

Petit guide
géologique
pour
randonneur curieux

Numéro 3 - 2008
édition complétée
en 2010



Lauzière : anatomie d'un granite

Jean-Michel Bertrand et Dominique Gasquet



*Fédération des clubs alpins et de montagne
24, avenue de Laumière - 75019 Paris
www.ffcam.fr*

Comment lire cette plaquette

Nous avons essayé de limiter au maximum le vocabulaire géologique dans le texte principal mais certains mots inévitables ou dont l'utilisation est particulière - **en rouge dans le texte** - sont explicités dans des encadrés :

- les encadrés en rose correspondent aux définitions de roches et de minéraux.

- les encadrés en jaune correspondent aux concepts utilisés en géologie.

INTRODUCTION

Les Alpes sont un paradis pour le randonneur curieux car, outre la flore et la faune, il peut observer de près le squelette de la Terre, c'est à dire les roches et toute leur diversité : elles sont souvent à nu au dessus de 1500 à 2000 m d'altitude (**couverture et Figure 3**).

Les roches sont la mémoire de la Terre : ce sont elles qui ont conservé la trace des événements qui se sont succédés tout au long des temps géologiques. La Lauzière, comme le Mont Blanc, est particulièrement riche en **granites**, des roches qui y sont très bien exposées et très accessibles, et qui seront le thème principal de cette plaquette.

Un troisième niveau de lecture correspond au paragraphe dévolu à la formation des granites (**texte en vert**) qui est plus ardu à suivre. Il peut être lu en diagonale ou négligé par le randonneur pressé.

Pour la randonnée

Attention, la seconde partie de l'itinéraire proposé ici se déroule «hors sentiers». C'est un itinéraire de haute montagne, assez facile, mais pour lequel un bon pied (bien chaussé) et une bonne attention sont nécessaires pour la sécurité.



La Lauzière est située entre Maurienne et Tarentaise, à l'Ouest du Col de la Madeleine (Figure 1). On utilisera la carte IGN top25 3433 ET - St-Jean-de-Maurienne, St-François-Longchamp, Valmorel. La dénivelée de la randonnée vers le Lac du Lay est de 460m ; elle est donc facilement

réalisable dans la journée au départ de Chambéry ou de Grenoble. Le lac du Lay est souvent enneigé assez tard en saison et la période mi-juillet -> mi-octobre est la meilleure.

Une loupe pourra être utile si on veut observer les petits cristaux dans les veines de quartz.

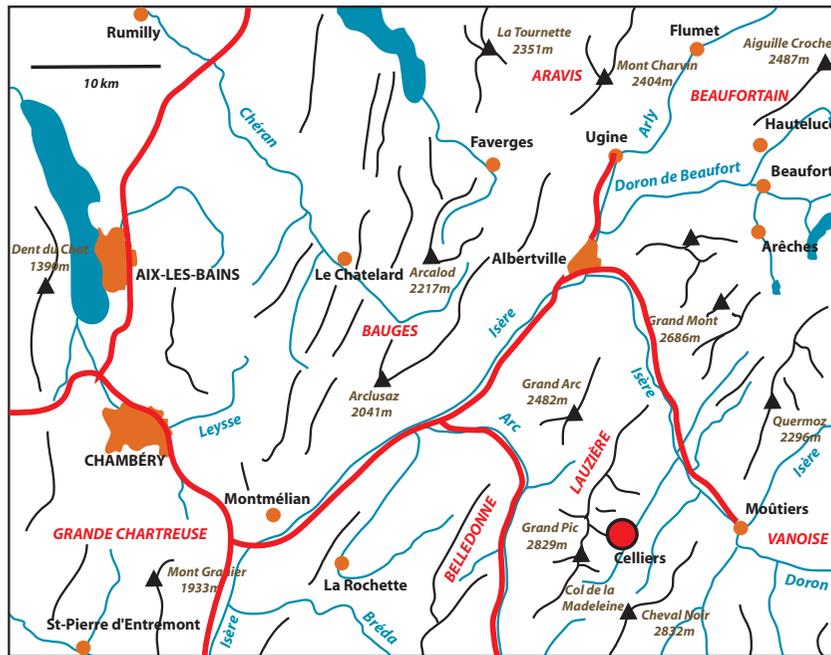


Figure 1 - Où se trouve le massif de la Lauzière ? Les autoroutes ont été indiquées en rouge, comme le village de Celliers.

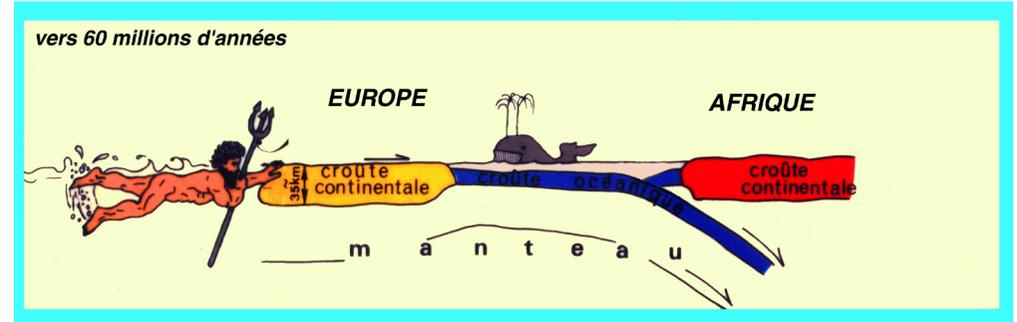


Figure 2 - Avant la collision la subduction de l'océan alpin sous la plaque Afrique est toujours active au début de l'Eocène (dessin de F. Debon, La Montagne & Alpinisme 1985-3).

Le lecteur trouvera successivement :

I - un court aperçu sur la formation des Alpes accompagné d'un résumé de l'échelle des temps géologiques pour la période dont il est question ici ;

II - une présentation de la géologie du massif de la Lauzière ;

III - un chapitre présentant quelques bases indispensables pour comprendre ce qu'est un granite ;

IV - la description d'un itinéraire de randonnée dans le vallon du Bridan, au dessus du village de Celliers, où les granites occupent une place prépondérante. Ils sont particulièrement bien exposés sur les immenses **polis glaciaires**, bien rabotés par les anciens glaciers.

Le randonneur pressé pourra donc se rendre directement au chapitre IV mais attention, beaucoup de définitions et d'explications sont données dans les chapitres précédents.

Cette édition a été complétée en 2009 par l'indication des coordonnées UTM - utilisées sur les cartes compatibles GPS de l'IGN - des sites photographiés qui ont pu être retrouvés sur le terrain.



I - LA FORMATION DES ALPES et l'échelle des temps géologiques

Les Alpes sont le résultat de la **subduction** vers le Sud (ou l'Est pour la partie française) de la plaque européenne sous la plaque africaine suivie par la **collision** entre ces deux plaques qui a commencé il y a environ 50 millions d'années - et qui n'est pas terminée !

Pendant la collision, un large domaine comportant les bords (marges) des deux plaques ainsi qu'un océan de largeur inconnue a été raccourci de plusieurs centaines de kilomètres (**Figure 2**). Le résultat du raccourcissement est que les différents ensembles rocheux (marges continentales et fonds océaniques) se sont empilés les uns sur les autres et que la plus grande partie de la **croûte océanique** a disparu dans les profondeurs. En même temps, toutes les roches ont été transformées par le **métamorphisme**.

La Lauzière fait partie de ce que les géologues appellent les «**Massifs Cristallins Externes**». Il s'agit d'un **domaine paléogéographique** qui correspond au continent européen tel qu'il était avant la formation des Alpes. Les roches qui le constituent sont donc identiques à celles que l'on connaît dans la partie Est du Massif Central : un **socle** d'âge Primaire (Paléozoïque) et une **couverture** sédimentaire d'âge Secondaire - voir l'échelle des temps géologiques ci-dessous. Mais tout le Cristallin Externe a été considérablement bouleversé lors de la formation des Alpes car cette partie de la **croûte continentale** européenne a été impliquée dans la **collision**.

Échelle des temps géologiques (limitée aux terrains présents en Lauzière)

Les terrains de l'ère Primaire ou Paléozoïque (de 542 à 251 millions d'années = **Ma** - **cette abréviation sera utilisée dans tout le texte**) sont représentés par un **socle métamorphique**, plus vieux que 300

Ma comprenant des terrains d'âge Cambrien (542 - 488 Ma) à Dévonien (416 - 359 Ma), et par les **roches détritiques** et riches en **charbon** du Carbonifère (359 - 299 Ma) et du Permien (299 - 251 Ma).

Les terrains de l'ère Secondaire ou Mésozoïque (de 245 à 65 Ma) comportent :

- les **grès, calcaires, dolomies** et **gypses** du Trias (251 - 199 Ma),
- les calcaires et **schistes** du Jurassique (199 - 145 Ma) - le Lias (196 - 175 Ma) fait partie du Jurassique, c'est à cette époque que s'ouvre l'océan alpin (**Figure 2**),
- La **subduction** de l'océan alpin a commencé au Crétacé (145 - 65 Ma) et les roches sont très diverses d'un domaine à l'autre.

Au Cénozoïque (de 65 Ma à nos jours) les Alpes se forment à la faveur de la **subduction** de l'océan alpin sous la plaque africaine puis de la **collision** entre Europe et Afrique. Le Quaternaire, dernière période du Cénozoïque, depuis 1,65 Ma, est marqué par les moraines, alluvions, cônes de déjection, d'avalanches et les éboulis.

Toute la **morphologie** du massif témoigne de l'action des glaciers. Nous sommes actuellement en décrue du «Würm» qui est la dernière période glaciaire, vers -18000 ans, mais

cette décrue a pu être interrompue par quelques avancées des glaciers comme celle datant de 1550 à 1860 - le petit âge glaciaire - qui a laissé des arcs morainiques bien conservés.

Ainsi, deux entités bien distinctes sont présentes dans les Alpes, elles correspondent à des roches différentes (voir **socle**) :

-> *les roches qui étaient déjà présentes avant le Trias* et qui correspondent à une vieille chaîne de montagne. C'est la **chaîne hercynienne** qui a été complètement arasée par l'érosion bien avant que ne s'ouvre l'océan alpin. Les **granites** et **micashistes** du Massif Central, de Bretagne et des Vosges (et des Massifs cristallins externes des Alpes) correspondent à cette vieille chaîne de montagne. Les grès du Permien et du Trias sont les produits de la démolition par érosion de la chaîne hercynienne.

-> *les roches qui se sont déposées pendant et après l'ouverture de l'océan alpin*, sur ses bords, ou pendant la subduction.

Un troisième ensemble, qui n'existe pas dans la Lauzière, correspond aux produits de la démolition des Alpes elles-mêmes. Ce sont les «molasses» du Plateau Suisse et du Bas Dauphiné.

Quelques définitions

subduction, collision :

Quand l'Europe s'est approchée d'un promontoire de l'Afrique, l'Adriatique, la disparition progressive par **subduction** de l'océan alpin situé entre les deux a produit, vers 50 millions d'années, une **collision** entre les deux masses continentales (voir **Figure 2**). L'Europe s'est alors enfoncée sous l'Afrique en se déformant. L'épaississement correspondant de la croûte continentale a produit **plis** et **nappes de charriage** ainsi que les modifications du régime des températures responsables du métamorphisme.

roches détritiques :

roches qui correspondent à l'accumulation de débris provenant de la destruction de reliefs. Une accumulation de galets correspondra aux **conglomérats** et les sables formeront des **grès** lorsqu'ils seront consolidés. Les particules très fines, riches en argiles, sont consolidés pour donner des **argilites**, des **pélites**, puis des **schistes**.

croûte océanique, croûte continentale : la croûte est l'enveloppe superficielle de notre planète, elle est de composition et d'épaisseur différente lorsqu'elle est océanique (composition basaltique, épaisseur moyenne de 8 à 10 km), ou continentale (composition moyenne de granite, épaisseur moyenne de 35 km). La croûte surmonte le **manteau** composé de **péridotites**.

Calcaire : roche constituée de calcite (carbonate de calcium). La plupart des calcaires sont d'origine biologique, il ont été construits par des organismes vivants (par exemple récifs coralliens), dans des mers peu profondes.

Dolomie : roche formée de dolomite (carbonate de calcium et de magnésium) qui s'est déposée dans des lagunes, en conditions tropicales. Calcaires et dolomies sont difficiles à distinguer sur le terrain. Les dolomies sont souvent jaunâtres et à toucher plus rugueux que les calcaires.



Figure 3 - Col des Aiguillons, entre les vallons des Plans et de la Valette.

charbon : roche noire, très riche en matière organique. C'est le produit de la décomposition de végétaux - par exemple, les forêts de fougères du Carbonifère - soumis à l'action de la chaleur et de la pression.

gypse : roche blanche (sulfate de calcium hydraté) d'aspect saccharoïde, massive et/ou finement litée. Il s'est déposé dans des lagunes ou des «marais salants» naturels, tout comme le sel gemme (sel de cuisine).

schiste, schiste noir, schiste vert :

il s'agit de roches sédimentaires détritiques très fines, riches en argiles. Un schiste noir contient de la matière organique, en plus faible proportion que dans le charbon. Par contre on parlera de schistes verts pour des roches dont les éléments sont d'origine volcanique et qui ont subi un **métamorphisme** faible. Dans tous les cas le débit en feuillets (**schistosité**) est le résultat de la **déformation** et de la recristallisation des minéraux argileux qui se transforment en micas très fins.

métamorphisme : c'est la transformation à l'état solide d'une roche sous l'effet de la température et de la pression, il s'accompagne de la cristallisation de nouveaux minéraux.

domaine paléogéographique :

A l'époque du dépôt des sédiments la géographie était variée - continents, océans, mers peu profondes, lacs, montagnes, vallées, glaciers - et a varié au cours du temps. Le dépôt des couches les unes sur les autres est donc à l'image de ces changements géographiques. Puisque chaque type de paysage correspond à des types de roches particulières, on peut reconstituer en chaque point l'évolution des paysages et définir des domaines qui montrent des évolutions analogues. Bien entendu, dans les chaînes de montagne, les bouleversements profonds (voir **collision**) ont déplacé en bloc ces domaines paléogéographiques qui se sont chevauchés les uns sur les autres. Des ensembles rocheux plus anciens ou d'origine lointaine peuvent ainsi être actuellement superposés sur des ensembles plus jeunes qui n'ont pas bougé (**nappes de charriage**).

Granite : - Avec un « e », c'est, pour les géologues, une roche plutonique (voir plus loin) à grains bien visibles et de teinte claire, constituée de cristaux de quartz, de feldspaths et de micas.

- **Sans « e » (granit)**, c'est pour les marbriers n'importe quelle roche grenue dure, qui peut être polie pour en faire une pierre tombale, un comptoir de bar ou un revêtement de façade.

Il faudra donc toujours parler de «granite» quand il s'agit de roches naturelles, non transformées par l'homme.

socle : restes d'une ancienne chaîne de montagne érodée, sur lesquels de nouveaux sédiments se sont déposés. Un **socle polymétamorphique** a subi plusieurs épisodes de métamorphisme. Dans les Alpes, le métamorphisme alpin s'est surimposé à un métamorphisme plus ancien qui date de la formation d'une chaîne de montagnes antérieure au Trias, la **chaîne Hercynienne** (formée entre 380 et 300 Ma) qui a été arasée et qui a été re-métamorphisée lors de la formation des Alpes. On parlera de **couverture** pour les séries sédimentaires déposées sur un socle.

déformation, plis : lorsqu'il y a compression, lors d'une collision, les couches géologiques se déforment et se plissent. En profondeur, les minéraux se ré-organisent selon des plans parallèles au plan de symétrie de ces plis - c'est la **schistosité** qui correspond presque toujours au débit principal des roches.

nappe de charriage : ensemble rocheux déplacé qui recouvre un autre ensemble dont il était éloigné à l'origine. A sa base, une nappe est limitée par un **contact dit «anormal» ou contact «tectonique»** souligné par des roches broyées, laminées (**mylonites**) ou par des gypses qui ont servi de lubrifiant - le gypse est très déformable.

poli glaciaire : surface rocheuse laissée à nu après le retrait d'un glacier. Lorsque le glacier est parti depuis longtemps, on parlera plutôt de «roches moutonnées», expression imagée pour décrire la forme en creux et bosses laissée par le passage du glacier. Des stries sont souvent présentes sur ces surfaces, résultat des sillons creusés par les blocs enchassés à la base du glacier lorsqu'il était actif.

morphologie : c'est la forme actuelle du relief qui dépend surtout de l'action de l'érosion (glaciers, rivières) et qui se traduit différemment selon la dureté des roches.

II - LA GÉOLOGIE DE LA LAUZIÈRE

La Lauzière est le Massif Cristallin Externe qui s'étend entre la Maurienne et la Tarentaise - vallées de l'Arc et de l'Isère. Il fait suite, vers le Nord, au massif de Belledonne (**Figures 1, 4 et 5**). La continuité géologique est parfaite entre Belledonne au Sud, la Lauzière et le massif du Grand Mont-Beaufort au Nord.

On trouvera une excellente description de la géologie du massif de la Lauzière et de magnifiques photos de minéraux dans le numéro spécial de la revue «Le Règne Minéral» consacré à ce massif en 2000.

Le bord Ouest du massif de la Lauzière est marqué par un **contact tectonique** majeur, le «**synclinal médian**», qui comporte des roches sédimentaires du Trias et du Lias et sépare la Lauzière du massif du Grand Arc. C'est en fait une grande **faille**, bor-

dée par une étroite gouttière de roches sédimentaires qui se prolonge au Sud jusqu'à la latitude de Grenoble et, au Nord, dans le Beaufortain.

La Lauzière est limitée à l'Est par une grande faille qui peut être suivie depuis le Beaufortain jusqu'au delà du Col d'Ornon, en Oisans ; c'est une faille qui a fonctionné de nombreuses fois depuis son premier jeu qui date de l'ouverture de l'océan alpin (pendant le Lias).

De l'Ouest vers l'Est on rencontre successivement (Figure 5) :

- Le **granite** d'Epierre, prolongement nord du granite des Sept Laux (Belledone).

- Un ensemble de **gneiss**, de **micaschistes** et de **leptynites** avec rares niveaux d'**amphibolites**.

- Une formation de **schistes verts** et d'amphibolites correspondant à un ensemble volcanique et sédimentaire d'âge Dévonien à Carbonifère inférieur.

- Un ensemble de gneiss, d'**orthogneiss** et de granites (complexe du Colomban) est recoupé, à l'Est, par le granite de la Lauzière, plus tardif. Les granites d'Epierre et de la Lauzière ont été datés à 335-340 Ma.

- Un ensemble de gneiss (formation des Monts), d'amphibolites et de leptynites très semblable au **complexe leptyno-amphibolique** défini dans le Massif Central.

- Une série conglomératique, gréseuse et schisteuse, la série de Villard-Benoît est datée du Carbonifère supérieur car, au Col de la Madeleine (Homme de Beurre), elle contient des fossiles de fougères caractéristiques de cette époque.

- Des gneiss, des **micaschistes** et des **orthogneiss** très **mylonitisés** (formation de Bonneval). Les contacts entre cet ensemble et la série carbonifère sont très difficiles à préciser car tout a été très déformé pendant la tectonique alpine ; la schistosité très forte des roches date de cette époque.

Tous ces ensembles sont plus vieux que 300 Ma. Ils correspondent donc à une histoire ancienne, anté-alpine - la vieille chaîne hercynienne - mais toutes les roches ont été déformées et recristallisées lorsque les Alpes se sont formées et que les massifs cristallins externes se sont soulevés, il y a 25 millions d'années.

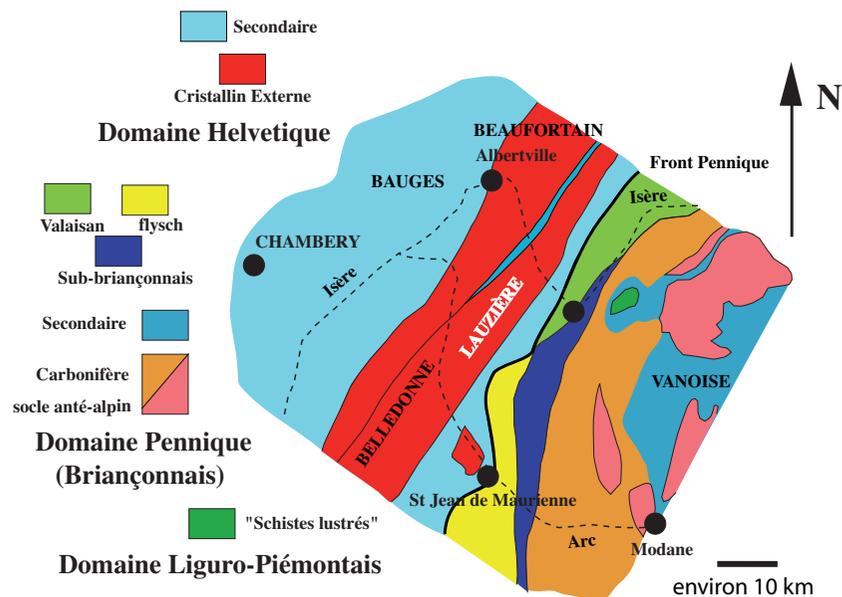


Figure 4 - Situation géologique de la Lauzière. Le domaine Helvétique (ou Dauphinois) correspond à la croûte continentale européenne déformée lors de la collision (voir **domaine paléogéographique**). Le domaine Pennique (ou Briançonnais) est un micro continent coincé entre Europe et Afrique. Le domaine Liguro-Piémontais correspond à l'ancien océan alpin. Consultez le site www/geol-alp.com pour en savoir plus.

Faille : cassure ou plan de discontinuité recoupant les couches sédimentaires avec un déplacement vertical ou latéral d'un compartiment par rapport à l'autre. Lorsque le déplacement est latéral on parlera de **décrochement**.

synclinal : pli en forme de gouttière où les terrains les plus jeunes sont au coeur ; au contraire, un **anticlinal** est en forme de dos d'âne et les terrains les plus anciens sont au centre.

orthogneiss : une roche d'origine magmatique est aplatie ou étirée lors du métamorphisme et de la déformation - dans la Lauzière il s'agit d'anciens granites.

amphibolite : roche sombre, constituée d'amphibole et de feldspath résultant du métamorphisme d'un basalte (roche volcanique riche en fer et en magnésium).

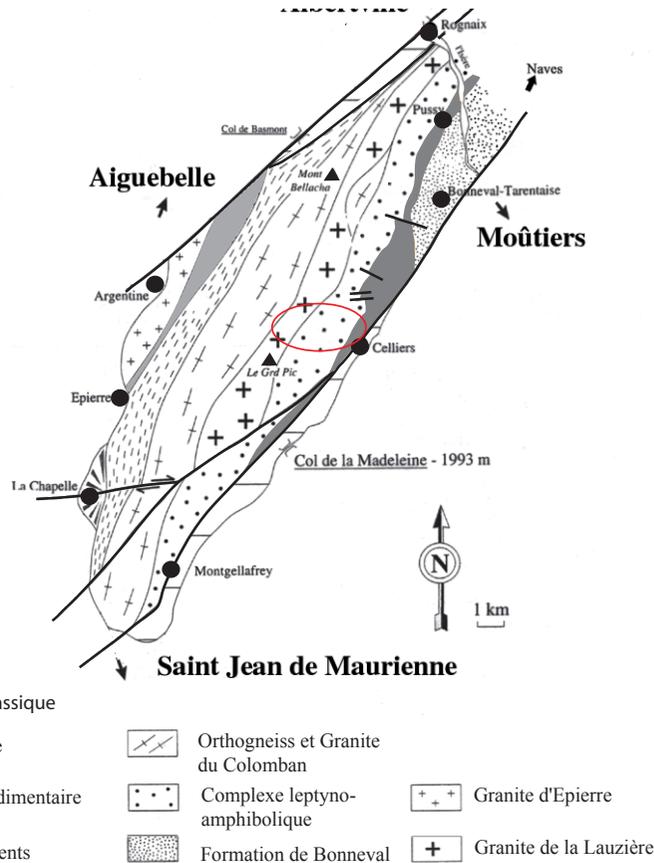


Figure 5 - Carte géologique schématique du massif de la Lauzière. Le secteur du vallon du Bridan est indiqué en rouge.

Dans la Lauzière, la manifestation la plus nette de cette histoire alpine correspond à ce que les géologues appellent les «fentes alpines», célèbres

dans les massifs du Mont Blanc et de l'Oisans pour les magnifiques cristaux de **quartz** qu'elles contiennent. Dans toute la bordure orientale de la Lauzière - y compris dans les granites - un

micaschiste : schiste très riche en micas. Cette richesse en micas est due à la transformation des argiles en micas au cours du métamorphisme. Un **gneiss** est une roche rubanée où alternent des lits clairs (feldspath et quartz) et des lits riches en micas.

quartz : oxyde de silicium. Il forme des cristaux limpides, incolores, bruns ou mauves, terminés par une pyramide - cristal de roche - mais aussi des amas blanchâtres sans forme cristalline nette.

réseau complexe de veines de quartz s'est mis en place pendant la déformation alpine. Les veines les plus anciennes datent de 15 Ma. Elles sont horizontales à faiblement inclinées, avec des fibres de quartz verticales ce qui nous indique qu'elles correspondent au mouvement de soulèvement du massif. D'autres veines, plus tardives, sont verticales. Disposées **en échelons** (**Figure 6**), elles indiquent que la grande **faille** qui borde le massif à l'Est a fonctionné en **décrochement**. C'est dans ces veines que la plupart des minéraux exceptionnels ont été trouvés - on citera surtout l'**anatase** et la **monazite** (**Figure 7**) mais il y a parfois de l'or et du **béryl**. Ce sont les monazites qui

complexe leptyno-amphibolique :

C'est une formation métamorphique d'âge Paléozoïque inférieur, définie dans le Massif Central, caractérisée par l'alternance de roches à quartz et feldspath (leptynites) et de roches riches en fer et magnésium (amphibolites).

leptynite : roche blanche formée de quartz et de feldspath qui résulte du métamorphisme d'une roche magmatique à quartz et feldspath, comme le granite, mais très pauvre en mica.

ont pu être datées car elles contiennent de l'uranium et du thorium radioactifs. Elles ont fourni des âges entre 11 et 5 Ma pour les veines verticales.

Ce sont des âges très jeunes, contemporains des tout premiers hominidés (Toumai : 7 Ma) et du grand épisode d'assèchement de la Méditerranée (entre 5 et 6 Ma). Ils montrent que certains événements alpins sont très récents et que l'histoire alpine n'est pas terminée : les mesures de nivellement (GPS) indiquent un soulèvement en cours des massifs cristallins externes de l'ordre de 1 à 2 millimètres par an, variable selon les massifs. Les Alpes sont donc toujours vivantes.



fentes en échelons : lors de la déformation cassante, des fentes discontinues mais parallèles s'ouvrent perpendiculairement par rapport à la direction d'étirement de la roche. Si des minéraux cristallisent pendant cette ouverture (ex : veines de quartz), ils formeront des fibres parallèles à la direction d'étirement.



Figure 6 - Entre-deux-Roches : fentes alpines «en échelons» dans le granite de la Lauzière.

L'**anatase** est un oxyde de titane qui forme en Lauzière de beaux cristaux noirs en doubles pyramides. La **monazite** (voir photo) est un phosphate de thorium et de terres rares (cerium, lanthane ...) de teinte orange à rosée. Le **béryl** est un silicate d'aluminium et de béryllium de belle couleur bleue. On trouve ces cristaux dans les fentes tapissées de quartz.



Figure 7 - Cristal de monazite rose provenant d'un filon d'Entre-deux-Roches, au Sud du Grand Pic - taille environ 2 mm.

III - QU'EST-CE QU'UN GRANITE ?

Le **granite** est une roche très courante qui fait partie de la grande famille des **roches plutoniques**.

*Comment un granite se fabrique-t-il ?
et pourquoi observe-t-on du granite à la surface ?*

Le granite est le résultat de la cristallisation d'un «**magma**», résultat de la fusion de minéraux à haute température (> 650°C). Le magma monte dans la croûte terrestre car il est moins dense que les roches qui l'entourent et s'installe comme il peut - voir détails plus loin - sans jamais atteindre la surface comme les laves volcaniques - voir **Figure 8**. Pour qu'il affleure à

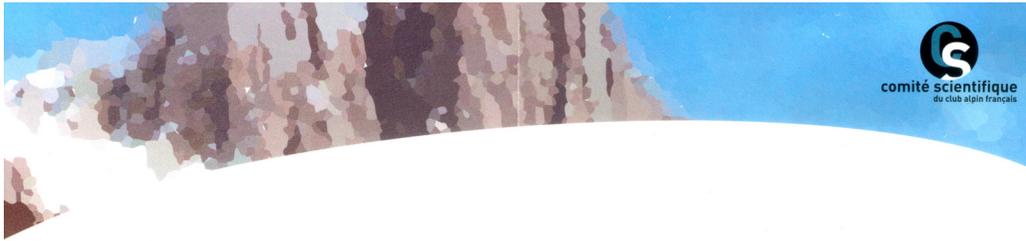
Roche plutonique : on nomme ainsi toute roche provenant de la cristallisation en profondeur - plusieurs km - d'un **magma** = résultat de la fusion de minéraux. Par opposition, les **roches volcaniques**, elles aussi formées à partir d'un magma, se sont écoulées à la surface et ont cristallisé à l'air libre. On explique ainsi les différences de texture et de taille de grain des roches de ces deux familles, même si les compositions chimiques et minéralogiques peuvent être identiques. Une lave (roche volcanique) cristallise très vite à cause du choc thermique lorsque le magma s'écoule à la surface : la taille des cristaux formés sera microscopique. Par contre, un granite (ou n'importe quelle roche plutonique) restera pendant longtemps bien au chaud en profondeur et cristallisera lentement, d'où la taille millimétrique (à centimétrique) de ses grains.

la surface, il faut qu'il soit dégagé ultérieurement par l'érosion et donc que toute la croûte se soit soulevée et ait été érodée. C'est ce qui se passe en général vers la fin de l'histoire d'une chaîne de montagnes.

Pour les lecteurs plus curieux, des détails sont à lire dans les paragraphes suivants.

Granites et magmas pour les géologues

Au départ il nous faut un magma, c'est à dire le produit de la fusion de minéraux. C'est facile à dire mais, quand on sait que les minéraux des granites, pris séparément, ne fondent qu'à une température supérieure à 1100 ou 1400°C, il faut aller vraiment très bas dans les profondeurs de la terre pour atteindre de telles températures.



La variation de température avec la profondeur (gradient géothermique) est voisine de 30°C par km près de la surface. Le gradient géothermique diminue en profondeur : on admet une valeur moyenne de 20°C/km pour la croûte continentale. Cela nous donne une température voisine de 700°C à la base de la croûte continentale dont l'épaisseur moyenne est de 35 km. Le gradient géothermique diminue encore dans le manteau et on atteint une température d'environ 1400°C vers 100 km, ce qui permet le début de fusion des roches qui constituent le manteau (péridotites).

Il y a donc un problème car, là où la température est suffisante pour faire fondre des roches pour former un magma - vers 100 km de profondeur - , on ne trouve rien qui ait la composition chimique d'un granite - il n'y a plus de silicates riches en aluminium, sodium, potassium et calcium. En effet, les roches du manteau qui se trouvent à ces profondeurs sont des péridotites, roches formées surtout par un minéral, l'olivine (silicate riche en fer et magnésium) - qui ne fond qu'entre 1200 et 1900°C selon la teneur en fer - dont la composition chimique est bien loin

de celle des minéraux qui forment un granite (silicates riches en aluminium, sodium, potassium et calcium).

Comment résoudre ce paradoxe ?

Fort heureusement, les températures de fusion sont plus basses lorsque plusieurs minéraux coexistent. De plus, le début de fusion d'un mélange de composition granitique (Quartz + Feldspath + Mica), ce qui correspond à la composition moyenne de la croûte continentale est considérablement abaissé en présence d'eau et d'autres éléments volatils (vers 650°C sous 10 kilobars de pression, soit environ 30 km de profondeur). Ces conditions de composition et de température correspondent à la base de la croûte continentale qui peut donc fondre, s'il y a assez d'eau présente, pour donner naissance à un magma de composition granitique.

Où se fabrique le granite ?

D'après ce qui précède, on peut se rendre compte que, pour qu'il y ait

Roches volcaniques : lorsque les magmas atteignent la surface, en s'insérant dans les fractures (-> filons) ou émergeant sous la forme de volcans

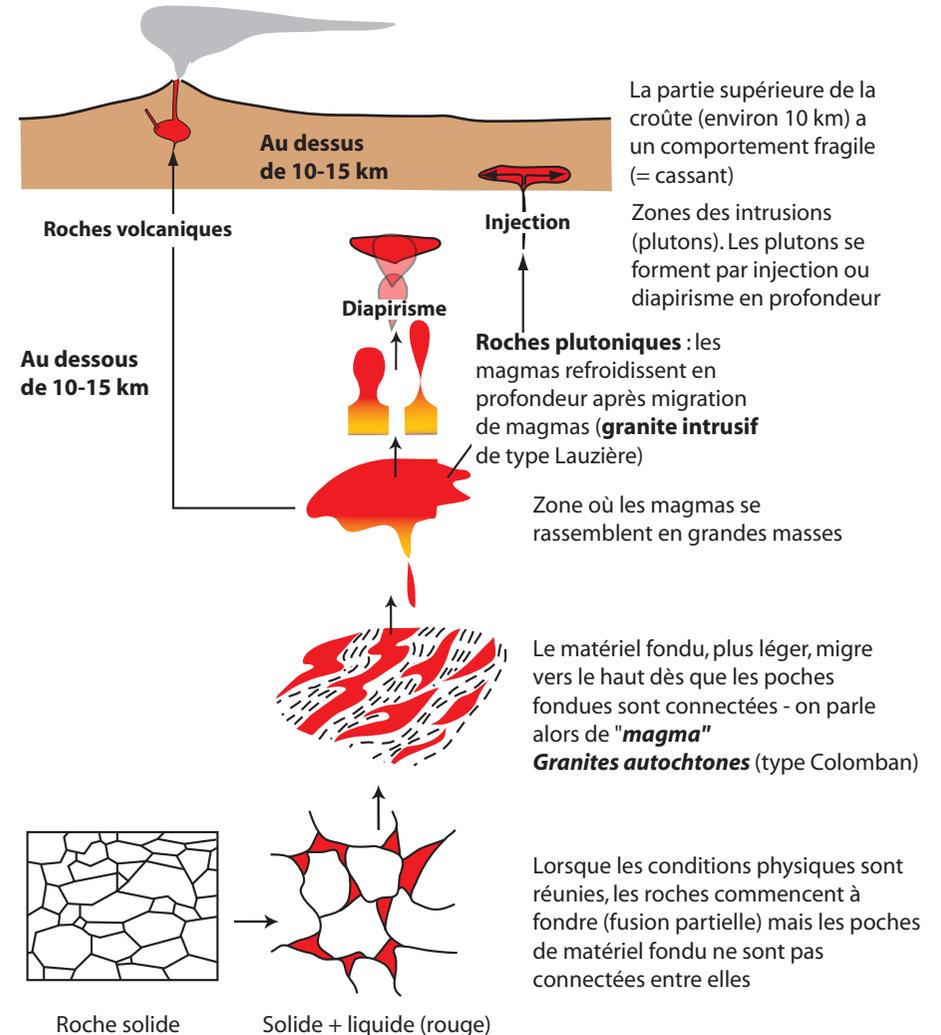


Figure 8 - Comment les magmas se forment et montent dans la croûte continentale. La base du schéma du haut correspond à la limite fragile-ductile (voir texte).



un magma de composition granitique en quantité notable, il faut que des températures de plus de 600°C soient atteintes dans la croûte continentale et qu'il y ait de l'eau. Le problème principal est donc d'amener de l'eau en profondeur.

Ces conditions sont réunies lorsque deux plaques continentales entrent en collision pour former une chaîne de montagne. Dans ce cas, la croûte continentale est épaissie par des chevauchements (nappes de charriage), comme dans les Alpes ou l'Himalaya, et des ensembles rocheux riches en eau (sédiments superficiels) se trouvent portés à des profondeurs où la fusion est possible.

Que se passe t'il quand un granite se met en place ?

Que se passe t'il maintenant que l'on a produit du magma granitique ? Nous nous trouvons au moins à 25-30 km de profondeur. Il fait très chaud et tout est encore bien mou (voir **Figure 8**).

Quand la fusion est suffisamment avancée - nombreuses goutelettes de magma isolées au début du processus - le volume de magma devient tel que les

goutelettes se rassemblent et peuvent migrer dans les roches qui l'entourent. Le magma migre vers le haut car sa densité est en général plus faible que celle de son entourage et sa viscosité est moins élevée. La migration s'achève lorsque, la température diminuant en allant vers la surface, le magma commence à cristalliser.

La viscosité - capacité à s'écouler - d'un magma dépend de sa composition chimique, de sa teneur en eau et de la température. Vers 900-1000°C, un magma granitique a une viscosité voisine de celle de la paraffine (à température ambiante), alors que celle d'un basalte (fusion directe des péridotites du manteau) est voisine de celle de la crème «Mont Blanc». Par conséquent, un magma basaltique migrera beaucoup plus vite vers la surface où il alimentera les volcans, qu'un magma granitique plus pâteux.

La migration des magmas est facilitée par la présence de failles (qui jouent le rôle de conduit). Le mode de mise en place est alors dit «par injection» : il est caractéristique de la partie supérieure de la croûte continentale (domaine fragile = cassant).

Par contre dans les parties plus profondes, là où la température est plus élevée, le comportement mécanique des roches est ductile (souple et étirable). La migration des magmas peut se faire en masse sous forme de grosses bulles (on les appellera «diapirs») qui se déplacent en repoussant et en déformant les roches qui les entourent. La transition entre le domaine fragile et le domaine ductile a lieu aux environs de 10-15 km (**Figure 8**), ce qui correspond aussi à la profondeur de mise place de la plupart des granites.

IV - RANDONNÉE GÉOLOGIQUE DANS LE VALLON DU BRIDAN

Notre itinéraire part du sympathique refuge du Logis des Fées et suit la piste jusqu'au lac de l'Arpettaz (**Figures 9 et 10**). Le sentier suit ensuite la crête jusqu'au Grand Plan et rejoint le Lac de Branlay où nous étudierons le réseau de fentes alpines. Nous nous élèverons ensuite (itinéraire sans sentier, balisé par des cairns - sans difficulté mais attention quand même !) vers le lac du Lay où nous observerons les contacts de deux granites dans une série encaissante de **micaschistes** et de gneiss fins très déformés.

La morphologie du vallon est d'origine glaciaire et on admirera les belles moraines laissées par le dernier épisode glaciaire. Le lac du Branlay, bordé par une moraine, n'est plein qu'au printemps, lorsqu'il est bien alimenté, et se vide progressivement au cours de l'été : le barrage morainique n'est pas étanche et l'alimentation en eau est insuffisante lorsque la neige d'hiver a fondu.

1 - Vers le Grand Plan

Le long de la piste entre le Logis des Fées et le lac de l'Arpettaz (le Lacté sur la carte) affleure le **complexe leptyno-amphibolique**. Il est constitué d'une alternance de gneiss et de **leptynites** avec quelques **gabbros** très déformés et métamorphisés - **Coordonnées UTM : 32T, x 297,473; y 5040,241**.

Ces gabbros se sont mis en place, au début du Paléozoïque, au cours d'un épisode d'extension de la

gabbro : les gabbros sont des roches plutoniques parsemées de cristaux noirs d'amphibole et de pyroxène. Ils sont d'origine plus profonde que le granite car ils sont issus de la fusion du manteau terrestre.

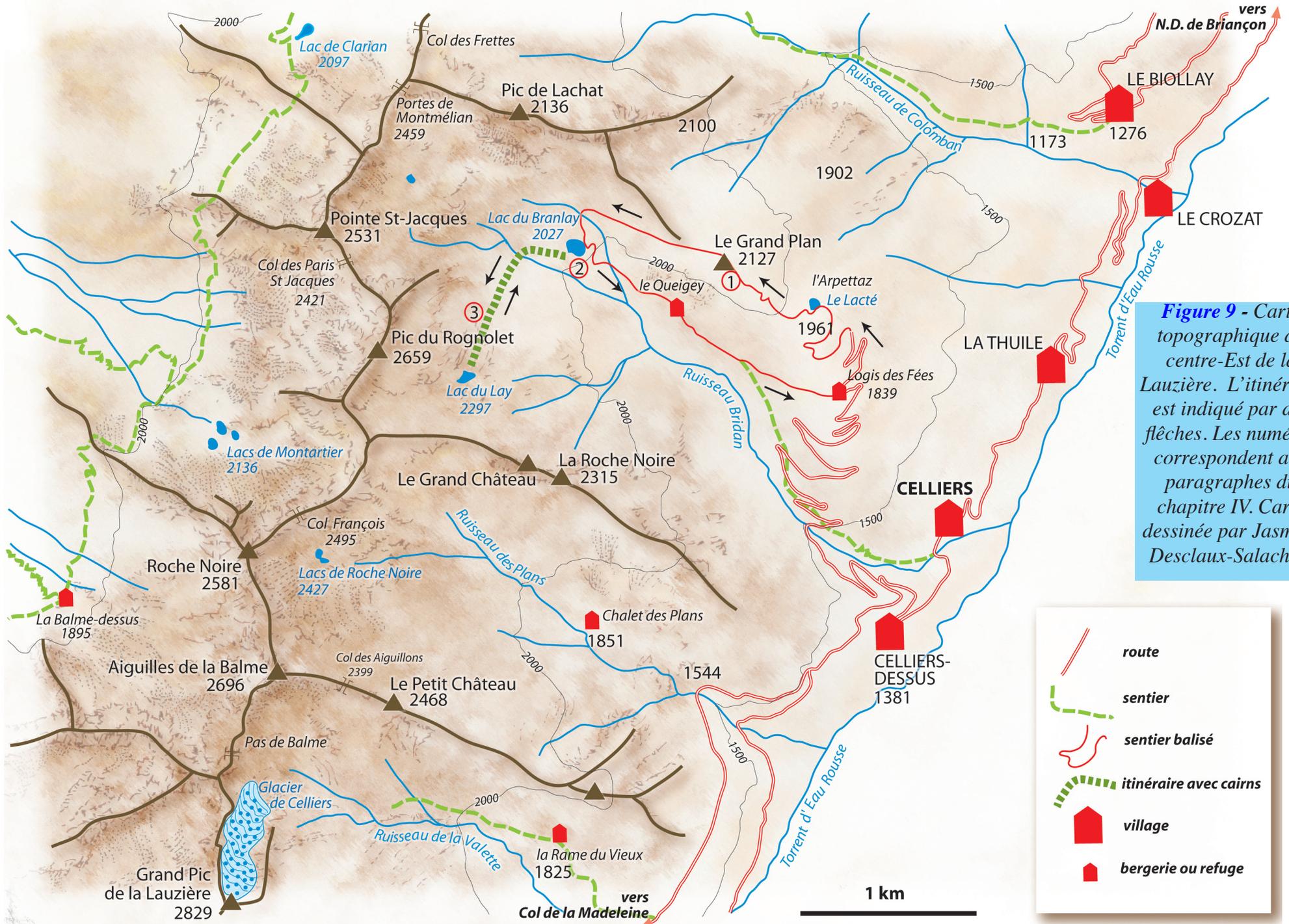


Figure 9 - Carte topographique du centre-Est de la Lauzière. L'itinéraire est indiqué par des flèches. Les numéros correspondent aux paragraphes du chapitre IV. Carte dessinée par Jasmine Desclaux-Salachas.

	route
	sentier
	sentier balisé
	itinéraire avec cairns
	village
	bergerie ou refuge



croûte continentale que l'on connaît dans toute l'Europe hercynienne.

Lorsque le sentier atteint le petit col sous le petit sommet du Grand Plan

mylonite : stade avancé de la déformation des roches que l'on trouve souvent dans les contacts tectoniques - voir **roches métamorphiques** et **déformation**.



Figure 11 - Les mylonites qui affleurent sous le col du Grand Plan. La linéation se devine sur la surface de schistosité, à gauche du baton.
Coordonnées UTM : 32T- x 297,034 y 5040,851

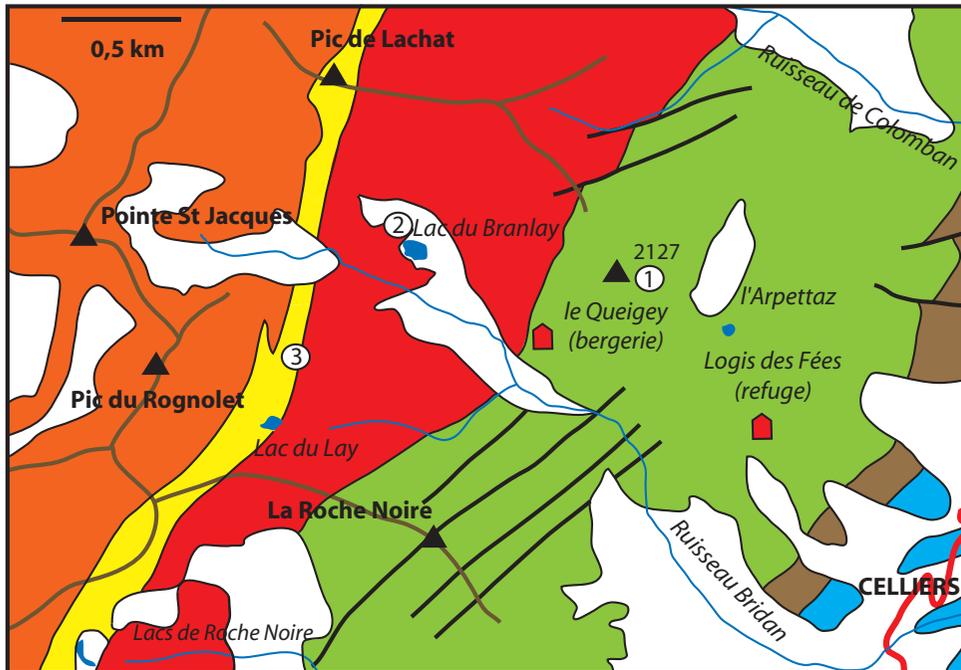


Figure 10 - Géologie simplifiée des environs de Celliers (d'après la carte géologique : La Rochette, 1/50 000) - voir la figure 5 pour la localisation. Les numéros correspondent aux zones d'affleurements du chapitre IV.

Signification des couleurs, de gauche à droite :

- **brun clair** : granite du Colomban - **jaune** : métasédiments, zone de bordure hétérogène à injections granitiques - **rouge** : granite de la Lauzière - **vert** : formation des Monts - **brun foncé** : Carbonifère supérieur - **bleu** : Trias et Lias 23

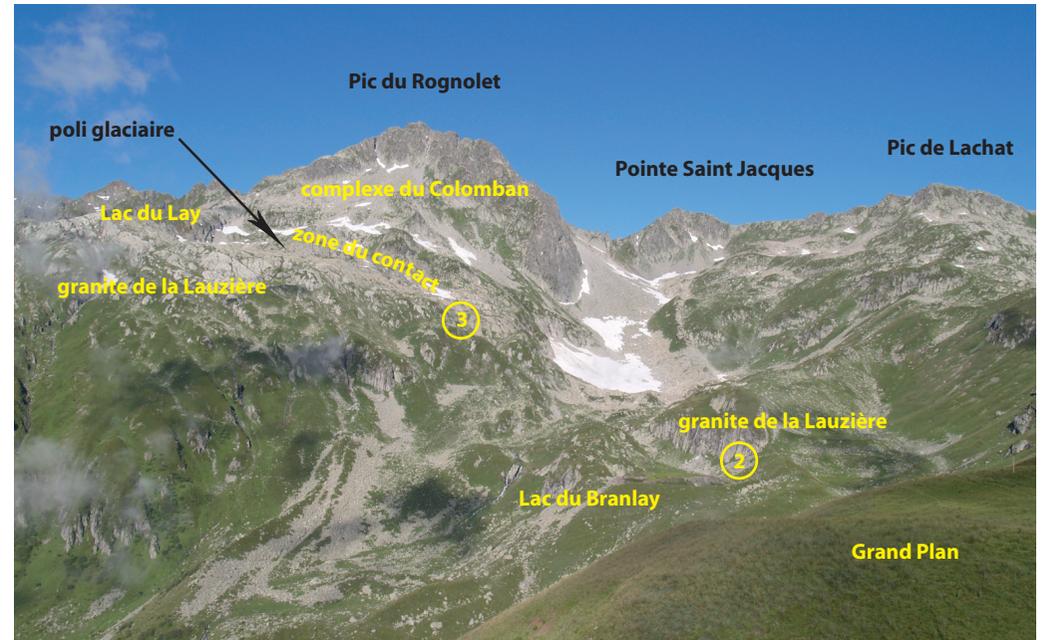
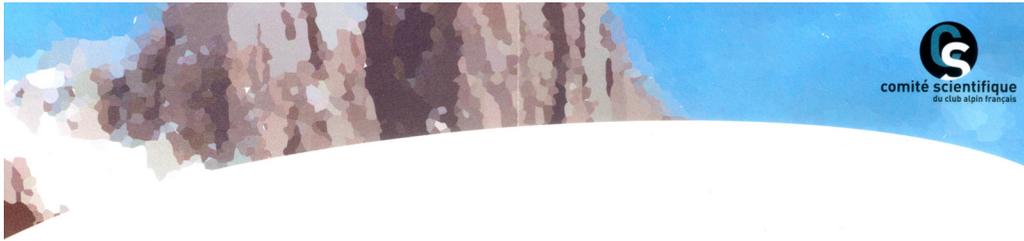


Figure 12 - La combe du Branlay vue du Grand Plan (1) - où on pourra voir les veines de quartz au dessus du lac du Branlay (2), avant de monter vers le lac du Lay (3) pour observer le contact Ouest du granite de la Lauzière. La bande de micaschistes et de gneiss fins se devine entre le grand névé et le lac du Lay (bande légèrement plus sombre). Les numéros renvoient aux zones d'affleurement décrites dans le texte. 24



(2127 m), les roches qui affleurent sont très déformées (**Figure 11**). Ce sont des **mylonites**. En les observant de très près, on voit sur la surface de schistosité des alignements presque horizontaux de petits cristaux - ce que nous appelons une linéation - qui indiquent que la déformation responsable de cette schistosité correspond à un déplacement latéral (décrochement), qui est antérieur à la mise en place du granite (des filons de granite recoupent les mylonites).

Pendant toute la traversée descendante vers le lac de Branlay on peut admirer le panorama du cirque du Bridan dominé par le Pic du Rognolet (**Figure 12**). Du granite très frais (non altéré) affleure le long du sentier. C'est le **granite de la Lauzière**, très homogène et non déformé.

2 - Le Rocher du lac de Branlay

En arrivant au lac (**Figure 13 et 14**), on se dirigera vers le pied de la falaise qui borde le lac au Nord pour y observer les veines de quartz qui zèbrent

la paroi (**Figure 15**). Les veines de quartz sont bien visibles au pied de la partie droite de la paroi. De très près, on observera les bords des veines qui sont tapissés de très fines aiguilles d'**épidote** de couleur vert-pistache (**Figure 16**). On remarquera que toutes les aiguilles sont orientées verticalement, presque perpendiculairement aux veines.

Certaines veines sont très peu épaisses (1 cm). On pourra mieux observer ces veines sur le gros bloc (de plusieurs mètres cube) récemment éboulé au pied de la paroi.

Explication : ces veines, appelées «fentes alpines» par les géologues, sont le résultat de la surrection du massif de la Lauzière lors de la formation des Alpes, à partir de 25 Ma. Le granite, et l'ensemble des roches métamorphiques qui forment la Lauzière sont plus vieux que les Alpes (hercynien = avant 300 Ma). Tout l'ensemble a été soulevé à partir de 15 Ma, en se fracturant et en s'étirant. Les fibres verticales d'épidote ont cristallisé parallèlement à la direction d'étirement des roches. Les veines se sont formées à une température, de 350 à 400°C, insuffisante pour que les roches aient

Figure 13 - Le Rocher et la moraine du lac du Branlay (le lac est vide car la photo a été prise au mois de septembre). L'itinéraire vers le lac du Lay part en haut du triangle herbeux (flèche de gauche) avant le névé, sur la gauche de la photo.

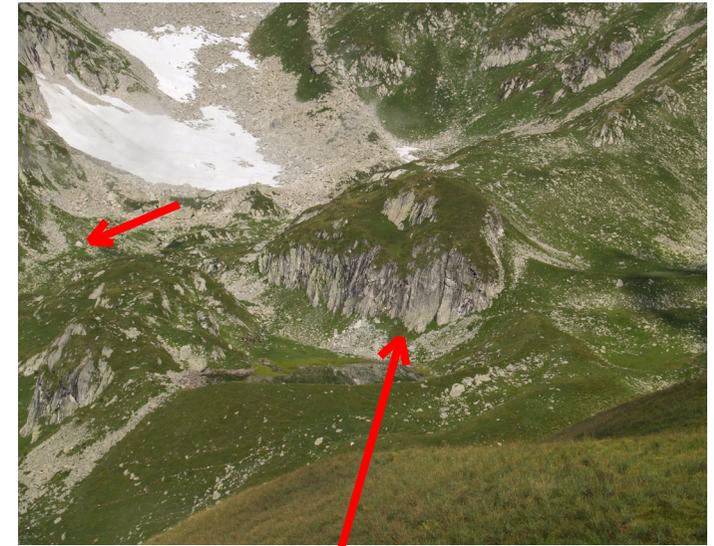


Figure 14 - Veines de quartz du Rocher du Branlay, partie droite de la paroi du Rocher du Branlay.
Coordonnées UTM : 32T, x 296,137; y 5040,999



chlorite : silicate hydraté en feuillets voisin des micas. La chlorite contient fer, magnésium, manganèse. La chlorite est caractéristique du métamorphisme de faible intensité (<400°C), et très fréquente dans les veines hydrothermales.

épidote : silicate hydraté d'aluminium, de fer et de calcium de couleur souvent verte - mais la couleur varie en fonction des éléments chimiques en traces (par ex. rouge pour le manganèse). L'épidote est fréquente dans les roches métamorphiques et dans les veines hydrothermales.



Figure 15 - Les veines de quartz du Rocher du Branlay. Plusieurs générations peuvent localement se recouper. La grosse veine dont l'épaisseur est variable, est la plus récente.
Coordonnées UTM : 32T, x 296,127 ; y 5040,991



Figure 16 - Sur le gros bloc éboulé, veine de quartz presque horizontale, peu épaisse avec fines aiguilles d'épidote de couleur pistache (échelle : pièce de monnaie). Ce sont les fentes alpines les plus anciennes (datées à 15 Ma dans le massif de Belledonne).

un comportement ductile. Elles se sont donc fracturées et des fluides chauds, très riches en silice et autres éléments chimiques, ont circulé dans les fentes, ils ont permis la cristallisation du quartz de l'épidote et de la chlorite - c'est l'hydrothermalisme.



Figure 17 - Sur la gauche de la paroi du Branlay, réseau de filonets d'aplite - c'est la fin de l'histoire magmatique du granite de la Lauzière (335 Ma). Coordonnées UTM : 32T, x 296,051 ; y 5040,957

Attention, dans la partie gauche de la paroi, lorsqu'on se dirige vers le torrent pour accéder au cheminement vers le lac du Lay, un autre type de veines claires peut être observé (**Figure 17**). Contrairement aux précédentes, elles ne sont pas toutes rectilignes mais souvent contournées, irrégulières. Ce ne sont pas des fentes alpines mais des filonets d'aplite directement liés à la fin de la mise en place du granite, pendant les temps hercyniens. On les reconnaît car ce sont des roches blanches, à grain très fin, qui contiennent du quartz et du feldspath.

aplite : roche blanche, à grain fin, composée de quartz et de feldspaths (la composition d'un granite sans micas), qui forme des filons qui ont recoupé les granites à la fin de leur mise en place.



3 - Vers le lac du Lay

Pour monter vers le lac du Lay, le cheminement est marqué par des cairns. Pour trouver le départ, il faut remonter vers la gauche, le long de la paroi du Rocher du Branlay, puis traverser le torrent principal avant de monter dans une goulotte bien marquée en suivant une trace d'animaux (les premiers cairns sont au départ de la trace - flèche sur la **Figure 13**).

Au dessus du premier ressaut de la goulotte, à l'endroit où elle se divise en deux branches, de part et d'autre d'un bastion rocheux, on arrive au contact Est du granite. Il est plus confortable de suivre ensuite la branche de gauche - réservez la pour la descente - mais pour observer les belles structures du contact sur les polis glaciaires, c'est la branche de droite qui est préférable.

Au fond de la goulotte, on observera les premiers blocs de gneiss fins, de micaschistes et d'amphibolites qui forment la série métamorphique dans laquelle le granite s'est mis en place. Cette série correspondait à un ensemble de roches volcaniques

et sédimentaires maintenant très transformé par le métamorphisme. Un gros bloc d'amphibolite peut servir de repère (*Coordonnées UTM : 32T, x 295,769; y 5040,756*). Sur les bords rocheux de la goulotte (branche de droite) on observera les premiers contacts entre le granite et les roches métamorphiques encaissantes.

Malheureusement, faute de repères cartographiques clairs dans ce paysage de roches moutonnées, il a été difficile de localiser précisément les exemples montrés sur les photos qui suivent. *Certaines photographies sont localisées (GPS) sur cette édition 2010*. Pour les autres images, nous espérons que vous retrouverez, sur les vastes polis glaciaires où tout est parfaitement visible, les objets qui sont photographiés ou, à défaut, des relations structurales similaires.

Les contacts du granite montrent des relations complexes :

- tout est presque vertical mais le contact du granite n'est pas une surface régulière, il est agrémenté de lobes et de filons plus ou moins épais qui s'insinuent dans les roches métamorphiques (**Figure 18**) ; 29

- les filons granitiques sont souvent parallèles à la schistosité mais ils peuvent aussi la recouper nettement (**Figure 19**) ;

- dans le granite, il existe de nombreuses enclaves, de taille variée, formées de gneiss fins, de micaschistes et d'amphibolites (**Figure 20**). Certaines de ces enclaves sont déjà plissées avant d'être recoupées par le granite ; d'autres montrent une schistosité déplacée par rapport à la direction de la schistosité des roches encaissantes : cela signifie que ces roches étaient déjà plissées et métamorphosées avant d'être recoupées par le granite.

Sauf près de son contact, le granite de la Lauzière est assez homogène et n'est pas déformé. Cependant, les relations décrites ici indiquent que lorsqu'il s'est mis en place - lorsqu'il a recoupé les roches métamorphiques - tout était encore très chaud et donc très déformable. C'est ce qui explique les contacts parallèles (**Figure 18**) et le déplacement des enclaves (**Figure 19**). Il faut imaginer une mise en place du granite à grande profondeur (> 15 km), là où la température est suffisante pour que les roches de l'encaissant soient ductiles et que le granite soit encore bien mobile.

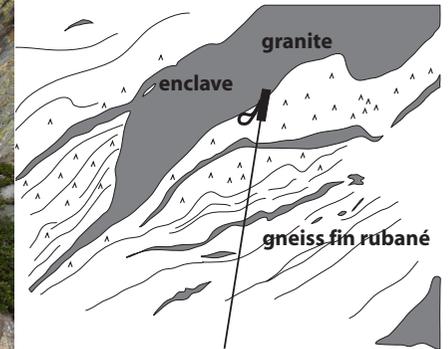


Figure 18 - Un filon de granite clair s'insinue dans la schistosité de l'encaissant - ici des gneiss fins. Ces gneiss sont rubanés et montrent une alternance de niveaux plus ou moins sombres selon la richesse en amphibole (ou/et chlorite) - niveaux volcaniques probables, riches en fer et magnésium. Sur le schéma, les niveaux les plus basiques (riches en amphibole) sont soulignés par des chapeaux chinois et le granite est en gris. Noter la petite enclave de gneiss dans le gros filon de granite. 30

En montant plus haut vers le lac du Lay, les cairns suivent la bande de micaschistes et de gneiss fins. En montant sur la ride rocheuse arrondie qui limite à l'Ouest le vallon émissaire du lac du Lay, on pourra avoir une vue d'ensemble du contact (**Figure 21**).

Si on se déplace vers la gauche (sur la ride), on restera dans la zone du contact. Par contre, vers la droite, vers le lac du Lay et son émissaire, on pourra observer des affleurements plus complexes. En effet, ce n'est pas seulement un granite que l'on peut observer ici mais plusieurs types de granite mis en place l'un après l'autre et encadrés par des épisodes de déformation.

Ainsi, trois générations de granites se succèdent :

1 - La plus ancienne se rencontre sous la forme de bandes très déformées et boudinées (étirées avec rupture) d'orthogneiss clair - **Figures 22, 23 et 24**.

2 - Un granite clair affleure vers le lac du Lay et sous le Pic du Rognolet (**Figure 25**). Il est parsemé de mini-enclaves de composition variée ; c'est probablement ce granite qui est boudiné dans les micaschistes sur les grands polis peu inclinés en aval du lac. Ce granite n'est pas homogène : c'est un granite produit par la fusion sur place de roches pré-existantes sans qu'il y ait eu de migration loin de sa



Figure 19 - Un contact où on voit que le granite recoupe franchement la schistosité du gneiss fin encaissant. Il est fluidal et il a entraîné de multiples petites enclaves de l'encaissant proche.

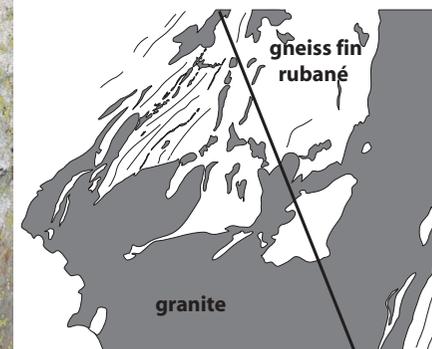


Figure 20 - Une grosse enclave sombre de roche métamorphique en bordure du granite de la Lauzière. Les petites veines très fines de granite dans le gneiss fin rubané - ici assez sombre car riche en biotite, chlorite et peut-être amphibole - indiquent que le granite s'est mis en place alors que la déformation de l'encaissant n'était pas terminée.



Figure 21 - Le contact du granite de la Lauzière sur le grand poli glaciaire situé à l'Est du lac du Lay. Le granite de la Lauzière apparaît en blanc sur la droite avec ses contours lobés. Au premier plan, un filon parallèle à la schistosité des schistes encaissants appartient probablement à ce granite.
Coordonnées UTM : 32T, x 295,640 ; y 5040,366



zone de formation. C'est le **granite du Colomban**, non daté précisément.

3 - Le granite de la Lauzière recoupe clairement les roches métamorphiques. Il s'injecte en filons plus ou moins épais dans les gneiss encaissants (voir **Figures 18, 19 et 20**) et peut même induire un début de fusion

dans ceux-ci. Le début de ce processus de fusion sur place est illustré par la **Figure 26** - c'est ce que les géologues appellent une «migmatite» (de «migma» = mélange, en grec). C'est un mélange de parties fondues et de roches qui ont échappé à la fusion.

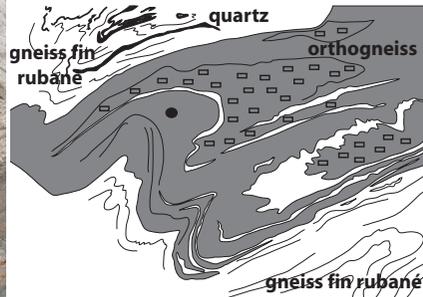


Figure 22 - A l'Ouest de l'émissaire du Lac du Lay, dans le complexe du Colomban. Déformation complexe d'un niveau d'orthogneiss où on reconnaît deux faciès : un faciès clair à grain moyen et un faciès oillé (rectangles sur le schéma). La déformation a eu lieu en plusieurs étapes successives : des plis serrés à flancs parallèles ont été replissés par des grands plis plus ouverts. Cela est visible en observant le dessin complexe des filonnets de quartz (en noir sur le schéma) et les digitations de gneiss dans le matériel granitique (en bas de la photo). La pièce de monnaie donne l'échelle.

Coordonnées UTM : 32T, x 295,599 ; y 5040,541

33

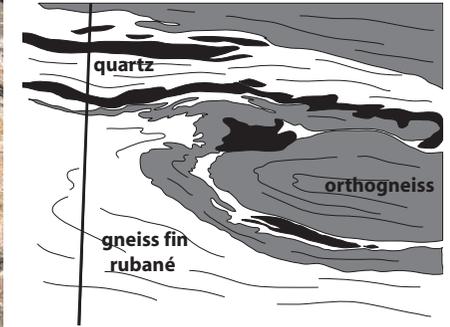
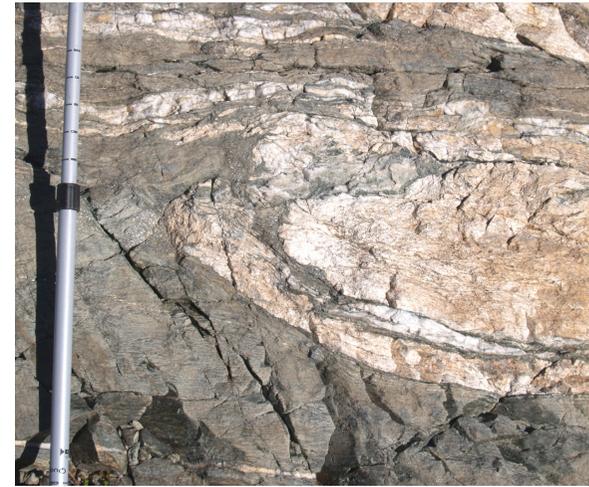


Figure 23 - Près du lac du Lay, orthogneiss (ancien filon granitique clair) plissé en même temps que l'encaissant schisteux - il était déjà folié avant d'être plissé.

Ils s'agit ici clairement d'un épisode granitique antérieur à la déformation. Noter aussi les lentilles de quartz (en noir sur le schéma) qui sont, elles-aussi, antérieures à la déformation. Ces gneiss font partie du complexe du Colomban.

Coordonnées UTM : 32T, x 295,562; y 5040,253

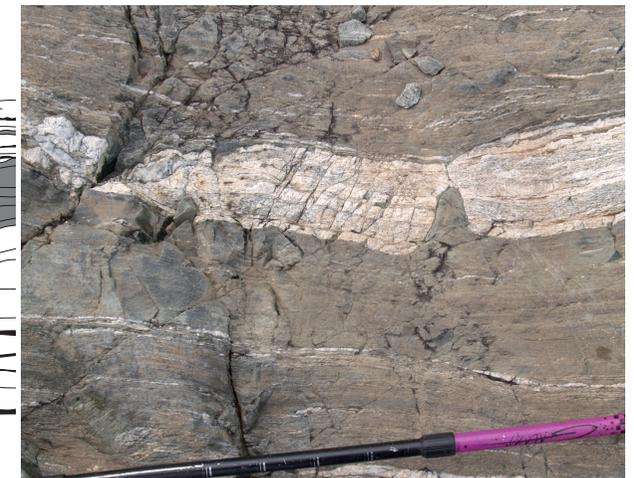
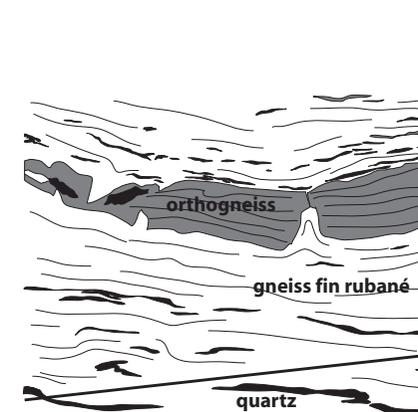


Figure 24 - Poli glaciaire à l'Est du lac du Lay. Orthogneiss clair (filon de granite clair antérieur à la déformation), boudiné par étirement dans les schistes.

Comme dans la figure 23, le quartz (en noir sur le schéma) est antérieur à la déformation des gneiss fins.

Coordonnées UTM : 32T, x 295,615; y 5040,287

34



Enfin, on remarquera au cours de ce tour d'horizon au ras des polis glaciaires, une déformation tardive, postérieure à tous les granites, qui a produit des plans de mini-décrochements très serrés (veinules en «S» sur la **Figure 27**). Il est possible que cette déformation, plus froide, soit d'âge alpin (?)

On peut rejoindre le Logis des Fées à partir du lac du Branlay par un bon sentier qui passe par la bergerie du Queigey - attention aux chiens Patous si les moutons sont au paturage. Malheureusement, ce chemin ne recoupe presque pas d'affleurements mais on observe au passage les blocs très variés de la moraine que l'on suit depuis le lac du Branlay jusqu'à la bergerie du Queigey.



Figure 25 - Au bord du lac du Lay, un gros bloc de granite clair (granite du Colomaban) lardé de petites enclaves de composition variée, de taille centimétrique. Noter la petite enclave rose (flèche) de composition siliceuse et le filon d'aplite. Situé à 10 mètres à l'Est du pli de la figure 23.

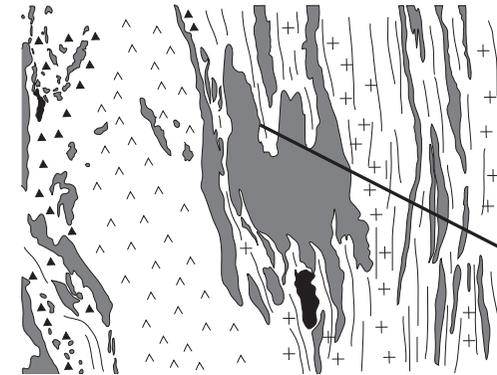


Figure 26 - Le début de fusion dans l'encaissant de gneiss fins. Un niveau massif (amphibolite - chapeaux chinois sur le schéma), a échappé à la fusion car sa composition chimique n'était pas adéquate pour fondre à cette température. Sur le schéma, les triangles pleins correspondent à une roche plus riche en biotite. Les traits fins représentent la trame gneissique préservée tandis que les croix indiquent les zones de fusion diffuse. Les lentilles en gris marquent la concentration de matériel fondu qui a recristallisé en granite. Cet affleurement est proche du contact des gneiss avec le granite de la Lauzière. Comme le montrent les relations entre ce début de fusion et un filon de granite de la Lauzière (hors champ de la photo), la fusion est liée à l'intrusion du granite qui était assez chaud pour faire fondre localement son encaissant.

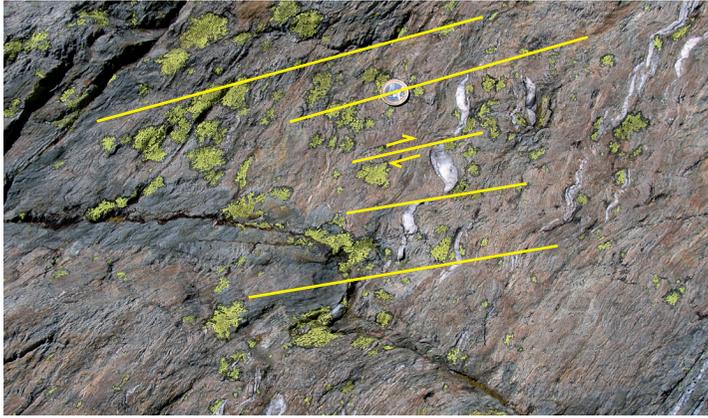


Figure 27 - Dans l'encaissant (type le plus banal) la forme en «S» des filonnets de quartz est due aux plans de mini-décrochements dextre - le déplacement le long des plans obliques s'est effectué de gauche à droite. Il s'agit peut-être de la déformation alpine superposée à l'histoire granitique hercynienne.
Coordonnées UTM : 32T, x 295,635; y 5040,452

Pour conclure cette randonnée

Le vallon du Bridan offre des conditions exceptionnelles d'observation du contexte de mise en place des granites (340-335 Ma) et de leurs transformations lors du soulèvement des Alpes externes (15 Ma). Vous avez pu observer des centaines de mètres carrés de roches bien nettoyées par les glaciers sur lesquels l'histoire de la mise en place ancienne des granites peut se lire à livre ouvert - livre un peu lourd à transporter

Vous avez pu aussi faire connaissance des fentes alpines, ces

veines de quartz où on trouve parfois de merveilleux minéraux. Ces fentes se sont ouvertes lors de la surrection des massifs cristallins externes - du Mont Blanc au Pelvoux - depuis 15 Ma. Ces veines nous ont permis de préciser un peu la chronologie de ces événements alpin dans la partie occidentale des Alpes.

D'autres secteurs du massif de la Lauzière sont aussi passionnants pour le géologue ou pour le randonneur curieux. Nous espérons, à l'avenir, proposer d'autres itinéraires de randonnée dans le massif mais, malheureusement, les sentiers correctement balisés manquent encore. Un sentier balcon, vers 1800m d'altitude, est en cours de réalisation.

Pour en savoir plus

- Collectif (2000)** : *Les Minéraux de la Lauzière. Le Règne Minéral, Hors série VI.* Editions du Piat, 43200 Saint Julien du Pinet.
- Debelmas Jacques (1982)** : *Alpes de Savoie. Guides géologiques régionaux.* Masson éditeur.
- Delamette Michel (2002)** : *Le pays du Mont Blanc.* Editions GAP, La Ravoire.
- Gidon Maurice** : *Géologie des Alpes*, site www.geol-alp.com
- Jacquemin Hervé & Sider Hervé** : *Roches et minéraux.* Editions SAEP, Ingersheim, 68000 Colmar.
- Marthaler Michel (2001)** : *Le Cervin est il africain ? Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète.* Editions «Loisirs et Pédagogie», Lausanne.
- Mattauer Maurice (2001)** : *Ce que disent les pierres.* Bibliothèque «Pour la Science», Belin éditeur, Paris.
- Michel François (2005)** : *La géologie à petits pas.* Actes Sud Junior.

Photographies de J.M. Bertrand

Photographie de couverture : le Grand Pic de la Lauzière vu du chemin de l'Arpettaz, au dessus du refuge du Logis des Fées

Les auteurs remercient Jasmine Desclaux-Salachas pour son aide à la représentation de la topographie, Nathalie Cayla pour son aide à la mise en forme, Roger De Ascencao Guedes pour toutes les discussions et les courses sur le terrain en Lauzière et Emmanuel Ledoux pour son accueil au refuge du Logis des Fées.