxtaposées latéralement, soit la marge nord de la plaque africaine, la Mer alpine et la marge sud de l'Europe, se retrouvent ainsi «pelées» et superposées dans un empilement de nappes tectoniques.

3. Histoire géologique ancienne

L'histoire de la formation des roches qui apparaissent au sud du Val d'Anniviers comprend deux **cycles géologiques**. Par ce terme on désigne l'ouverture d'une mer au sein d'un continent, puis sa re-fermeture par subduction et collision entre les continents, provoquant la formation d'une chaîne de montagnes (un «orogène») le long de la suture de fermeture.

Le premier cycle qui se trouve documenté dans la vallée est le cycle «hercynien». Il s'est produit au cours de la période du Paléozoïque, entre env. 400 et 250 Mio d'années et est connu dans la géologie de toute l'Europe par l'ouverture et la fermeture de bassins marins et

which had started during the period of the Triassic 250 million years ago; the following re-closure of the sea caused the collision between the two continents of Africa and Eurasia, which was initiated during the Cretaceous period 120 million years ago. In the Zinal valley, the summit of the alpine nappe pile can be observed on the slopes of the mountains.

While reviewing the stack of alpine nappes, we find that some chronological “disorder” reigns in the Zinal geological transect (Figure 1): Some of the oldest rocks are found in the uppermost units that form the 4,000 m summits. These rocks, which originally belonged to the African continent, now constitute the Dent Blanche Nappe. They surmount the younger geological formations of the Tsaté Nappe, of sedimentary and volcanic origin, testimony of the former Alpine Ocean. Then, at the bottom of the Naviscence river valley, a geological unit belonging to an old shoal within the Alpine Sea, which was derived from the European continental margin, the Siviez-Mischabel Nappe (“Briançonnais” in Fig. 4). Three former geographical regions, namely, the northern margin of the African plate, the Alpine Sea and the southern margin of Europe, are thus united and superimposed on a vertical stack of tectonic units.

3. Geological history

*The history of the different rock formations that appear in the southern part of the Val d'Anniviers represents two **geological cycles**. By this term we mean the opening of a seaway within a continent, and then its re-closure by subduction and collision between neighbouring continents, generating the formation of a mountain range (an “orogen”) along the closure suture.*

***The first cycle documented in the valley is the Hercynian cycle.** It occurred during the Palaeozoic period, between approximately 400 and 250 million years, and is known in European geology as “the opening and closing of sea basins and the formation of mountain*

la formation de chaînes de montagne. Pendant cette période du Paléozoïque apparaissent les premières forêts, formées notamment d'énormes prèles, de fougères et autres espèces anciennes (figure 2). Une grande partie de l'Europe, de l'Ibérie à travers la France, puis l'Allemagne, est formée d'un socle continental de roches cristallines, gneiss et granites, issues ou recyclées au cours de ce cycle orogénique. Les couches géologiques de surface, avant tout les sédiments, ont été érodées pour la plupart avant la fin du Paléozoïque.

Dans le paysage de Zinal, les formations géologiques datant du cycle hercynien se trouvent aussi bien au top du bâti des nappes, qu'à sa base:

- Les roches composant la **Nappe de la Dent Blanche** et ses sommets de plus de 4000 m sont essentiellement des roches continentales issues du cycle hercynien. La formation la plus répandue est connue sous le nom de «Série d'Arolla». Le «Lexique stratigraphique suisse» la décrit comme suit (www.strati.ch): «Gneiss divers, le plus souvent très feuilletés, quartziques, verdâtres, en tous points identiques aux sédiments permien décrits dans le Pennique. Des niveaux charbonneux renforcent encore l'hypothèse d'un âge Primaire supérieur pour ces gneiss.

ranges". During the Palaeozoic era of Earth history, the first forests, comprising huge equisetum, ferns and other ancient plant species, appeared (Figure 2). A large part of Europe, from Iberia through France to Germany, is formed of continental crust units of crystalline rocks, gneisses and granites, generated or recycled during this orogenic cycle. The surface geological layers, primarily sediments, were mostly eroded before the end of the Palaeozoic.

In the landscape of Zinal, the geological formations dating from the Hercynian cycle are found at the top of the nappe pile as well as at its base:

- *Rock formations of the **Dent Blanche Nappe** and its mountain tops of more than 4,000 m date back mainly to the hercynian orogenic cycle. The most widespread geological formation is known as the "Arolla Série". The Stratigraphic Lexicon of Switzerland describes these rocks as follows (www.strati.ch): "Various gneiss rocks, mostly with a fine schistosity, quartzitic, greenish, in all points identical to Permian sediments described in the Pennique geological units." Charcoal levels further corroborate the hypothesis of a Late Palaeozoic age for these gneisses.*

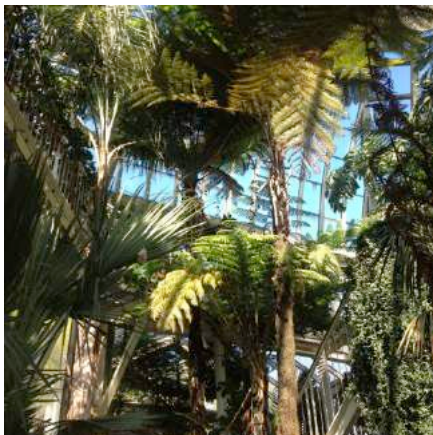


Figure 2: la flore du Paléozoïque au Conservatoire et Jardin Botanique de la Ville de Genève.

Figure 2: Inherited flora of the Palaeozoic period; Botanical Garden of the city of Geneva.

- Dans ces gneiss, il y a de grandes masses basiques, tel le Mont-Collon entièrement fait de gabbro. . . . (Burri 1994) ». Cette description concerne dans les faits un ensemble de roches cristallines, formées par l'intrusion de magmas dans la croûte terrestre profonde de ce promontoire septentrional de l'Afrique et/ou réchauffées et déformées au sein de cette croûte à plus de 20 km de profondeur. Les gneiss ont été datés à 289 +/- 2 Millions d'années (Bussy et al. 1998).
- La **Nappe de Siviez-Michabel**, en aval de Zinal, comporte une grande diversité de gneiss et de micaschistes. Ce sont tous des roches cristallines litées, ou même feuilletées, formées au cours de l'orogénèse hercynienne.

Le deuxième cycle géologique est le cycle alpin. Son début se situe autour de 250 Millions d'années, à la période géologique du Trias. A cette époque, l'Afrique et l'Europe (respectivement l'Eurasie, figure 3), forment ensemble, en compagnie de l'Antarctique, de l'Inde, de l'Australie et de l'Amérique un seul et unique supercontinent, appelé Pangea. En Europe Centrale le climat est sec et chaud, le plus souvent désertique. Dans le Val d'Anniviers cette période est représentée d'une part par les quartzites de la **Nappe de Siviez-Mischabel** que l'on rencontre par exemple sur la rive gauche de la

- Huge volumes of basic rocks, such as the Mont Collon mountain peak entirely consist of gabbro (Burri 1994). This description concerns, in fact, a set of crystalline rocks formed by the intrusion of magmas in the deep continental crust of this northern promontory of Africa, and / or reheated and deformed within this crust at more than 20 km depth. The gneisses have been dated at 289 +/- 2 Mio years by Bussy et al. (1998).
- The **Siviez-Michabel Nappe**, just below the village of Zinal, is composed of a variety of gneiss and micaschists. All these rocks are finely bedded and were formed during the hercynian orogenic cycle.

The second orogenic cycle is the alpine cycle. This cycle started about 250 Mio years ago during the geological period called Triassic. At that time, Africa and Europe (Eurasia, Figure 3) together with Antarctica, India, Australia and America formed a single supercontinent called Pangea. In Central Europe, the climate is dry and hot, mostly a desert climate. In Val d'Anniviers, this period is represented by the quartzites of the **Siviez-Mischabel Nappe** For example, on the left bank of the river Navisence, just in front of the centre of Zinal. These quartzites correspond to ancient quartz sands, which were

Trias: 250 – 200 Mio

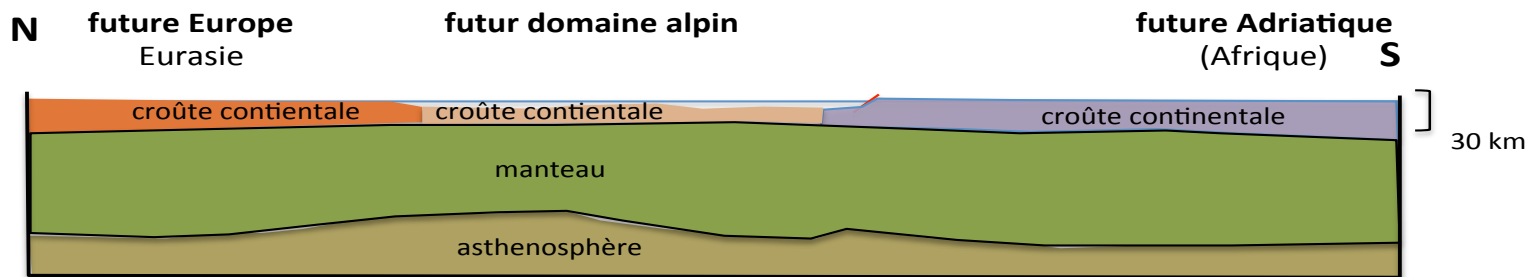


Figure 3: coupe paléogéographique nord-sud de la croûte, du manteau supérieur et de l'asthénosphère terrestre de l'Europe à travers le futur domaine de la Mer alpine et du promontoire adriatique de l'Afrique pendant la période du Trias.

Figure 3: Paleogeographic north-south cross-section of the continental crust, the upper Earth mantle and asthenosphere from Europe through the future Alpine sea up to the Adriatic, a northern promontory of Africa.

rivière Navisence, juste en face du centre de Zinal. Ces quartzites correspondent à d'anciens sables de quartz, qui ont été cimentés par la suite. Les sables se sont déposés en milieu continental, dans un climat désertique. Les visiteurs reconnaissent également les roches dolomitiques qui forment les énormes falaises par lesquelles passe la route principale entre Sierre et Vissoie. Ces dolomies marquent l'arrivée d'une mer peu profonde au cours du Trias. Les couches plus jeunes que ces dolomites ont été décollées au cours du plissement alpin et se retrouvent maintenant dans les Préalpes, au front du bâti alpin (figure 1).

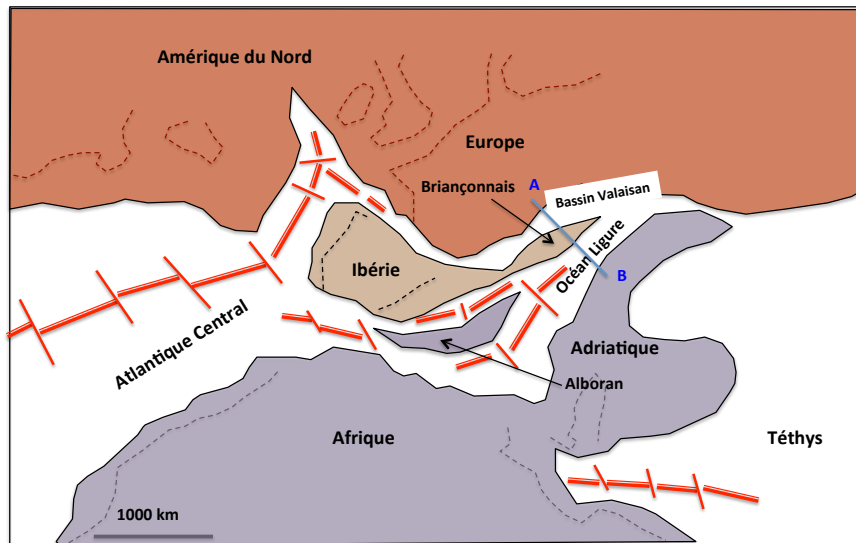


Figure 4: paléogéographie à l'époque de la formation des basaltes et sédiments océaniques de la Nappe du Tsaté dans la Mer alpine (ou Océan Ligurien; Série de la Garde de Bordon, ca.130 – 120 millions d'années). A – B: Coupe géologique de la figure 5.

Figure 4: Paleogeographical map at the time of deposition of oceanic sediments and volcanic basalts of the Tsaté Nappe, in the Ligurian Ocean, 130 – 120 million years ago (Garde de Bordon Series). A – B: geological cross-section of Figure 5.

subsequently cemented. The sands were deposited in a continental environment, in a desert climate. Visitors also remember the dolomitic rocks that form the huge cliffs through which passes the main road between Sierre and Vissoie. These dolomites mark the arrival of a shallow sea during the Triassic. The younger layers of this nappe were detached during the Alpine folding and are now found in the Prealps, at the front and in the north of the alpine ranges (Figure 1).



Figure 5: radiolarites: sédiments déposées quelques milliers de mètres sous l'eau de l'Océan Ligurien, puis emmenées en profondeur sous les Alpes (env. 10 km), et poussées vers la surface (jusqu'à env. 3000 m) par les autres unités alpines sous-charriées. (Nappe du Tsaté, Tracuit, 616°295, 107°850 et 618°460, 108°120). Photo: M. Sartori

Figure 5: Radiolarites: sediments deposited in a few thousand meters water depth of the Ligurian Ocean, then buried about 10 km under the Alps and pushed to the surface to approx. 3000 m during the alpine orogenesis. Photo: M. Sartori

Les terrains les plus caractéristiques issus de la Mer alpine appartiennent à la **Nappe du Tsaté**. La carte géologique mentionne notamment des schistes noirs, feuilletés et riches en mica («Schistes lustrés») alternant avec des barres de basaltes volcaniques métamorphosées («métabasaltes» ou «prasinites»). Dans le versant de la Garde de Bordon qui surplombe la vallée sur sa rive gauche en amont de Zinal, ce sont ces basaltes qui forment les barres rocheuses noires, presque horizontales, alors que les schistes forment les replats herbeux. Les schistes (et même des radiolarites, figure 5) et basaltes témoignent d'une mer profonde, l'Océan Ligure, avec des effusions volcaniques provenant du manteau terrestre, des phénomènes que l'on trouve actuellement dans les bassins océaniques. On pense que schistes et basaltes datent du Crétacé (env. 130 à 120 Mio d'années?), mais sans preuve formelle.

*The most characteristic rock formations of the Alpine Sea belong to the **Tsaté Nappe**. The geological map mentions, in particular, black shales, laminated and rich in mica ("Schistes lustrés") alternating with thick bedded metamorphic volcanic basalt ("metabasalts" or "prasinites"). In the Garde de Bordon hillside, on the left bank upstream from Zinal, these basalts form the black, almost horizontal rock cliffs, while the shales form the grassy beds. The schists (and even radiolarites, Figure 5) and basalts bear testimony to the existence of a deep sea, the Ligurian Ocean, with volcanic effusions from the Earth's mantle, phenomena that are currently found among inocean basins. Shale and basalt are thought to date from the Cretaceous (about 130–120 Mio year ago?) but without formal proof.*

Crétacé inférieur: env. 130 - 120 Mio

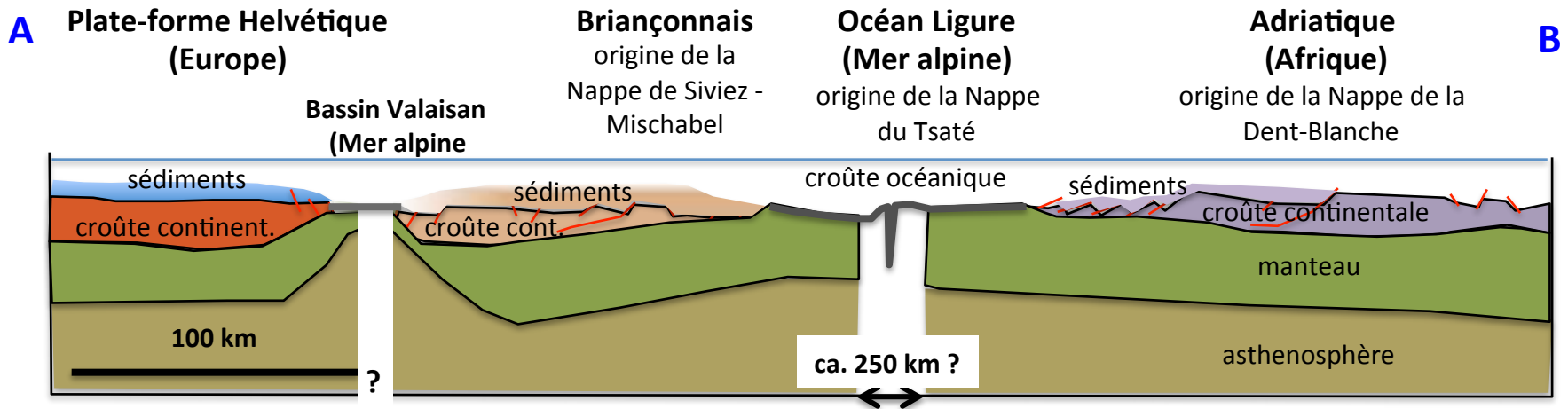


Figure 6: coupe paléogéographique Europe – Mer alpine – Afrique à l'époque de la formation des basaltes et sédiments océaniques dans l'Océan Ligure. Position A-B voir figure 4.

Figure 6: Paleogeographical section from Europe to the Alpine Sea and Northern Africa at the time of deposition of oceanic sediments and basaltic rocks in the Ligurian Ocean (for geographical localtion of section A – B, see Figure 4).

Actuellement, les roches appartenant à la Nappe du Tsaté s'altèrent rapidement et alimentent les laves torrentielles dont il sera question plus bas. C'est également sur les versants formés par ces lithologies que partent les avalanches les plus imposantes.

La figure 4 montre la carte paléogéographique à l'époque de l'océan alpin au Crétacé inférieur. La figure 6 propose une coupe géologique très simplifiée de la marge européenne à la marge africaine.

Nous ne connaissons pas de roches plus jeunes juste dans ces lieux. Mais des sédiments caractéristiques des premiers plissements et chevauchements alpins rencontrés ailleurs (des « flyschs ») indiquent que le plissement alpin pourrait bien avoir commencé il y a 120 Mio

Currently, the rocks belonging to the Tsaté Nappe are rapidly weathering and feed the debris flows that will be discussed below. It is also from the slopes, formed by these lithologies, that the largest avalanches leave.

Figure 4 shows the paleogeographic map at the time of the Lower Cretaceous Alpine Ocean. Figure 6 proposes a very simplified geological section from the southern European to the northern African continental margin.

We do not know of any younger rocks just at these places, but sediments characteristic of the first Alpine folding and thrusting encountered elsewhere (so called "Flyschs") indicate that the Alpine folding may well have begun 120 Mio years ago.

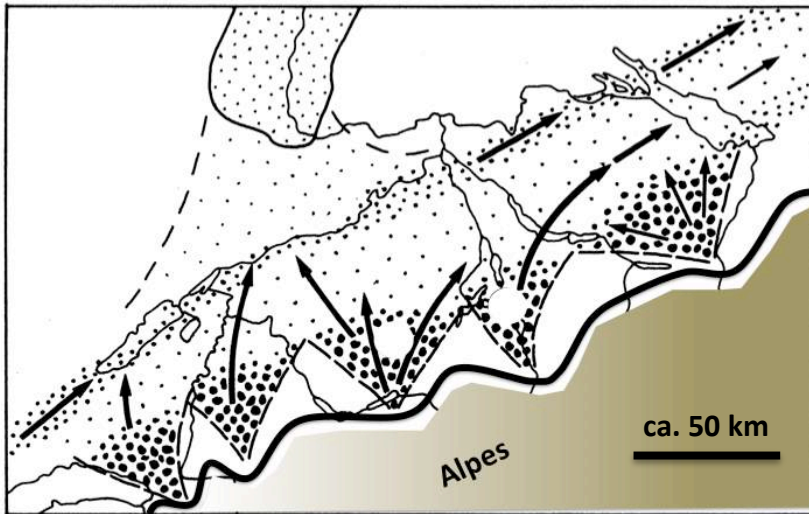


Figure 7: paléogéographie de l'avant-pays alpin à l'Oligocène supérieur (env. 30 – 27 millions d'années). Les grands cônes fluviatiles au nord du front alpin proviennent d'une chaîne de montagne qui a pu atteindre des altitudes de près de 6'000 m (modifié d'après Trümpy 1980).

Figure 7: Paleogeography of the Alpine foreland during the late Oligocene period (about 30 – 27 million years ago). The fluvial fans to the north of the Alpine ranges have their origin in high mountain areas that may have reached altitudes of almost 6,000 m (modified after Trümpy 1980).

d'années. La Mer alpine ne va toutefois pas encore disparaître à cette période, mais va se rétrécir pour disparaître à la fin de l'époque de l'Eocène ou au début de l'Oligocène, il y a environ 35 Mio d'années.

Also, the Alpine Sea does not yet disappear due to these tectonic events, but gets narrower and disappears much later, at the end of Eocene or the beginning of the Oligocene period, some 35 Mio years ago.

L'histoire de la **montée de la chaîne alpine** est longue et complexe. La présence de grands cônes fluviatiles dans la Molasse au front des Alpes (figure 7) suggèrent que des sommets de près de 6'000 m ont pu exister à cette époque.

Actuellement, la chaîne alpine se soulève toujours, avec une vitesse de l'ordre de 1 à 1.5 mm par année sur un axe longitudinal de Coire à Brig et plus loin vers l'ouest. Au sud et au nord de cet axe, le soulèvement est moins important (figure 8).

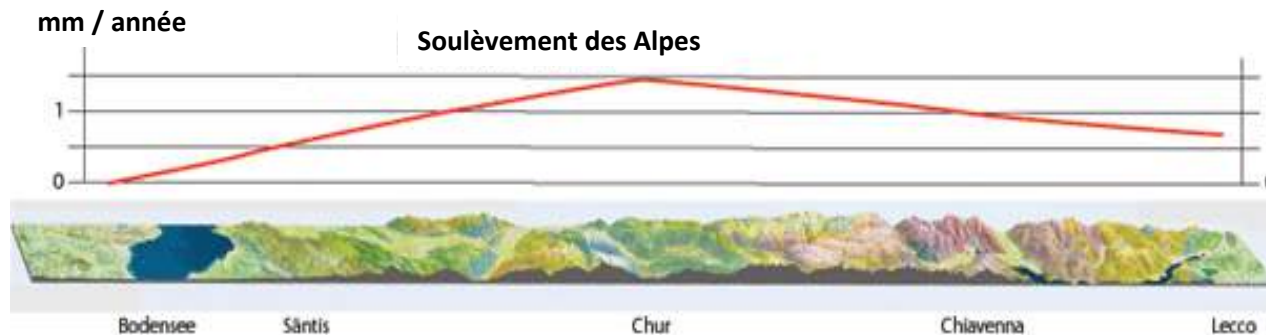


Figure 8: soulèvement des Alpes (en mm / année) le long d'un profil nord – sud dans les Grisons.

Figure 8: Uplift of the Alps (mm/year) along a north–south cross-section in Eastern Switzerland (Grisons).

Référence / reference:

<http://www.erlebnis-geologie.ch/fr/reponses/alpes/>

4. Creusement de la vallée et sculpture des paysages

Le Val d'Anniviers est une vallée impressionnante: avec le sommet le plus haut, celui du Weisshorn à 4506 m d'altitude et la rue principale de Zinal à 1675 m, la différence de niveau dépasse les 2'800 m.

Alors: comment ont été creusés ces reliefs? et: quand?

Réponse optimiste: nous connaissons plutôt bien la réponse aux deux questions. En effet, parmi tous les mécanismes connus, c'est l'érosion glaciaire qui paraît la plus plausible par rapport aux autres processus d'érosion, notamment l'érosion fluviatile. La figure 9 permet d'illustrer ce propos:

4. Erosion of the valley and modelling of the landscape

Val d'Anniviers is a majestic valley with its highest peak being that of Weisshorn at 4,506 m altitude and the main street of Zinal at 1,675 m. The difference in altitude exceeds 2,800 m.

So how were these morphologies dug and when?

An optimistic answer would be that we know the answer to the two questions quite well. Indeed, among all the known mechanisms, glacial erosion seems to be the most plausible explanation compared to other erosion processes, notably fluvial erosion. Figure 9 illustrates this point:



Figure 9: processus d'érosion des versants du Besso, dans la vallée du Glacier de Zinal:

- la partie sommitale du Besso est ruiniforme, avec une crête aigüe et de nombreuses fractures apparentes (figure 9a, ligne blanche). C'est la gélifraction, c'est à dire le gel et le dégel qui font éclater la roche et provoquent des chutes de pierres et des écroulements de falaises;
- en descendant la pente, on observe des reliefs rocheux bien arrondis, souvent partiellement recouverts de matériel morainique (figure 9a, lignes jaunes). Il s'agit des reliefs polis à l'occasion des glaciations (poli glaciaire) dont le dernier maximum date de 20'000 ans;
- enfin, en dessous de la ligne bleue, le relief est recouvert de moraines du Petit Age Glaciaire (env. 1590 à 1850 AD);
- l'ancienne gorge glaciaire, creusé par le torrent glaciaire, existait certainement déjà au cours de la dernière glaciation;
- actuellement encore, les torrents glaciaires transportent le matériel minéral fin érodé par le glissement du glacier (figure 9b: le «lait glaciaire» de la Navissance à Zinal).

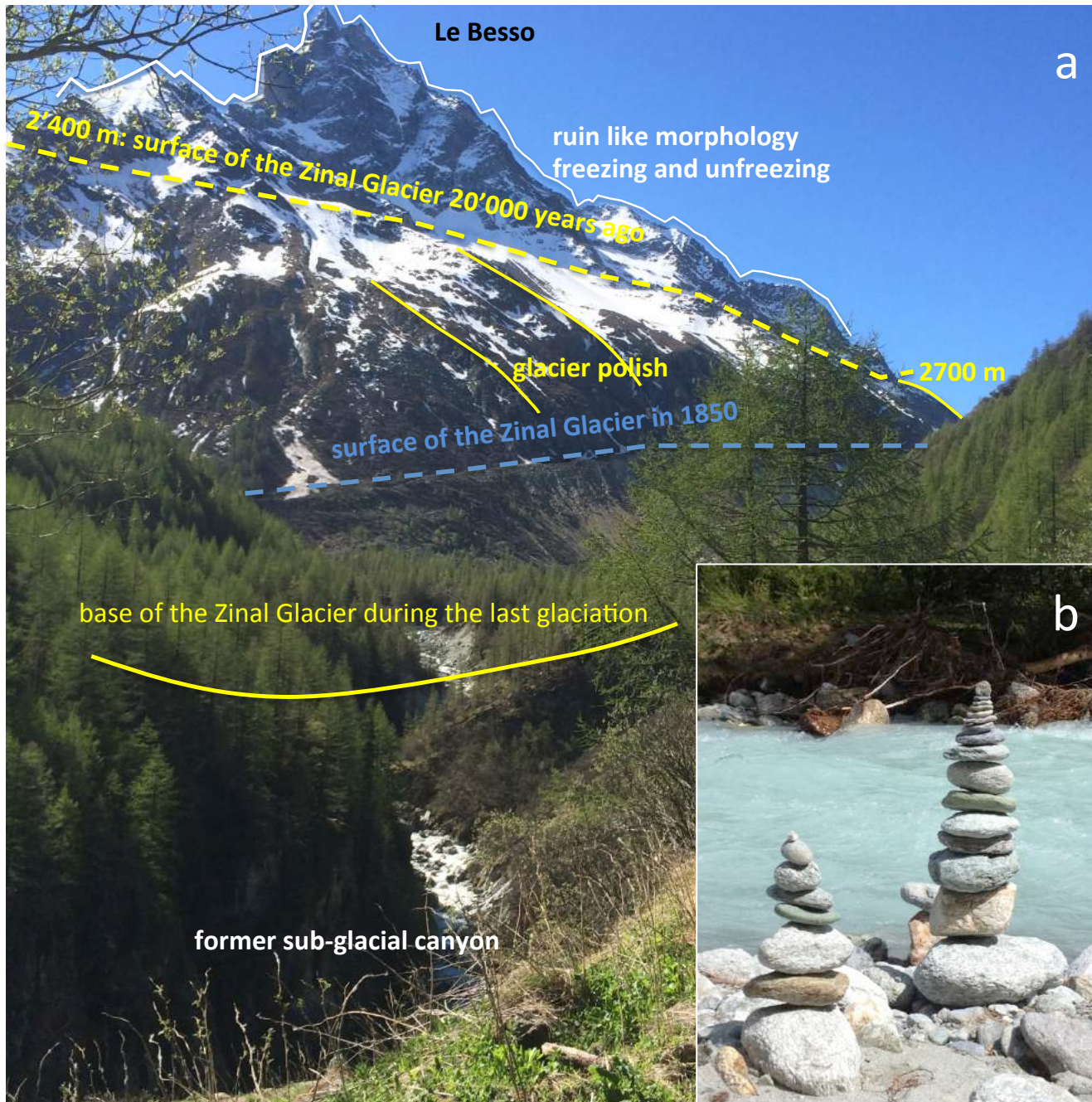


Figure 9: Erosion processes on the slopes of the Besso mountain, in the valley of the Zinal Glacier:

- The top of the Besso mountain has a ruin-like morphology, with a sharp crest and numerous fractures (Figure 9a, white line). It is freezing and unfreezing that are responsible for the bursting of rocks and therefore for rock falls and the crumbling of the cliffs.
- Glacier polish with rounded morphologies characterizes the slope between the yellow and the blue glacier surfaces in Figure 9. This polish stems from the last glaciation. The upper yellow line shows the last glacial maximum, 20'000 years ago.
- The blue sub-horizontal line indicates the maximum extension of the Zinal Glacier during the Little Ice Age (1590 to 1850 AD). Below this line, the landscape is covered by tills formed during this short cold period.
- The sub-glacial canyon certainly stems from the last glaciation.
- Glaciers currently still produce fine sand and silt by abrasion due to friction of the ice mass on the rock surfaces. This fine material is then transported by the glacial stream as "glacier milk" (Figure 9b: glacier milk of the Navisence River).

La morphologie dominante sur les versants est bien celle créée par l'érosion glaciaire. Même de nos jours, le «lait glaciaire», formé par la suspension de débris minéraux fins dans l'eau des torrents glaciaires, emporte des quantités importantes de matériel vers la vallée. Des mesures réalisées par des étudiants dans le Val d'Hérens voisin ont montré que plus d'un ou deux millimètres d'épaisseur de roche peuvent ainsi être décapés chaque année sous les glaciers.

5. Changements climatiques et glaciations

Depuis sa formation il y a 4.543 Mia d'années, la Terre a connu un climat changeant, avec deux types de climats dominants:

- Des périodes d'un climat chaud, souvent humide, pendant lesquelles le niveau marin était plus élevé que de nos jours. Pendant ces périodes, le taux de gaz carbonique atmosphérique était élevé et les températures moyennes mondiales plusieurs °C plus élevées qu'actuellement. Ces différences de températures étaient cependant moins fortes à proximité de l'équateur que dans des latitudes plus élevées, surtout à proximité des pôles.
- Des périodes d'un climat froid, moins longues que les périodes chaudes. Pendant ces périodes, des calottes glaciaires pouvaient occuper les régions polaires et les chaînes de montagne. Le contraste de température entre les zones équatoriales et les zones de plus haute latitude était fort; le niveau global de la mer était bas, jusqu'à environ 150 m plus bas que de nos jours. Quatre de ces périodes froides, des ères glaciaires, sont bien documentées au cours de l'histoire de la Terre, soit il y a 600 Mio d'années (période géologique de la fin du Précambrien), il y a 460 à 440 Mio d'années (Ordovicien), il y a 345 à 280 Mio d'années (fin du Carbonifère au début du Permien), ainsi qu'au Pléistocène, depuis 2.6 Mio d'années jusqu'au début de l'Holocène, il y a 10'000 ans.

The dominant morphology on the slopes is due to glacial erosion. Even nowadays, the "glacier milk", formed by the suspension of fine mineral debris in the water of glacial torrents, carries important quantities of material towards the valley. Measurements carried out by students in the neighbouring Val d'Hérens have shown that more than one or two mm of rock thickness can be eroded by this process each year under the glaciers.

5. Climate change and glaciations

Since its formation 4,543 Mio years ago, the Earth experienced a changing climate, with two dominant types of climate:

- *Periods of warm, often humid, climate during which the sea level was higher than today. During these periods, the rate of atmospheric carbon dioxide was high and global average temperatures several degrees higher than at present. These differences in temperature were, however, less strong near the equator than at higher latitudes, especially near the poles.*
- *Periods of cold climate, which were shorter than the hot periods. During these periods, ice caps occupied the polar regions and mountain ranges. The temperature contrast between the equatorial zones and the zones of higher latitude was strong; the global sea level was low, with the maximum about 150 m lower than at present. Four of these cold periods, glacial eras, were well documented in Earth's history: 600 Mio years ago (late Precambrian period), 460–440 Mio years ago (Ordovician), 345–280 Mio years ago (late Carboniferous to early Permian), and during the Pleistocene, from 2.6 Mio years ago to the beginning of Holocene, 10,000 years ago.*

Pour les habitants des pays alpins et autres massifs montagneux à travers le monde, mais également ceux des pays d'Europe du Nord, du nord des Îles Britanniques, d'Amérique du Nord et du nord d'une partie de la Sibérie, l'évidence est là: ils vivent dans des paysages d'origine glaciaires, à peine remodelés depuis la fonte des glaciers, mais recouverts de la végétation luxuriante de la brève période interglaciaire qui règne actuellement.

Au cours du Pléistocène, depuis un peu plus de 2 Mio d'années, au moins quatre glaciations majeures, un certain nombre de fluctuations plus faibles des glaciers et autant de périodes interglaciaires plus courtes ont passé sur les massifs alpins. Mais, comme les glaciers d'une glaciation effacent facilement les traces de la glaciation précédente, nous observons actuellement surtout les effets et les sédiments de la dernière glaciation celle dite de Würm, puis, à proximité des glaciers actuels, les moraines du Petit Âge glaciaire, un accident climatique froid qui a eu lieu entre 1590 et 1850 AD.

Not only for people living in alpine and other mountainous areas around the world, but also in northern European, northern British Isles, North America and parts of northern Siberia, evidence is still present: They live in landscapes of glacial origin, barely remodelled since the melting of the glaciers and covered with rich vegetation of the brief interglacial period that prevails today.

During the Pleistocene, since a little over 2 Mio years, at least four major glaciations, a number of smaller glacier fluctuations, and quite a few shorter interglacial periods passed over the alpine massifs. But as the glaciers of a glaciation often erase the witness of the previous glaciations, we are now mainly observing the effects and sediments of the last glaciation, the so-called Würm; then, near the present-day glaciers, the moraines of the Little Ice Age, a cold climatic event that occurred between 1590 and 1850 AD.



Figure 10a: extension maximale des glaciers alpins pendant le dernier âge glaciaire (carte de Bini et al. 2009, copyright: swisstopo).

Figure 10b: extension maximale des glaciers du Val d'Anniviers au dernier âge glaciaire (extrait de la fig. 10a).

Figure 10a: Maximum extension of Alpine glaciers during the last glaciation (Bini et al. 2009, copyright: swisstopo).

Figure 10b: Val d'Anniviers area, zoom on Figure 10a (red circle).

L'histoire du Würm telle qu'elle ressort de différentes sources d'information, était la suivante:

- Le volume de glace était en forte croissance dès env. 122'000 ans BP (*Before Present* = avant nos jours).
- Un premier maximum fut atteint autour de 115'000 ans BP.
- Après une longue période de variations, une nouvelle période correspondant à une extension maximale des glaces fut atteinte autour de 70'000 ans BP. Elle dura jusqu'à 60'000 ans BP.
- L'histoire continuait avec une période de fluctuations rapides, mais des volumes de glace plus faibles.
- Autour de 35'000 – 30'000 ans BP commença la dernière période d'extension maximale des glaces. Elle durera jusqu'aux abords de 23'000 à 22'000 ans BP et un ultime pic il y a 20'000 ans.
- La déglaciation suivra avec des ruptures caractérisées par des arrêts et des ré-avancées limitées des langues glaciaires. Les deux ré-avancées glaciaires les plus importantes se situent autour de 16'800 et 12'000 ans.

La figure 10a montre l'extension maximale des glaciers alpins au dernier âge glaciaire, la figure 10b présente cette même extension dans le Val d'Anniviers. La ligne jaune supérieure dans la figure 9 représente cette extension maximale sur le terrain.

C'est donc pendant env. 2 Mio d'années que les glaciers ont eu le temps d'éroder les terrains du Val d'Anniviers et de creuser les vallées profondes.

The history of the Würm glaciation as it appears from different sources of information may be summarised as follows:

- *The volume of ice was growing rapidly approximately 122,000 years BP (Before Present = before our days).*
- *A first maximum was reached around 115,000 years BP.*
- *After a long period of variations, a new period corresponding to a maximum ice extension was reached around 70,000 years BP. It lasted until 60,000 years BP.*
- *The story continued with a period of rapid fluctuations, but smaller volumes of ice.*
- *Around 35,000–30'000 years BP, the last period of maximum ice extension began. It lasted until around 23,000 to 22,000 years BP, and a final peak 20,000 years BP.*
- *Deglaciation followed with ruptures characterized by limited stops and re-advances of glacial tongues. The two most important glacial re-advances happened around 16,800 and 12,000 years BP.*

Figure 10a shows the maximum extension of alpine glaciers in the last ice age, and Figure 10b shows this same extension in the Val d'Anniviers. The upper yellow line in Figure 9 represents this maximum extension in the field.

It is therefore since approximately 2 Mio years BP that the glaciers eroded the landscapes of the Val d'Anniviers and its valleys.

Figure 11: mécanismes de l'érosion glaciaire (Wildi et al. 2015a)

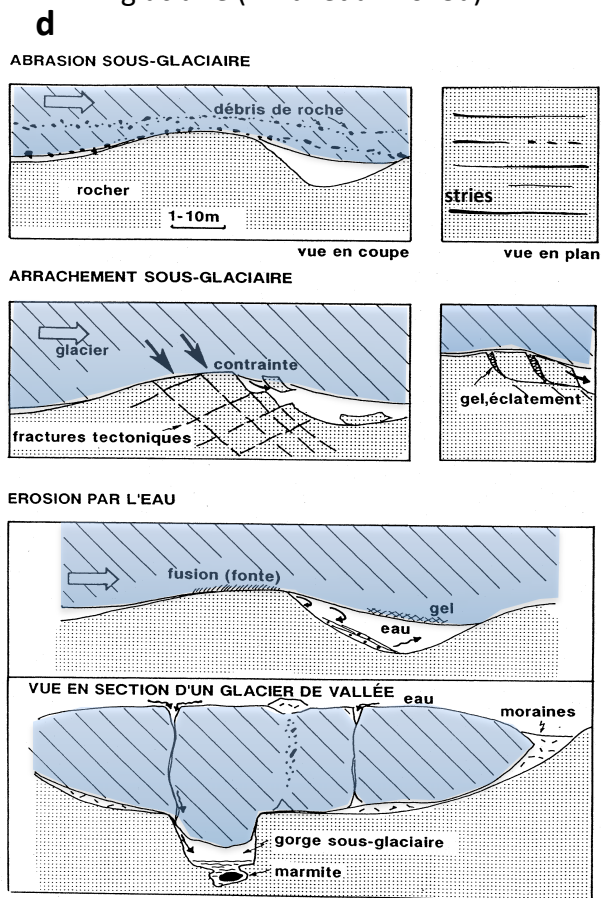
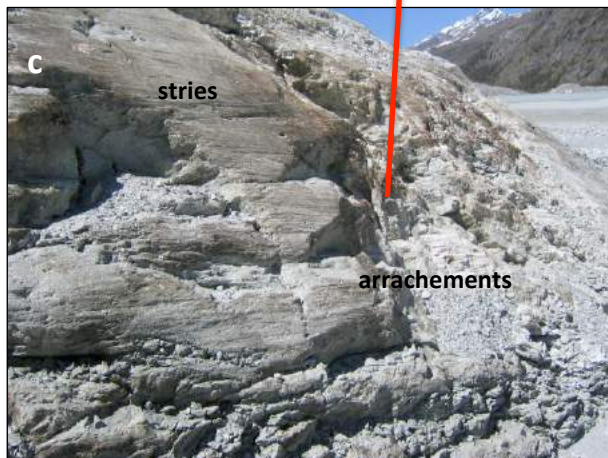
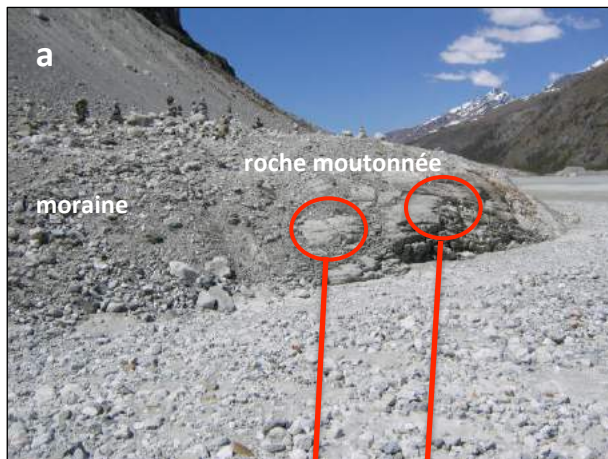


Figure a: abrasion et arrachement: roche moutonnée, Glacier du Mont Miné
Figure b: abrasion: stries glaciaires sur la droite du mouton rocheux de la fig. a
Figure c: arrachements le long des fractures
Figure d: schéma des mécanismes d'érosion glaciaire.
Figure e: roche moutonnée du Glacier de Ferpècle avec premier lichen de couleur fluo (Rhizocarpon geographicum).
Figures f et g: cavitations et marmites dans l'avant-pays du Glacier de Ferpècle créées par l'écoulement de l'eau.

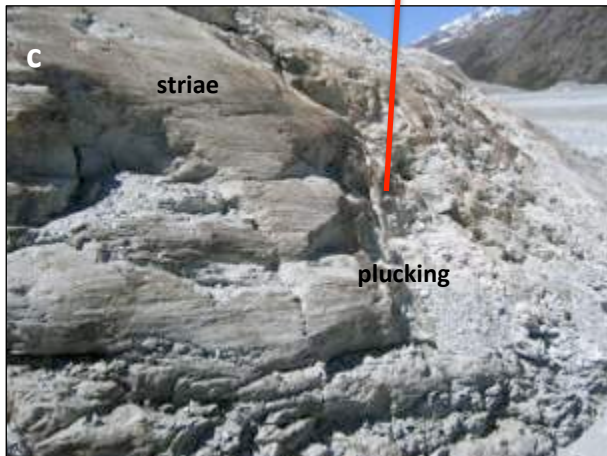
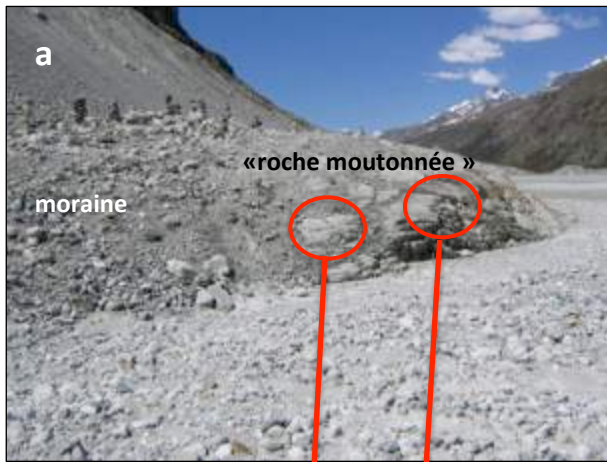


Figure 11: Processes of glacial erosion
(Wildi et al. 2015b)

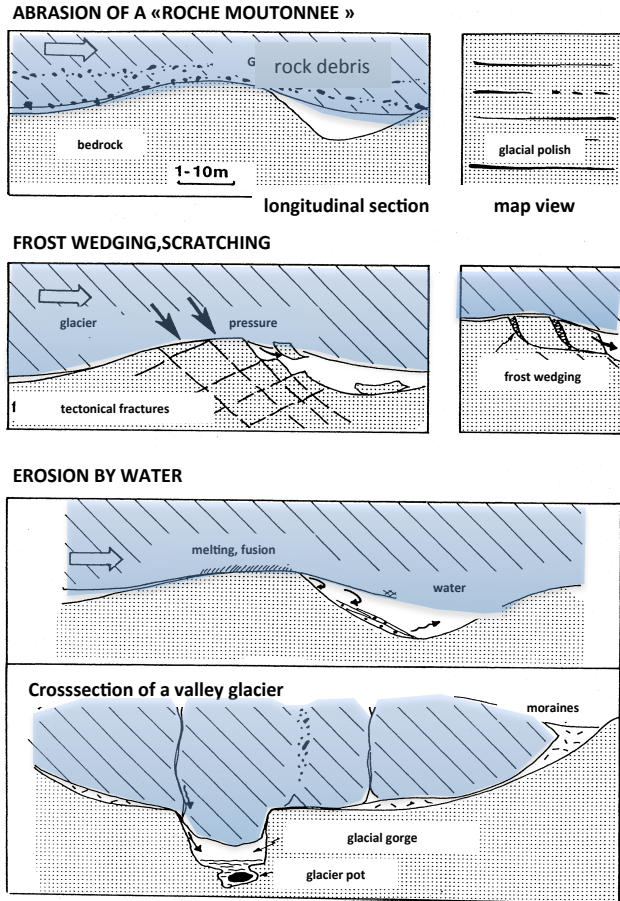


Figure a: “roche moutonnée”, Mont Miné Glacier in the neighbouring Val d’Hérens.

Figure b: glacial striae on the surface of the “roche moutonnée” Fig. a .

Figure c: rock plucking along tectonic fractures.

Figure d: diagram of glacial erosion mechanisms.

Figure e: “roche moutonnée”, fluo-colored lichen (*Rhizocarpon geographicum*) .

f and g : cavitation and glacier pots in the frontal part of the Ferpècle Glacier, created by water-flow .

6. Les mécanismes de l'érosion glaciaire

Les mécanismes de l'érosion glaciaire sont présentés dans les figures 11 a – g. Il s'agit pour l'essentiel de l'**abrasion** (usure par la friction du glacier sur son substrat, produisant du lait glaciaire), de l'**arrachement** de blocs le long de fractures de la roche et de **cavitation** par l'écoulement à haute vitesse des eaux de fonte.

Les traces typiques laissées à la surface des roches par l'abrasion sont les stries (figures 11a, b, c). Les arrachements laissent des niches à la surface de la roche (figures 11 a, b, c), tandis que l'eau circulant à grande vitesse sous le glacier forme des marmites et des gorges à parois verticales. A l'échelle pluri-métrique, les rochers travaillés par le glacier forment les morphologies typiques des «roches moutonnées», des «dos d'éléphants», avec un plan de surface incliné doucement en direction de la venue de la glace, créé surtout par abrasion et un flanc abrupt en aval, créé par arrachement (figures 11 a, b, e).

7. Les glaciers du Val d'Anniviers

La figure 12 montre les principaux glaciers de la vallée en relief. La principale langue glaciaire, le Glacier de Zinal, reçoit les glaces de deux autres glaciers majeurs, le Glacier Durand et le Glacier du Grand Cornier, tous deux alimentés par les cirques des grands sommets. Le Glacier du Mountet, accroché au Zinalrothorn, est actuellement déconnecté de ce système. Les glaciers de la vallée permettent d'observer toutes les morphologies (figure 13) et les processus connus pour les glaciers alpins.

Le Glacier de Zinal, le plus facile à atteindre, occupe une vallée relativement plate. Pendant le dernier maximum du Petit Âge glaciaire, la langue descendait jusqu'à env. 1900m d'altitude (figures 9a, 12).

6. The processes of glacial erosion

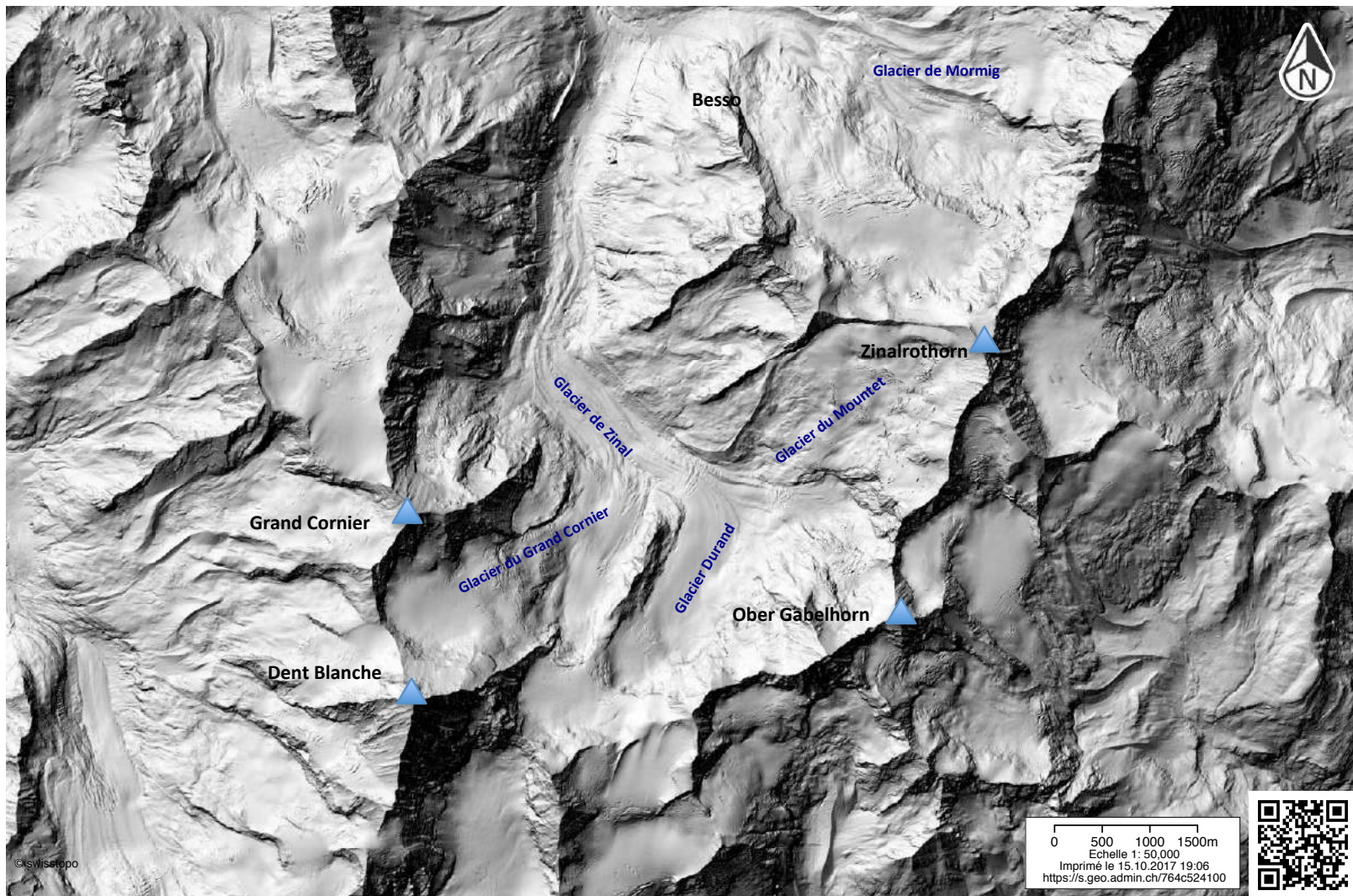
*The processes of glacial erosion are presented in Figures 11 a–g. They are mainly glacial **abrasion** (friction of the glacier on its substrate, producing glacial milk), **plucking** of blocks along fractures, and **cavitation** by the flow of meltwater at high speed.*


Typical witnesses left on the surface of rocks by abrasion are striae (Figures 11a, b, c). Plucking leaves niches on the surface of the rocks (Figures 11a, b, c), while the high-speed water flow under the glacier formed stream pots and vertical-walled canyons. On the pluri-metric scale, the rocks eroded by the glacier form the morphologies typical of “roches moutonnées”, “elephant backs”, with a gently sloped surface plane towards the arrival of the ice, created mainly by abrasion, and a steep downstream flank created plucking (Figures 11a, b, e).

7. Glaciers of the Val d'Anniviers

Figure 12 shows the most important glaciers of the valley in relief. The main glacial tongue, the Zinal Glacier, receives the ice of the two other major glaciers, the Durand Glacier and the Grand Cornier Glacier, which are fed by the cirques of the main mountain peaks. The Mountet Glacier, attached to the Zinalrothorn, is currently disconnected from this system. The glaciers of the Val d'Anniviers valley show all the typical morphologies (Figure 13) and processes known from alpine glaciers.

The Zinal Glacier, the first glacier one meets when climbing up the valley, occupies a relatively flat area. During the last maximum of the Little Ice Age, the tongue went down to an approximate altitude of 1,900 m (Figure 9a, 12).




 Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra
 In collaboration with the cantons

www.geo.admin.ch est un portail d'accès aux informations géolocalisées, données et services qui sont mis à disposition par l'administration fédérale
 Responsabilité: Malgré la grande attention qu'elles portent à la justesse des informations diffusées sur ce site, les autorités fédérales ne peuvent endosser aucune responsabilité quant à la fidélité, à l'exactitude, à l'actualité, à la fiabilité et à l'intégralité de ces informations. Droits d'auteur: autorités de la Confédération suisse. http://www.disclaimer.admin.ch/informations_juridiques.html

Figure 12: Relief de la partie sud du Val d'Anniviers et principaux glaciers (copyright: swisstopo).
Figure 12: Morphological model of the southern Val d'Anniviers and its glaciers (copyright: swisstopo).

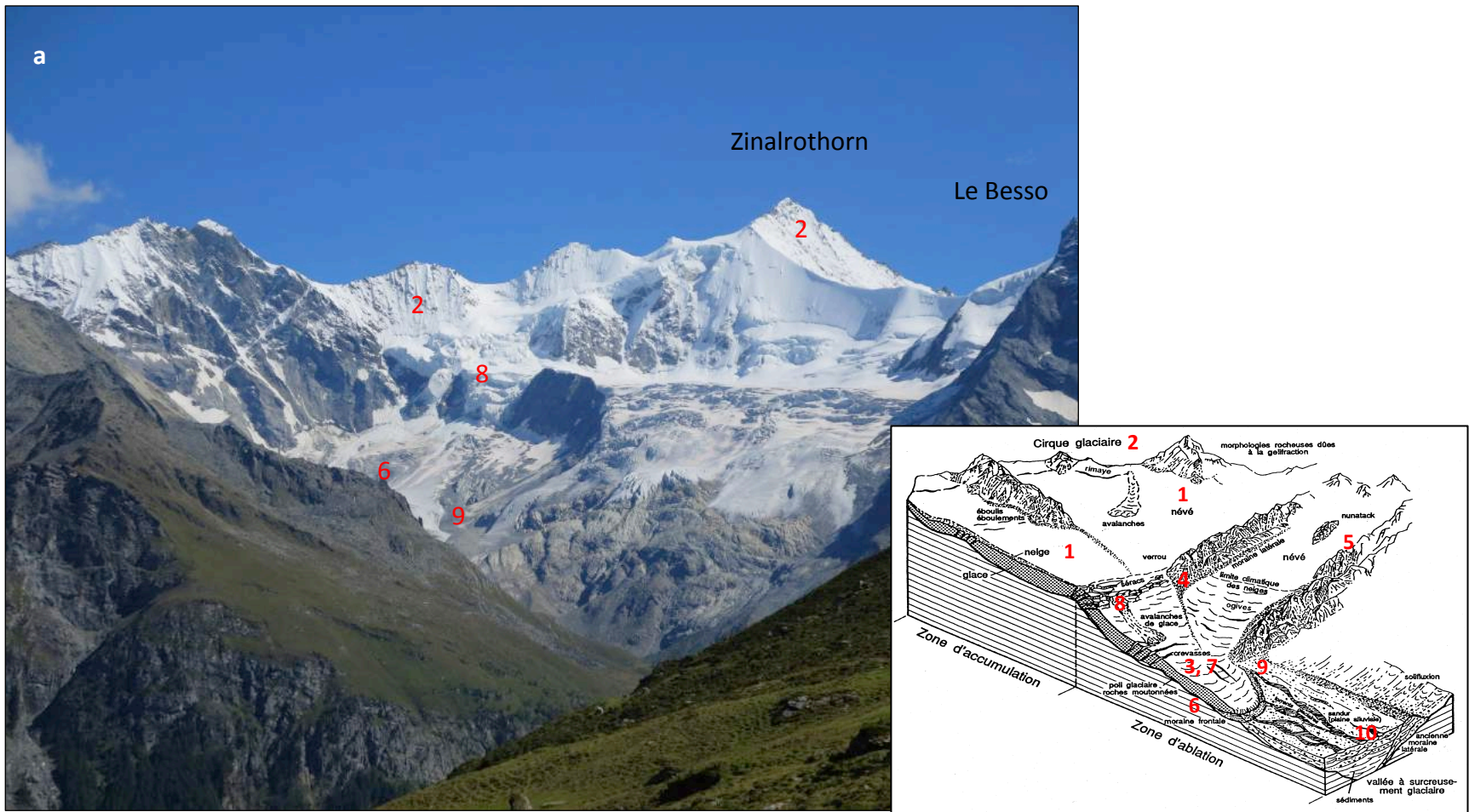


Figure 13: Le système glaciaire et ses principaux éléments morphologiques. Zinal Rothorn, vue depuis la route d'alpage Sorebois – Zinal (Wildi et al. 2015a). -> *English capture see next page!*

Les **névés 1** sont installés dans les **cirques glaciaires 2** recouverts de neige jusqu'à la **limite climatique des neiges**. Les **langues glaciaires 3** drainent la glace formée sur les névés. Les **verrous glaciaires 4** correspondent à des resserrments des langues par des seuils et avancements rocheux. Les **nunataks 5** peuvent émerger de la glace dans des endroits où le rocher a résisté à l'érosion. Le rocher sous le glacier est souvent modelé en **roches moutonnées 6**, constituées de roches arrondis par abrasion, se terminant par un abrupt d'arrachement et une dépression. Les **Crevasses 7** sont des fissures dues aux contraintes internes (tensions) aux glaciers en mouvement, la **rimaye** est à une crevasse en amont du névé; les plissements internes de la glace sont connus comme **ogives**, les conduites d'eau verticales sont nommées **moulins**. Les **Séracs 8** correspondent à des lames de glace dues à la cassure du glacier sur un seuil rocheux. Le matériel rocheux érodé par gélifraction, l'eau, les avalanches et le vent à la base et dans les pentes surplombant le glacier, se trouve accumulé en bordure et au front du glacier sous forme de **moraines basales, latérales et frontales 9**. En cas de remaniement et de transport fluvial, gravier et sable constituent le **sandur 10** (plaine d'épandages proglaciaire) et les **deltas des lacs proglaciaires**.

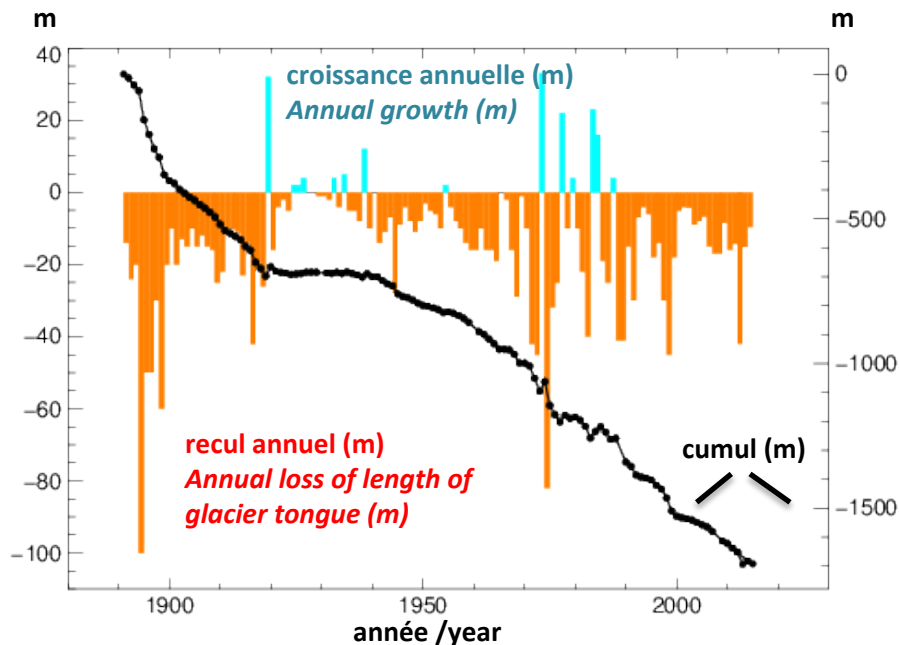


Figure 14: mensurations des variations de la longueur de la langue du Glacier de Zinal par le Réseau Suisse des Glaciers, de 1891 à 2015.

Figure 14: Glacier tongue variations of the Zinal Glacier, measured from 1891 till 2015 by the Swiss Glacier Monitoring Network.

Suite à la fonte des glaces depuis la fin du Petit Âge glaciaire, le front de la langue se situe actuellement autour de 2'100 m d'altitude (figures 14 et 15). La forte radiation et les températures élevées en été se manifestent par des morphologies de glace de «thermokarst», et surtout par des moulins et de vrais «dolines» dues à la fusion de la glace. Le glacier est un excellent indicateur du réchauffement climatique qui a débuté en 1850, à la fin du Petit Âge glaciaire et qui continue jusqu'à nos jours (et certainement au-delà).

Figure 13: Glacial system of the Zinal Rothorn. View from the Sorebois Alp– Zinal road, Val d'Anniviers (Wildi et al. 2015b)

Snowfields **1** are located in the glacial cirques **2** covered with snow down to the climatic snowline. The glacier tongue **3** drains the ice formed in the snowfields. A verrou **4** corresponds to a narrowing of the glacier tongue through a rocky threshold/obstacle. Nunataks (horns) **5** can emerge from the ice in places where the bedrock was less affected through erosion. The rock beneath the glacier is often moulded as «roches moutonnées» **6**, i.e., rocks rounded by glacial abrasion and limited downstream through a tearing off zone and a depression. The crevasses **7** are ice fissures due to internal stress (tensions) related to glacier movements and bedrock topography; the «bergschrund» or «rimaye» is the uppermost crevasse of the snowfield (i.e., where the glacier starts to flow); the internal folds of the ice are known as ribs or «ogives» and the vertical water conduits as mills. The seracs **8** correspond to ice towers formed through the breaking of the glacier on rocky thresholds. The rocky material eroded through frost, water, avalanches and wind at the base and on the slopes overlooking the glacier is accumulated at the base of the glacier, along the glacier tongue and at the glacier front as ground, side and front moraines **9**. After reworking and fluvial transport, gravel and sand are deposited as a sandur **10** (proglacial flood plain) and as deltas of proglacial lakes.

Following the melting of ice at the end of the Little Ice Age, the front of the tongue is currently at an elevation of around 2,100 m (Figures 14 and 15). The strong radiation and the high temperatures in summer are manifested by thermokarst ice morphology, and in particular mills and «sinkholes», because of the melting ice. This glacier is an excellent indicator of climate warming that began in 1850, at the end of the Little Ice Age, and continues to this day (and certainly beyond).

La longueur de la langue du Glacier du Zinal est surveillée par le Réseau Suisse des Glaciers depuis 1891. La figure 14 montre le résultat de cette surveillance: Il apparaît que la langue glaciaire a perdu au cours de 125 ans 1700 m de longueur, soit en moyenne 13.6 m/année. Pendant les 30 premières années d'observation, jusqu'en 1920, le recul du glacier était très rapide, soit env. 23 m par année. Cette période était suivie par un plateau sans recul qui dura jusqu'en 1940. Puis, le recul est reparti avec une vitesse très régulière.

Des troncs d'arbres éjectés par le torrent sous-glaciaire par le portail du glacier prouvent que le glacier de Zinal était à certaines époques au cours des derniers 10'000 ans plus retiré que de nos jours et que des forêts occupaient le fond de la vallée jusqu'à des altitudes bien supérieures à l'actuelle limite des forêts. La dernière de ces périodes caractérisées par un fort retrait glaciaire s'est produite au Moyen Âge, entre l'an 800 et 1'300 AD.



The length of the tongue of the Zinal Glacier has been monitored by the Swiss Glacier Network since 1891. Figure 14 shows the result of this monitoring. It appears that the ice tongue has lost 1,700 m of length over the course of 125 years, corresponding to an average 13.6 m / year. During the first 30 years of observation, until 1920, the retreat of the glacier was very fast, approximately 23 m per year. This period was followed by a plateau that lasted until 1940. Then, the melting and retreat started again at a very regular speed.

Tree trunks ejected by the subglacial stream through the glacier portal prove that the Zinal Glacier tongue was, at certain times over the last 10,000 years, significantly shorter than today, and that forests occupied the valley at altitudes well above the current timber line. The last of these periods, characterised by a strong glacial retreat, occurred in the Middle Ages between the years 800 and 1,300 AD.

Figure 15: le Glacier de Zinal depuis le sentier du Petit Mountet. La langue est fortement affectée par du thermokarst.

Figure 16: portail glaciaire et torrent glaciaire cherchant son chemin à travers les reliefs des moraines frontales.

Figure 15: Zinal Glacier from the Petit Mountet foot path. The glacier tongue is strongly affected by thermokarst.

Figure 16: Glacial portal and glacial meltwater stream seeking its way through the frontal moraines.

8. Les premiers habitants et le développement du village de Zinal

Parmi les premières traces de présence humaine dans le Val d'Anniviers, Jean-Christian Spahni mentionne dans sa publication de 1949 les mégalithes et les «pierres à cupules». Sur <https://www.sierretourisme.ch/tourisme/zoura-ayer-poste-pierre-cupules.html> nous lisons à ce sujet:

«Le Val d'Anniviers a hérité d'un trésor préservé depuis 3'500 ans, et peut-être plus. Ce trésor, ce sont la vingtaine de pierres à cupules ou écuellenes, pierres mystérieuses sans signification connue, léguées par les premiers habitants de la vallée et qui sont un témoignage datant probablement de la fin du Néolithique et du début de l'Âge de Bronze.»

Vestiges de l'art rupestre, (du latin «rupes»: rocher) ces pierres se retrouvent dans beaucoup de vallées de l'arc alpin, dans les pays nordiques, en Afrique du Nord, au Moyen-Orient et jusqu'en Inde.»

Le site internet mentionné ci-dessus (dernière consultation le 11/10/2017) propose une visite près du Village d'Ayer, à 6 km en aval de Zinal. La signification des cupules, objets de culte ou autre, reste inconnue à ce jour.

La présence humaine au Moyen Âge est documentée par le site de Fang, sur la route Sierre-Zinal, où les vestiges d'un ancien village sont étudiés par des archéologues (<https://www.archeologie-anniviers.ch/>): *«Le village médiéval de Tiébagette est situé au nord-ouest du village actuel de Fang. Il a été occupé entre le 13^{ème} et le 15^{ème} siècle, mais son origine pourrait être bien plus ancienne. L'exceptionnalité de ce site archéologique ne s'explique pas par sa seule ancienneté, mais aussi par son remarquable état de conservation, avec des murs conservés jusqu'à 2m de hauteur».*

8. The first inhabitants and the development of the village of Zinal

Among the first indications of human presence in the Val d'Anniviers, Jean-Christian Spahni mentions in his 1949 publication megaliths and "cupules". On <https://www.sierretourisme.ch/tourisme/zoura-ayer-poste-pierre-cupules.html>, we read about it:

"The Val d'Anniviers inherited a preserved treasure of 3,500 years, and maybe more. This treasure consists of about twenty stones with "cupules" or bowls, mysterious stones without known meaning, bequeathed by the first inhabitants of the valley and which are a testimony dating probably from the end of the Neolithic and the beginning of the Bronze Age.

Remains of rock art (from Latin "rupes": rock), these stones are found in many valleys of the alpine arc, in Nordic countries, in North Africa, in the Middle East and as far as India."

The website mentioned above (last consultation on 11/10/2017) offers a visit near the village of Ayer, 6 km downstream from Zinal. The meaning of cups, objects of worship or otherwise, remains unknown to this day.

The human presence in the Middle Ages is documented by the site of Fang, along the road from Sierre to Zinal, where the remains of an ancient village were studied by archaeologists <https://www.archeologie-anniviers.ch/>): "The medieval village of Tiébagette is located northwest of the current village of Fang. It was occupied between the 13th and the 15th century, but its origin could be much older. The exceptional nature of this archaeological site cannot be explained by its mere antiquity, but also by its remarkable state of preservation, with walls preserved up to 2 m high".



Figure 17: maisons d'habitation et greniers du vieux Zinal.

Figure 17: chalets and granaries in the old village of Zinal.

A peu de choses près, rien n'est connu concernant d'éventuelles occupations anciennes du site du village de Zinal même. On a toutefois des raisons de penser que les pâturages de la vallée ne sont pas restés déserts pendant la période du Moyen Âge avec son climat doux. La faible documentation concernant la colonisation humaine du Val d'Anniviers au cours du Moyen Âge contraste avec la situation au Val d'Hérens, vallée voisine située à l'Ouest du Val d'Anniviers, mais à des altitudes plus basses (voir à ce sujet l'extraordinaire livre d'Andrée Fauchère, 2014).

Le lecteur intéressé par le peuplement du Val d'Anniviers et de ses villages trouvera de précieux renseignements essentiellement dans deux livres (en vente dans tous les kiosques de la vallée): Il s'agit de l'ouvrage de Martin Fenner (2015) consacré aux traditions et mutations et du livre *Parcours Historiques d'Anniviers* (Anniviers 2014) mentionnée dans la bibliographie.

Little is known about the possible old occupation of the site of the village of Zinal itself. There are, however, reasons to believe that the pastures of the valley did not remain unexploited during the Middle Ages with its mild climate. The poor documentation of the human colonization of the Val d'Anniviers during the Middle Ages contrasts with the situation in Val d'Hérens, a neighbouring valley west of the Val d'Anniviers, but at lower elevations (visit and read the extraordinary book of Andrée Fauchère, 2014!).

Readers interested in the settlement of the Val d'Anniviers and its villages will essentially find valuable information in two books (on sale in all the kiosks of the valley): The work of Fenner (2015) devoted to traditions and mutations, and the description of historical paths (Anniviers 2014) as mentioned in the bibliography.

Les maisons les plus anciennes du vieux village de Zinal datent probablement du 18^{ème} siècle. Mais d'autres bâtisses ont dû exister auparavant. Pour preuve, une première chapelle connue dès 1515. Le village ou hameau n'était d'abord qu'un mayen, où le bétail montait en été (dès le mois de juin), pour un séjour d'environ trois mois sur les pâturages. La première famille à séjourner toute l'année à Zinal était une famille Melly en 1861. Dès environ 1850, le village touristique et de montagnards se développe d'abord lentement en tant que station d'été, puis, à la fin du 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle de façon plus rapide, avec la construction des hôtels: Hôtel Durand (1863), Hôtel de la Poste (1880-1890), Hôtel du Besso (1890), Hôtel du Trift (1891), Grand-Hôtel des Diablons (1894), Hôtel National (1908). L'arrivée du car postal ne date que de 1950. Un second développement rapide du village touristique se produit dans la 2^{ème} moitié de 20^{ème} et au début du 21^{ème} siècle, avec la construction de nombreux chalets, mais également avec la venue temporaire du Club Méditerranée, puis de d'Intersoc (Mutualité Chrétienne de Belgique) et de Reka, une coopérative de voyage.

Zinal n'est devenu station d'hiver qu'en 1961, avec l'ouverture du premier skilift dans le village, puis l'aménagement du domaine skiable de Sorebois dès 1966.

9. Avalanches, laves torrentielles et la vie d'un village de montagne

Dans la vallée de Zinal, les phénomènes naturels et les grands événements sont à la mesure des sommets qui entourent la vallée et le village: impressionnants.

Les avalanches d'abord. Des coulées de neige, respectivement des avalanches poudreuses se déclenchent spontanément, ou sont déclenchées artificiellement, essentiellement sur le versant gauche (à

The oldest houses in the old village of Zinal probably date back to the 18th century. But other constructions must have existed before. As proof, a first chapel existed since 1515. The village or hamlet was at first only a "mayen", where the cattle stayed in summer from the month of June for about three months for grazing. The first family to remain in Zinal all year round was a Melly-family in 1861. By 1850, because of tourists and mountaineers, the village first grew slowly as a summer resort, then, at the end of the 19th and beginning of the 20th century, more rapidly, with the construction of hotels: Hôtel Durand (1863), Hôtel de la Poste (1880–1890), Hôtel du Besso (1890), Trift Hotel (1891), Grand Hotel des Diablons (1894), and National Hotel (1908). The arrival of the post car, and thus public transport, dates from 1950. Another rapid development of the tourist village occurred in the second half of the 20th and the beginning of the 21st century, with the construction of many chalets, the temporary installation of Club Méditerranée, then of Intersoc (Christian Mutuality of Belgium), and finally Reka, a travel cooperative.

Zinal became a winter resort only in 1961, with the opening of the first skilift in the village. The development of the Sorebois ski area took place in 1966.

9. Avalanches, mud flows and the life of a mountain village

In the Zinal Valley, natural phenomena and major events are the same level as the mountain peaks that surround the valley and the village: stunning!

Avalanches first. *Wet snow, respectively powder avalanches, either natural or artificially triggered, are a common fact, essentially on the left (western) side of the Zinal valley.*

l'ouest) de la vallée. En partant des zones sommitales les plus hautes du garde de Bordon ou du Pigne de la Lé, d'immenses nuées de neige poudreuse dévalent les pentes et envahissent la vallée au sud de Zinal. Les sites internet suivants présentent des exemples impressionnants (dernière visite: 21.01.2018):

<https://www.lenouvelliste.ch/articles/valais/valais-central/video-une-saisissante-avalanche-declenchee-a-zinal-727981>

<https://www.youtube.com/watch?v=IcO6I5iGUgA>

<https://www.youtube.com/watch?v=VfFopDfmBFo>

<http://www.notrehistoire.ch/medias/45717>

<https://www.swissinfo.ch/fre/une-nouvelle-avalanche-endeuille-le-valais/1876522>

<http://www.notrehistoire.ch/medias/54654>

De nombreux récits et témoignages racontent les hivers où une neige abondante était à l'origine de coulées gigantesques, comme par exemple en 1911, ou encore en hiver 1965 – 1966.



The valley starting from the highest peaks of the border guard Bordon or the Pigne de la Lé, where huge swarms of powdery snow run down the slopes and invade the valley south of Zinal. The following websites offer impressive examples (last visit: 21 Jan. 2018):

<https://www.lenouvelliste.ch/articles/valais/valais-central/video-une-saisissante-avalanche-declenchee-a-zinal-727981>

<https://www.youtube.com/watch?v=IcO6I5iGUgA>

<https://www.youtube.com/watch?v=VfFopDfmBFo>

<http://www.notrehistoire.ch/medias/45717>

<https://www.swissinfo.ch/fre/une-nouvelle-avalanche-endeuille-le-valais/1876522>

<http://www.notrehistoire.ch/medias/54654>

Numerous testimonials state the details of winters when abundant snow was at the origin of gigantic flows, as in 1911 or in the winter of 1965–1966.

Figure 17: vue vers le sud sur le fond de la vallée depuis le balcon de l'Hôtel des Bouquetins. Sur la rive gauche de la vallée (à droite sur la photo) on reconnaît les grands cônes dus aux avalanches et laves torrentielles; flèche: cône des Plats de la Lé.

Figure 17: southern view towards the upper part of the valley. On the western slope (on the right in the photo) one recognizes the large fans accumulated by avalanches and mud or debris flows; arrow: fan of the Plats de la Lé.

C'est avant tout ce risque d'avalanches qui limite l'extension de la zone développée et habitée vers le fond de la vallée.

L'autre grand péril qui guette les alpages, les habitations et les infrastructures de la vallée sont les «**laves torrentielles**», ou «**debris flow**» (en anglais) et «**Murgang**» (en allemand). Ces coulées peuvent partir d'une rivière en crue qui érode ces bords instables et entraîne roches et boue avec elle. Une autre cause, encore plus impressionnante, réside dans la mobilisation de dépôts glaciaires, essentiellement de moraines, dû au dégel du permafrost. En effet, des sols gelés en profondeur pendant des dizaines d'années, ou éventuellement des siècles (depuis le Petit Âge glaciaire entre la fin du 16^{ème} et le milieu du 19^{ème} siècle), dégèlent sous l'effet du réchauffement climatique. Les masses

It is above all this risk of avalanches, which limits the extension of the developed and inhabited zone towards the upper part of the valley.

*The other major threat to alpine pastures, housing and infrastructure in the valley are the “**mudflows**” or “**debris flows**”. These flows can start from a river in flood that erodes its unstable edges and drives rocks and mud with it. An even more impressive cause is the mobilization of glacial deposits, mainly moraines, due to permafrost thaw. Indeed, for decades or possibly centuries (since the Little Ice Age between the late 16th and mid-19th century) deep frozen soil is currently thawing under the effect of global warming. The rock masses saturated with water become unstable and may flow down the slopes and river beds. A good illustration of these processes can be*

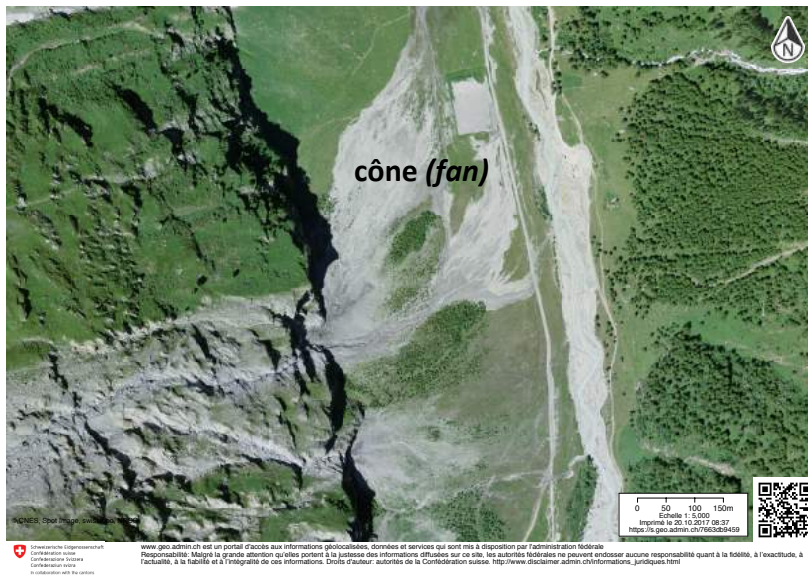


Figure 18: vue aérienne (orthophoto) du bas du versant de la Garde de Bordon (à gauche) et du fonds de la vallée avec les cônes de dépôt de laves torrentielles sur les Plats de la Lé (copyright: swisstopo).

Figure 18: aerial view (orthophoto) of the lower part of the east-oriented slope of the Garde de Bordon (left side of the photo) and mudflow fan deposits in the Plats de la Lé area of the valley (copyright: swisstopo).

rocheuses imbibées d'eau deviennent alors instables et peuvent s'écouler et dévaler pentes et ravins. Une bonne illustration de ces processus se trouve sur un film présentant des éboulements et laves torrentielles sur les Plats de la Lé (rive gauche de la vallée), qui sont intervenus les 27 et 28 mai 2016, en recouvrant même le terrain de foot du club local (fig. 18, 19, voir les références ci-avant).

Le village de Zinal se trouve directement sous trois zones productrices de laves torrentielles. Ces laves peuvent descendre par des ravins droit vers les deux extrémités et vers le centre du village. Afin de gérer les volumes de boue et de roches, des bassins de réception ont été construits depuis les années 1950 et se sont vus agrandir et renforcer au cours du temps (fig. 20).

found on a film presenting landslides and mud flow on the Plats de la Lé (left bank of the valley), which happened on May 27 and 28, 2016, covering even the football field of the local club (Figures 18, 19; see references above).

The village of Zinal lies directly below the slope of the three areas producing mud and debris flows. These flows can descend through straight ravines to both the ends and the centre of the village. In order to manage mud and rock volumes, reception ponds have been constructed since the 1950s and have been enlarged and strengthened over time (Figure 20).

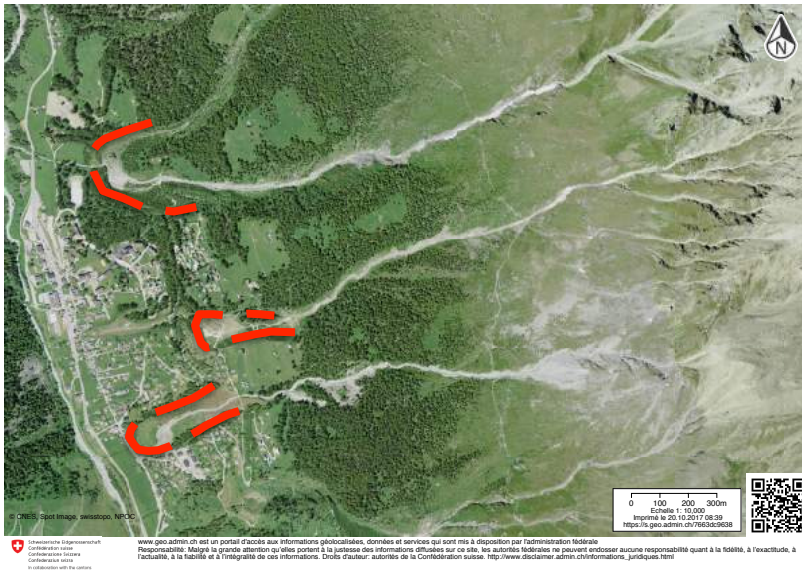


Figure 19: vue aérienne (orthophoto) du village de de Zinal et du versant en amont du village; en rouge: digues des bassins de réception des laves torrentielles (copyright: swisstopo).

Figure 19: Aerial view (orthophoto) of the Zinal village and the mountain slope upstream (to the east) of the village; in red: dams designed to contain mud and rocks from mudflows (copyright for orthophoto: swisstopo).

10. Excursion: de Zinal au refuge du Petit-Mountet

1. Emprunter la rue Plan Zinal. En sortant du vieux village, juste après l'Hôtel des Bouquetins, à gauche: digues sur le Torrent Pétérey; grand bassin de rétention pour le matériel amené par les laves torrentielles. Coordonnées suisses 614 700/108 875, latitude/longitude 46° 07' 53"N 7° 37' 44" E
2. Rue Pétérey, env. 100 m au Sud de l'Auberge Alpina: belle vue sur la vallée et le versant du Garde de Bordon. Sur ce versant on observe en «marches d'escaliers» des falaises de prasinites (basaltes volcaniques transformés) et des replats de schistes lustrés de la Nappe du Tsaté. Ces pentes peuvent donner lieu à des avalanches et des laves torrentielles (fig. 17, 18). Coord. 614 800/108 620, 46° 07' 44"N 7° 37' 49"E
3. Pont sur la Navissance, torrent chargé de lait glaciaire provenant de l'abrasion des roches par la friction exercée par les glaciers en mouvement. Coord. 614 780/108 420, 46° 07' 38"N 7° 37' 48"E
4. Passage sur le Torrent de Laulosses. L'eau de ce torrent est le plus souvent limpide, sauf en cas de pluie ou de forte fonte de neige. Aucun glacier ne contribue avec sa charge de sédiment à sa turbidité. Coord. 614 750/108 220, 46° 07' 38"N 7° 37' 47"E
5. Terrain de football du club de Zinal. Ce terrain a été recouvert de sédiments à l'occasion de l'écoulement des laves torrentielles les 27 et 28 mai 2016. Coord. 614 820/107 900, 46° 07' 21"N 7° 37' 50"E
6. Cône de déjection alimenté essentiellement par des laves torrentielles et du bois d'arbres pionniers. Les cernes de croissance que l'on observe sur les troncs cassés permettent d'estimer le passage de la dernière grande coulée ou de la dernière grande avalanche. Coord. 814 660/107 630, 46° 07' 14"N 7° 37' 43"E
7. Grands blocs provenant de chutes de falaises. Ces blocs sont recouverts de différentes espèces de lichen. Le lichen de couleur fluo, du nom de *Rhizocarpon geographicum*, permet de dater la chute des blocs. Ce lichen commence sa croissance environ 25 ans après la chute d'un bloc. Son taux de croissance (diamètre) est d'environ ¼ de millimètre par année. Coord. 614 950/106 670, 46° 06' 42"N 7° 37' 56"E.

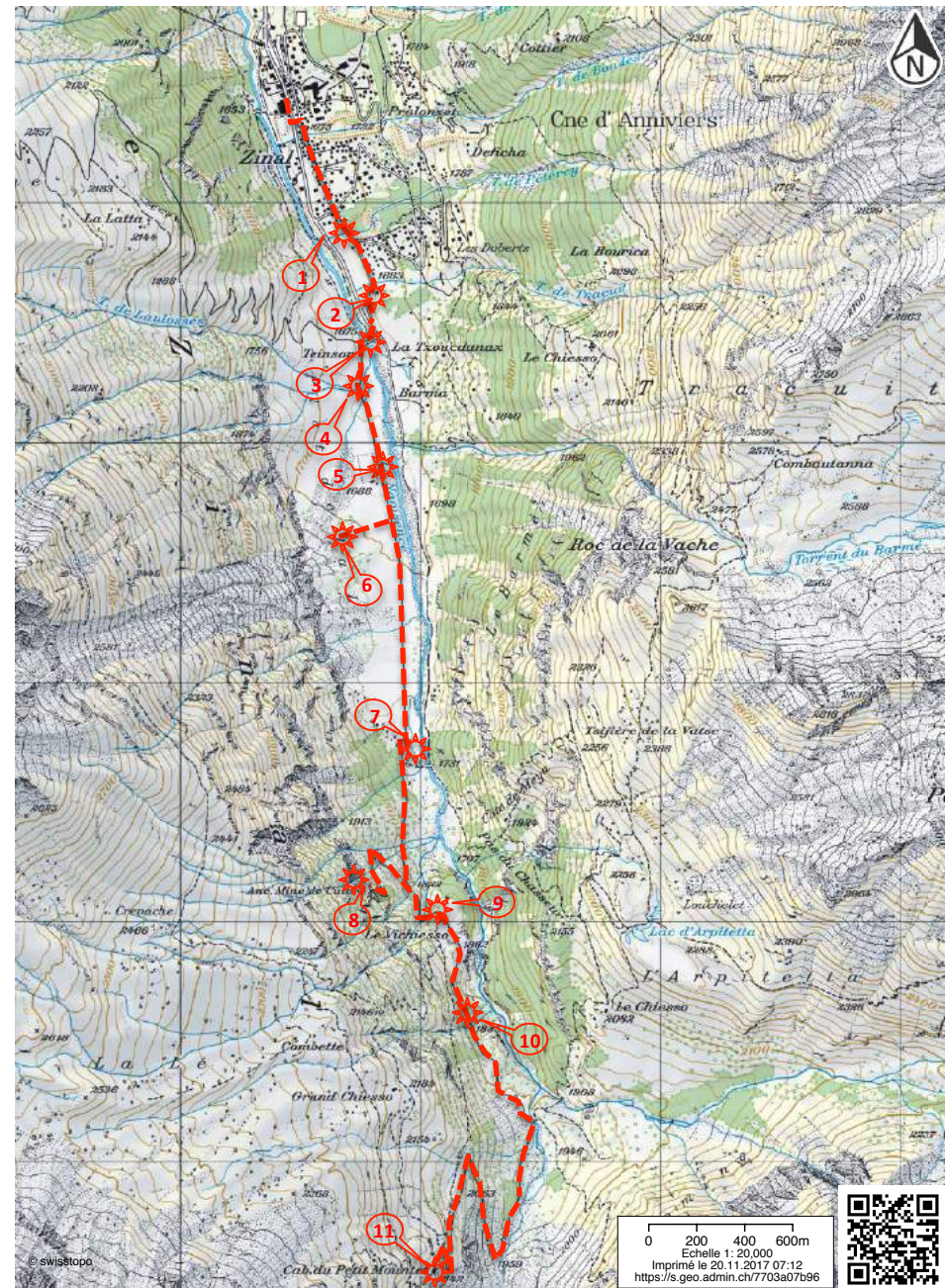


Figure 20: carte de l'excursion. **Figure 20: Field trip map.**

8. Mine de cuivre de la Lé. Sur une vingtaine d'anciennes mines de cuivre du Val d'Anniviers, il s'agit du seul site d'exploitation ouvert au public. Des visites guidées ont lieu dans les galeries longues d'environ 500 m de juin à octobre (se renseigner sur le site <https://www.valdanniviers.ch/tourisme/mine-cuivre.html>). Coord. 614 800/106 100, 46° 06' 23''N 7° 37' 49''E
9. Montée vers l'alpage Le Vichiesso: belle vue sur la vallée de la Naviscence en amont de Zinal. La rivière occupe un lit en tresse, c'est à dire avec souvent plusieurs chenaux séparés par des barres de graviers. Le profil de la vallée en U ne correspond pas à la morphologie de la vallée creusée dans le rocher à l'époque glaciaire. Cette ancienne vallée montre un profil en V qui a été comblé par la suite par des sédiments glaciaires, des dépôts de pente et les alluvions de la Naviscence. Coord. 615 070/106 050, 46° 06' 22''N 7° 38' 02''E
10. Les gros blocs de granit et de gneiss correspondent à la moraine frontale du Glacier de Zinal en 1850, au dernier maximum du Petit Âge Glaciaire (1600 – 1850). A partir de ce point, le sentier se poursuit dans la zone envahie au Petit Âge Glaciaire par le glacier et recouverte de blocs de moraine. Coord. 615 160/105 670, 46° 06' 07''N 7° 38' 07''E
11. Cabane du Petit-Mountet; belle vue sur le Glacier de Zinal; affleurements de gneiss granitique de la nappe de la Dent-Blanche (fig. 14, 15). Coord. 615 050/104 540, 46° 07' 33''N 7° 38' 01''E

10. Field trip from the village of Zinal to the Petit-Mountet mountain refuge

1. *Follow the Plan Zinal Street. When leaving the old village, just passed the Hotel Les Bouquetins, on the left side: levees along the Torrent Pétérey; large containment basin to stop debris flows. Swiss coordinates 614 700/108 875, latitude / longitude 46 ° 07 '53''N 7 ° 37' 44 '' E*
2. *Rue Pétérey, approx. 100 m south of the Auberge Alpina: beautiful view of the valley and slope of the Garde de Bordon. On this slope, cliffs of prasinites (transformed volcanic basalts) alternate with gentle slopes of "schistes lustrés" of the Tsaté Nappe. These slopes can generate avalanches and debris flows (Fig. 17, 18). Coord. 614 800/108 620, 46 ° 07 '44''N 7 ° 37' 49''E*
3. *Bridge over the Naviscence River, whose waters carry the glacial milk derived from the abrasion of rocks through the friction exerted by the moving glaciers. Coord. 614 780/108 420, 46 ° 07 ° 38''N 7 ° 37 '48''E*
4. *Passage on the Torrent of Laulosses. The water of this torrent is most often limpid, except in case of rain or heavy snow. No glacier contributes with its sediment load to its turbidity. Coord. 614 750/108 220, 46 ° 07 '38''N 7 ° 37' 47''E*
5. *Football field of the Zinal club. This area was covered with debris flow sediments on May 27th and 28th, 2016. Coord. 614 820/107 900, 46 ° 07 '21''N 7 ° 37' 50''E*
6. *Debris fan fed mainly by debris and mud flows; covered with wood from pioneer trees. The growth rings observed on the broken trunks make it possible to estimate the age of the last large flow or avalanche. Coord. 814 660/107 630, 46 ° 07 '14''N 7 ° 37' 43''E*
7. *Big blocks derived from cliff falls. These blocks are covered with different species of lichen. The lichen of fluorescent color Rhizocarpon geographicum allows the dating of the block fall. This lichen begins its growth approx. 25 years after the fall of a block. Its growth rate (diameter) is approximately of ¼ millimeter per year. Coord. 614 950/106 670, 46 ° 06 '42''N 7 ° 37' 56''E*

8. *Copper mine of la Lé. Out of some 20 former copper mines in the Val d'Anniviers, this is the only site open to the public. Guided visits are organized in the approx. 500 m deep galleries from June till October (find out more on the website <https://www.valdanniviers.ch/tourisme/mine-cuivre.html>). Coord. 614 800/106 100, 46 ° 06 '23"N 7 ° 37' 49"E*
9. *Along the footpath to the Alp Vichiesso: beautiful view of the Navisence Valley upstream of Zinal. The river is a braided stream, with often several channels separated by gravel bars. The profile of the U-shaped valley does not correspond to the morphology of the valley dug in the rocks during the ice age. This former valley shows a V-shaped profile which was later filled by glacial sediments, slope and river deposits from the Navisence River. Coord. 615 070/106 050, 46 ° 06 '22"N 7 ° 38' 02"E*
10. *Large blocks of granite and gneiss correspond to the frontal moraine of the Zinal Glacier in 1850, during the last maximum of the Little Ice Age (1600 - 1850). From this point, the trail continues through a zone occupied by the glacier during the Little Ice Age and presently covered with moraine blocks. Coord. 615 160/105 670, 46 ° 06 '07"N 7 ° 38' 07"E*
11. *Petit-Mountet mountain refuge; beautiful view over the Zinal Glacier; outcrops of granitic gneiss of the Dent-Blanche Nappe (Fig 14, 15). Coord. 615 050/104 540, 46 ° 07 '33"N 7 ° 38' 01"E*

Références / Bibliography

- Anniviers 2014: Parcours historiques d'Anniviers (ouvrage collectif, Anniviers Tourisme). Editions monographiques, Sierre, 564 p.
- Bini, A., Buoncristiani, J.-F., Couterrand, S., Ellwanger, D., Felber, M., Florineth, D., Graf, H. R., Keller, O., Kelly, M., Schlüchter, C., and Schoeneich, P. 2009: Die Schweiz während des letzteiszeitlichen Maximums (LGM), Bundesamt für Landestopographie swisstopo.
- Burri, M. 1994: Les Roches (3ème édition). Coll. Connaître la nature en Valais, Pillet (Eds), Martigny.
- Bussy, F., Venturini, G., Hunziker, J.C., and Martinotti, G. 1998: U/Pb ages of magmatic rocks of the western Austroalpine Dent Blanche-Sesia Unit. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 78: 163-168.
- Fauchère, A. 2014: Evolène, de la légende à la réalité. Slatkine, Genève, 141 p.
- Fenner, Martin 2015: Val d'Anniviers, traditions et mutations. Editions monographiques, Sierre, 212 p. Cum Biblio.
- Marthaler, M. 2005: Le Cervain est-il Africain? LEP Loisirs et pédagogie, Lausanne, 96 p.
- Trümpy, R. 1980: Geology of Switzerland: a Guide Book. Part A: An outline of the Geology of Switzerland. Schweiz. Geol. Komm. Wepf & Co. Publishers. Basel, New York.
- Wildi, W., Gurny, P., Sartori, M. 2015a: Guide des paysages glaciaires du Val d'Hérens. Genève : Section des sciences de la Terre et de l'environnement, 2015. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:74185>.
- Wildi, W., Gurny, P., Sartori, M. 2015b: Genève : Glacial landscapes of the Val d'Hérens (Valais, Switzerland). Section des sciences de la Terre et de l'environnement, 2015. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:74185>.
- Réseau suisse des glaciers 2015:Variation de longueur des glaciers suisses. <http://glaciology.ethz.ch/messnetz/index.html>.
- Spahni, J.C. 1949: Les monuments mégalithiques du Val d'Annivier. *Bulletin de la Murithienne*, 66, p. 59-56.
- www.strati.ch: Lexique stratigraphique de la Suisse. swisstopo, Service géologique national.

Cartes topographiques et géologiques/topographic and geological maps

<https://www.swisstopo.admin.ch/>

Petit glossaire de géologie

Asthénosphère: l'asthénosphère est la partie ductile («liquide») du manteau terrestre. Elle s'étend de la base de lithosphère (croûte et manteau supérieur) jusqu'au manteau inférieur sur 700 kilomètres.

Basaltes: le basalte est une roche volcanique de couleur sombre, issue d'un magma composée de plagioclases (50 %), de pyroxènes (25 à 40 %) et d'olivine (10 à 25 %). La croûte océanique est composée de basaltes.

Croûte terrestre: la croûte terrestre est la partie superficielle et de la Terre. Elle est de composition granitique (et sédimentaire) sous les continents (épaisseur moyenne 30 – 40 km) et de composition basaltique sous les océans (épaisseur env. 10 km).

Dolomie: roche composée de dolomite (minéral, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Origine: sédiment de milieux salins, p. ex. déserts de sel («sebkhas») et lagunes marines.

Éocène: l'Éocène est la deuxième époque du Tertiaire (Cénozoïque), entre le Paléocène et l'Oligocène. Il s'étend d'il y a 56,0 à 33,9 millions d'années.

Gabbro: le gabbro est une roche plutonique magmatique, à texture grenue, composée essentiellement de pyroxène et de feldspath. Le gabbro se trouve aussi bien dans la partie inférieure de la croûte océanique qu'à la base de la croûte continentale.

Gneiss: roches métamorphiques (recristallisées) se débitant en plaques («couches») de centimètres à plusieurs décimètres d'épaisseur.

Granites: roches cristallines massives, formées par la cristallisation de magmas dans la croûte terrestre (roches magmatiques ou intrusives), composées de quartz, feldspaths et micas et de minéraux mineurs.

Holocène: époque géologique postglaciaire; l'Holocène s'étendant sur les 10 000 dernières années, toujours en cours de nos jours (ou jusqu'à l'Anthropocène, nouveau terme qui désigne la période à forte influence humaine).

Ligure: on désigne par bassin ou Océan Ligure la branche sud de la Mer alpine, essentiellement de la période du Jurassique au Crétacé.

Manteau terrestre: le manteau terrestre s'étend de la base de la croûte jusqu'au noyau de la Terre. Il est composé de roches dites «basiques», dans lesquelles dominent les minéraux d'olivine et de pyroxènes.

Métamorphisme: processus de transformation des minéraux et roches, enfouis dans les profondeurs de la croûte terrestre, sous haute température (> 200 °C) et haute pression. Dans les Alpes, le métamorphisme est lié au plissement alpin.

Micas: minéraux du groupe des phyllosilicates, formés principalement de silicates d'aluminium et de potassium. Les phyllosilicates forment de petits feuillets qui brillent à la surface des roches au soleil. Couleurs: transparent (muscovite, séricite), noir à verdâtre (biotite), vert (chlorite). Origine: formation à la cristallisation des granites ou par la métamorphose de sédiments.

A short glossary of geology

Asthenosphere: the asthenosphere is the ductile ("liquid") part of the Earth's mantle. It extends from the lithosphere base (crust and upper mantle) down to the lower mantle over 700 kilometres.

Basalt: basalt is a dark-coloured volcanic rock originating from a magma composed of plagioclases (50%), pyroxenes (25 to 40%) and olivine (10 to 25%). The oceanic crust is composed of basalts.

Dolomite: dolomite rocks are formed from dolomite minerals $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Origin: the sediment originated in highly mineralized seawater, in lagoons and salt flats.

Earth crust: the earth crust is the superficial part of the Earth. It is granitic (and sedimentary) under the continents (average thickness 30 - 40 km) and of basaltic composition under the oceans (about 10 km thick).

Earth mantle: the Earth mantle extends from the base of the crust down to the core of the Earth. It is composed of so-called "basic" (or "mafic") rocks, dominated by olivine and pyroxene minerals.

Eocene: the Eocene is the second period of the Tertiary (Cainozoic), between the Palaeocene and the Oligocene. It ranges from 56.0 till 33.9 million years ago.

Gabbro: gabbro is a magmatic plutonic rock, with a granular texture, composed mainly of pyroxenes and feldspars. Gabbro is found both in the lower part of the oceanic crust and at the base of the continental crust.

Gneiss: metamorphic rock formed by recrystallization. Layered in cm to several dm thick rock layers.

Granite: Massive igneous rock, formed by the intrusion of magma into the Earth crust and crystallization through cooling. Composition: feldspars, quartz, mica and minor minerals.

Holocene: postglacial geological period; the Holocene extends over the last 10'000 years, and still continues today (one has eventually also to accept the Anthropocene as a new term for the time period with strong human impact).

Ligurian Ocean: southern part of the Alpine Ocean with oceanic (basaltic) crust.

Little Ice Age: cold period of the recent history. During this period the Alpine glaciers often advanced by approx. 1'500 m between 1590 and 1640, then underwent fluctuations until 1850, the last maximum. From 1850 until today, the climate is warming and alpine glaciers are receding.

Mica: "phyllosilicates" and aluminosilicates, consisting mainly of aluminium, silicon, and potassium. Phyllosilicates form fine flakes which shine in the sun. Colours: transparent (muscovite, sericite), black to dark green (biotite), green (chlorite). Origin: form during the crystallization of granites during metamorphism.

Moyen Âge: le Moyen Âge est une période de l'histoire de l'Europe, s'étendant du V^e siècle (476 après J.C.) au XV^e siècle, du déclin de l'Empire romain d'Occident jusqu'à la Renaissance. De la 2^{ème} partie du X^{ème} au début du XIV^{ème} siècle on parle d'optimum climatique. Après cette période le climat se dégrade pour aboutir au Petit-âge glaciaire, dès env. 1590.

Nappe: le terme désigne les grandes unités lithologiques (souvent pluri-kilométriques) qui ont été superposées à l'occasion du plissement des Alpes.

Oligocène: époque géologique qui s'étend de 33,9 ± 0,1 à 23,03 ± 0,05 Ma. Elle suit l'Éocène et précède le Miocène.

Ordovicien: second des six systèmes géologiques constituant le Paléozoïque. Il s'étend de 485,4 ± 1,9 à 443,4 ± 1,5 million d'années. Il est précédé par le Cambrien et suivi par le Silurien.

Paléozoïque/Primaire: le Paléozoïque ou Primaire, est une ère géologique qui s'étend de -541 à -252,2 millions d'années. C'est l'ère de poissons et du développement de la végétation terrestre.

Pangée: il s'agit du supercontinent rassemblant à la fin du Paléozoïque, avant l'ouverture de la Mer alpine et de l'Atlantique, l'ensemble des grands continents de la Terre. La Pangée était surtout centré sur l'hémisphère sud.

Petit-âge glaciaire: période froide de l'histoire récente. Pendant cette période les glaciers alpins avançaient souvent d'env. 1'500 m entre 1590 et 1640, puis subissent des fluctuations jusqu'en 1850, dernier maximum. Dès 1850 et jusqu'à nos jours, le climat se réchauffe et glaciers alpins reculent.

Pléistocène: plus ancienne époque géologique du Quaternaire et l'avant-dernière sur l'échelle des temps géologiques. Elle s'étend de 2,58 millions d'années à 10'000 ans avant le présent et englobe les grandes glaciations.

Quartz: minéral transparent ou blanchâtre, composé de silicium et d'oxygène (SiO₂). C'est un des minéraux les plus fréquents dans la croûte terrestre.

Quartzite: roche composée essentiellement de quartz, soit détritique (sable ou grès), soit cristallisé en veines.

Schiste, schistosité: dans le Val d'Anniviers il s'agit de roches métamorphiques (recristallisées) se débitant en plaques («couches») de plusieurs centimètres à plusieurs décimètres d'épaisseur. «Schistosité» désigne le cisaillement interne des roches, marqué par des surfaces ondulées, souvent tapissées de mica.

Silicates: minéraux riches en oxyde de silicium

Tectonique: ce terme concerne la déformation des roches soumises à des contraintes (cassure, plissements, chevauchements).

Würm: glaciation de Würm, la dernière période glaciaire globale du Pléistocène dans les Alpes.

Metamorphism: transformation process of minerals and rocks, at elevated temperatures (> 200 ° C) and rock pressures. In the Alps, the metamorphism is due to the Alpine orogeny, some 30-19 million years ago.

Middle Ages: the Middle Ages are a period in the history of Europe, extending from the fifth century (476 AD) to the fifteenth century, from the decline of the Western Roman Empire until the Renaissance. From the second half of the 10th to the beginning of the 14th century, we speak of a climatic optimum. After this period the climate deteriorates to reach the Little Ice Age, from approx. 1590.

Nappe: major geological units (often several kilometres wide, and km thick). Nappes have been thrust one upon the others during the Alpine folding, forming nappe piles.

Oligocene: geological period that extends from 33.9 ± 0.1 till 23.03 ± 0.05 Ma. It follows the Eocene and precedes the Miocene

Ordovician: second of six geological systems constituting the Palaeozoic. It ranges from 485.4 ± 1.9 till 443.4 ± 1.5 million years ago. It is preceded by the Cambrian and followed by the Silurian.

Palaeozoic: is a geological era that ranges from -541 till -252.2 million years ago. This is the era of fishes and the development of terrestrial vegetation.

Pangea: it is the supercontinent gathering together at the end of the Palaeozoic (before the opening of the Alpine sea and the Atlantic) all the major continents of the Earth. Pangea was mainly located in the southern hemisphere.

Pleistocene: the oldest Quaternary geological period and the penultimate geological period in the time scale. It ranges from 2.58 million years till 10'000 years ago and encompasses the great glaciations.

Quartz: transparent or whitish mineral consisting of silicium and oxygen (SiO₂). One of the most common minerals in the Earth's crust.

Quartzite: rock consisting of quartz, either of sedimentary origin (sand), or from the crystallization in fractures.

Schist: in the Val d'Anniviers, schists are metamorphic (recrystallized) rocks forming mm to dm thick layers of phyllosilicates. The foliation is the consequence of strong tectonic overprint. Foliation surfaces are often covered by mica.

Silicates: minerals with an important amount of silicium.

Tectonics: this term defines the deformation of rocks under stress conditions (faulting, folding, overthrusts).

Würm: Würm glaciation, the last global ice age of the Pleistocene in the Alps.

Relecture et corrections: Lucie Wildi, Georges Gorin, Mario Sartori
11/01/2018