



Stage Géologie et biodiversité pour l'APBG Montpellier 27 au 29 août 2023 – Queyras

Livret Guide géologie – Philippe Bouilly Ingénieur en géosciences- hydrogéologue

Journée 1- 27/08/2023 : Haute vallée du Guil

Thématiques abordées :

- Présentation des contextes géologique et géodynamique des Alpes occidentales et du Queyras ; le Queyras « schisteux », **un paléoprisme d'accrétion océanique dans lequel sont insérés des fragments d'ophiolites**,
- Observation, description des roches et minéraux caractéristiques du faciès métamorphique Schistes Bleus (berges du Guil à Château-Queyras), observation de témoins de la dernière période glaciaire,
- Observation, description des Schistes Lustrés et des déformations associées (camping du Gouret – Aiguilles),
- Géologie appliquée : les risques naturels en zone de montagne,
 - Le glissement de terrain d'Aiguilles
 - L'écroulement rocheux à Ristolas (la Roche écroulée)
- Observation à distance du massif du Viso depuis le Petit Belvédère (commune de Ristolas).

A - Contextes géologique et géodynamique des Alpes occidentales (d'après Réf [1])- Figures 1 et 2:

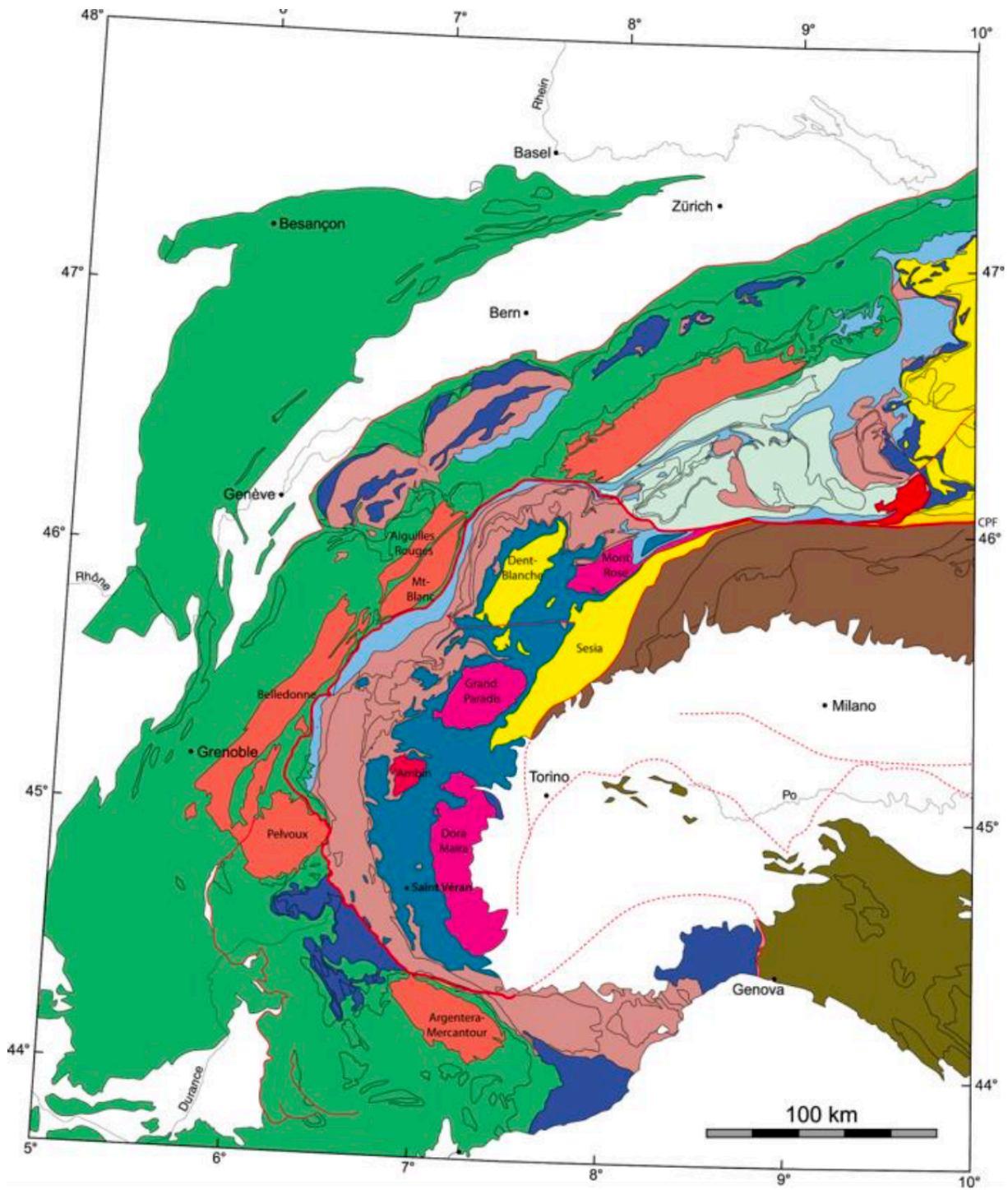
L'histoire géologique des Alpes occidentales, et plus particulièrement du « Grand Briançonnais » auquel appartient le Queyras, a débuté il y a 250 Ma environ par un vaste continent à l'échelle du globe, appelé Pangée (période de pré-rift). Ce continent s'est disloqué au jurassique supérieur (il y a 165 millions d'années). L'océan Atlantique central et l'océan Alpin, son petit frère jumeau, se sont développés. Sur le fond océanique alpin, se sont déposés des sédiments, d'abord siliceux puis calcaires, en enfin, durant une longue période (lorsque l'océan était devenu suffisamment profond), un mélange d'argile et de squelettes de plancton carbonaté (marnes). Lorsque l'océan a disparu, englouti sous l'Afrique (subduction), ces roches sédimentaires se sont accumulées, empilées et déformées dans une fosse océanique en bordure de la plaque africaine. Les marnes, sous l'effet de la pression des couches sus-jacentes ont été transformées en calcschistes qui, pour partie, ont été entraînés dans la subduction à plusieurs dizaines de km de profondeur et ont été métamorphisés sous l'effet des augmentations de température et de pression. Les déformations ont été amplifiées lors de la collision entre les plaques africaine et européenne. Ces anciens sédiments, transformés minéralogiquement, intensément déformés (plissés, débités en ardoises) sont qualifiés de « schistes lustrés » par les géologues. Ces roches constituent l'essentiel des paysages queyrassiens en amont de Château-Queyras.

Dans le Queyras il est classiquement distingué un **Queyras Calcaire** et un **Queyras Schisteux**. Cette distinction est liée à la géologie car :

- A l'Ouest, le Queyras Calcaire est essentiellement constitué d'épaisses formations calcaires et dolomitiques, qui témoignent des dépôts pré-rifting sur la Pangée (dominants), puis au sein du rift continental (plus rares) et enfin, alors que l'océan s'ouvre, sur la marge continentale européenne de cet océan (zone Briançonnaise, et dans une moindre mesure zone piémontaise qui provient de la partie la plus profonde de la marge, en bordure immédiate de l'océan). Paysage parcouru de hautes parois (gorges du Guil), espaces aménagés par l'homme assez restreints.
- A l'Est du verrou glaciaire de Château-Queyras, débute le Queyras Schisteux, constitué essentiellement de **schistes lustrés**, roche tendre, grise à l'affleurement et formant des reliefs plus mous, bien plus cultivés et habités que dans la Queyras Calcaire. Ces roches ont été métamorphosées dans le faciès Schistes Bleus. Des fragments d'**ophiolites**, de dimensions décamétriques à kilométrique, sont insérés dans les schistes lustrés. On peut ainsi considérer le Queyras schisteux comme un paléoprisme d'accrétion océanique dans lequel se trouvent des morceaux d'ophiolites.

C'est la présence de phengite, un phyllosilicate, mica blanc de haute pression, scintillant, qui donne une surface satinée et feutrée à la roche, d'où l'appellation de « lustré ». La dernière phase de déformation ductile subie par ces schistes (rétrocharriage et rétrodéversement) est responsable de la pente générale vers l'Ouest ou le SW des couches et de la schistosité. L'histoire tectonique s'est achevée par le développement d'un réseau important de fractures de toutes dimensions, consécutif à un étirement général des structures héritées de la collision. Enfin, comme ailleurs dans les Alpes, le relief du Queyras a été modelé durant le Quaternaire par la succession des périodes glaciaires- interglaciaires.

Le pendage uniforme des roches dans le Queyras Schisteux donne tout son caractère aux paysages queyrassiens et a joué (et joue encore) un rôle important dans les processus géomorphologiques (érosion, solifluxion, mouvements de terrain...) qui ont façonné (et façonnent encore) le paysage, avec notamment une morphologie dissymétrique des vallées (adrets en pentes douces, ubacs plus escarpés), remplaçant la morphologie en U symétrique des vallées glaciaires.



Domaines sud-alpins



Domaines austro-alpins



Domaines externes

- Zones dauphinoise et helvétique et Jura
- Massifs cristallins externes

Nord des Apennins



CPF : Chevauchement Pennique Frontal

Domaines internes

Zone piémontaise

- Complexe des Schistes Lustrés et complexes ophiolithiques
- Nappes des Flyschs à Helminthoïdes, d'Antola et des Préalpes
- Massifs cristallins internes

Nappes sub-penniques (marge européenne distale)



Zone briançonnaise

- Massifs cristallins internes de la zone briançonnaise
- Sédiments et couverture de la zone briançonnaise

Zone valaisanne



Figure 1 - Carte géologique et tectonique des Alpes, simplifiée d'après Schmidt et al, 2004

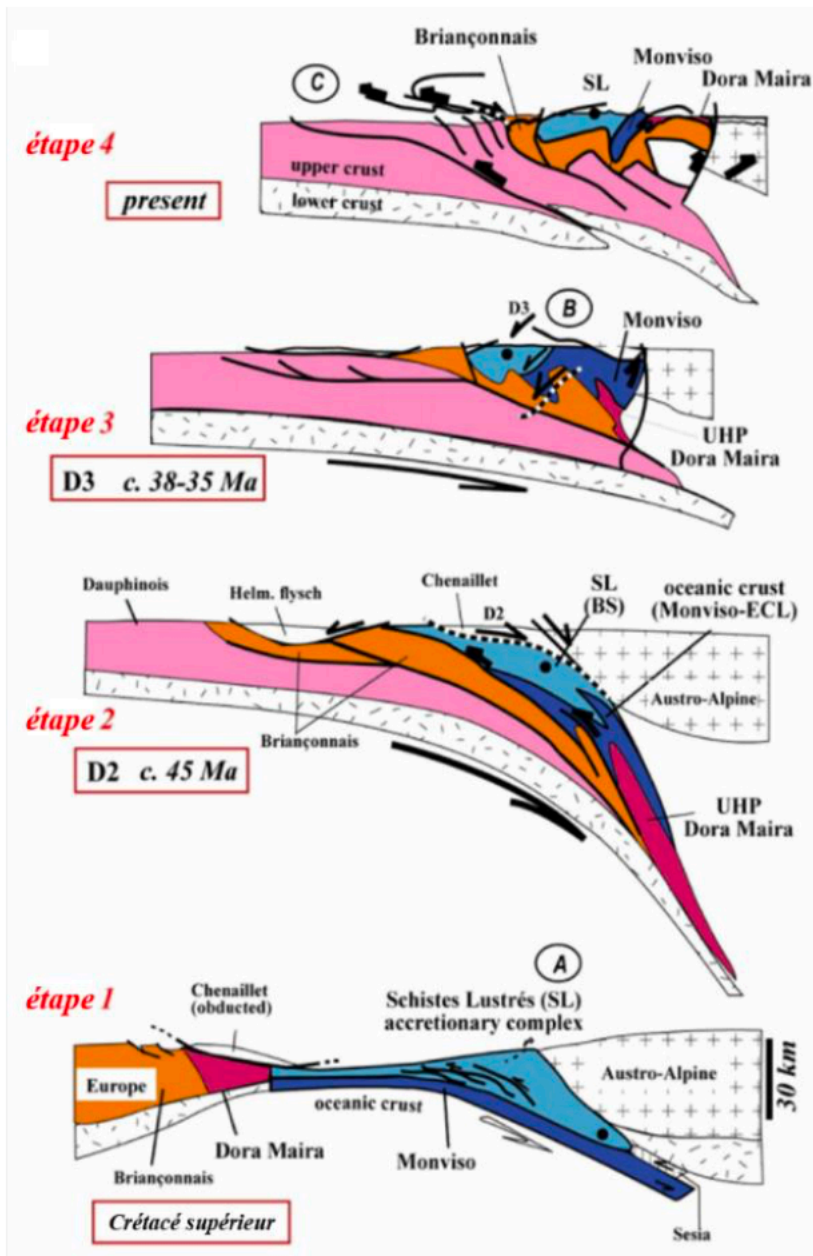


Figure 2 - Modèle de scénario géodynamique des Alpes (selon Agard – 2009)

- 1- Début de la subduction océanique vers la fin du Crétacé
- 2- Début de la subduction continentale vers 45 Ma avec une phase de déformation D2
- 3- Début de la collision vers 38-35 Ma
- 4- Etat actuel

B - Lithologies et associations minéralogiques (métamorphisme HP-BT dans le faciès Schiste bleu) :

- **Les métasédiments** : dans les métapélites (les schistes lustrés) contiennent de la phengite (mica blanc), le mica noir est très rare. Quartz et chlorite accompagnent la phengite. Dans les métapélites sodiques il est possible de rencontrer du glaucophane et de la jadéite. De la lawsonite est aussi présente.

- **Les méta-ophiolites** : dans les conditions du faciès Schistes Bleus de l'unité des Schistes Lustrés, les métabasites magnésiennes contiennent : amphibole, chlorite, zoïsite +- mica blanc, lawsonite. Les métabasites ferro-titanés sont à clinopyroxène, omphacite, glaucophane, épidote ou lawsonite.

C- Tectonique dans les Schistes Lustrés- affleurements en bordure de la RD du Guil- Camping du Gouret

Cet arrêt sera l'occasion d'observer de très beaux marqueurs tectoniques, tels des micro-plis consécutifs à des contraintes de cisaillement, des fentes de tension, des micro-fractures ...toutes ces déformations étant liées à la tectonique alpine en compression qui a précédé, accompagné, la collision.



Figure 3 : micro-plis dans les Schistes Lustrés- camping du Gouret – cisaillement senestre

D- Les risques naturels

- **Le glissement de terrain du pas de l'Ours à Aiguilles (05)**

Ce spectaculaire glissement affecte un versant à l'adret, entre 1500 m et 2000 m d'altitude, sur une largeur de 600 m à son pied, situé en rive droite du Guil sur la commune d'Aiguilles (05).

Le contexte géologique est celui de schistes lustrés surmontés de formations d'altération et il a, comme beaucoup d'autres glissements du Queyras, une origine très ancienne, avec un paléo-glissement datant du Würm ayant engendré une décompression des versants à l'issue du retrait des glaciers.

Le volume de matériaux potentiellement mobilisables est évalué à 10 millions de m³. En partie supérieure des ressauts ont été créés par des décrochements d'une cinquantaine de mètres, et la partie aval est affectée de nombreuses et larges fissures.

Ce glissement a provoqué la destruction de la RD 947 sur plusieurs centaines de mètres ainsi que celle de murs de soutènement bordant le Guil. Le risque majeur, à savoir l'obstruction du Guil et donc la formation d'un barrage artificiel pouvant s'effacer à tout moment et provoquer des inondations en aval, a été évoqué au début puis jugé à risque faible au fur et à mesure de l'avancée de la connaissance du glissement (investigations, modélisation) et de sa surveillance.

L'historique récent de ce glissement est le suivant :

- Mars à mai 2014 : premiers signes de réactivation du glissement : détachement de plusieurs blocs, dont l'un atteint la RD 947
- Décembre 2016 à mars 2017: chutes de blocs atteignant la route et coulées de boue,
- Avril 2017 : réactivation plus intense ; niches d'arrachement en amont, fissures en aval. Début de la mise en place d'un suivi (topographie, radar interférométrique UNISTRA, LIDAR, clinomètres, dispositifs d'alerte au niveau du Guil...) et construction d'un mur de protection,
- Mai 2017 : déformation et fissures sur la chaussée de la RD 947 ; décision prise de construire une route provisoire RG. Vitesses de progression du glissement mesurées : 28 à 48 mm/j en moyenne, 70 cm/j les 18 et 19 mai en partie Est,
- Juin 2017-janvier 2018 : faible activité. Elaboration d'un plan de gestion des risques par les collectivités,
- Février 2018 : réactivation du glissement ; formation de niches de décrochement en amont. Fortes vitesses de déplacement mesurées en partie Est, jusqu'à 10 cm/j en aval et 20 cm/j en amont,
- Mars 2018 : formation d'une brèche dans le mur de protection et coulées atteignant la route ; fermeture définitive de la RD 947. Réalisation de campagnes d'investigations géophysiques et géotechniques (SAGE),
- Avril 2018 : réactivation de la partie Ouest. Coulées, détériorisation du mur de soutènement du Guil et de la route. Mesure d'une vitesse de 40 cm à 1 m/j côté Est,

Depuis le glissement semble stabilisé ou en tout cas évoluer avec une cinétique très faible ; il est toujours surveillé au moyen d'un dispositif allégé (plus de topographie ni d'interférométrie). Des capteurs sismologiques ont été rajoutés au dispositif ainsi que des mesures en géophysique 3D en partie amont.



Figure 4 – Vue générale du glissement depuis la rive gauche du Guil (août 2018)

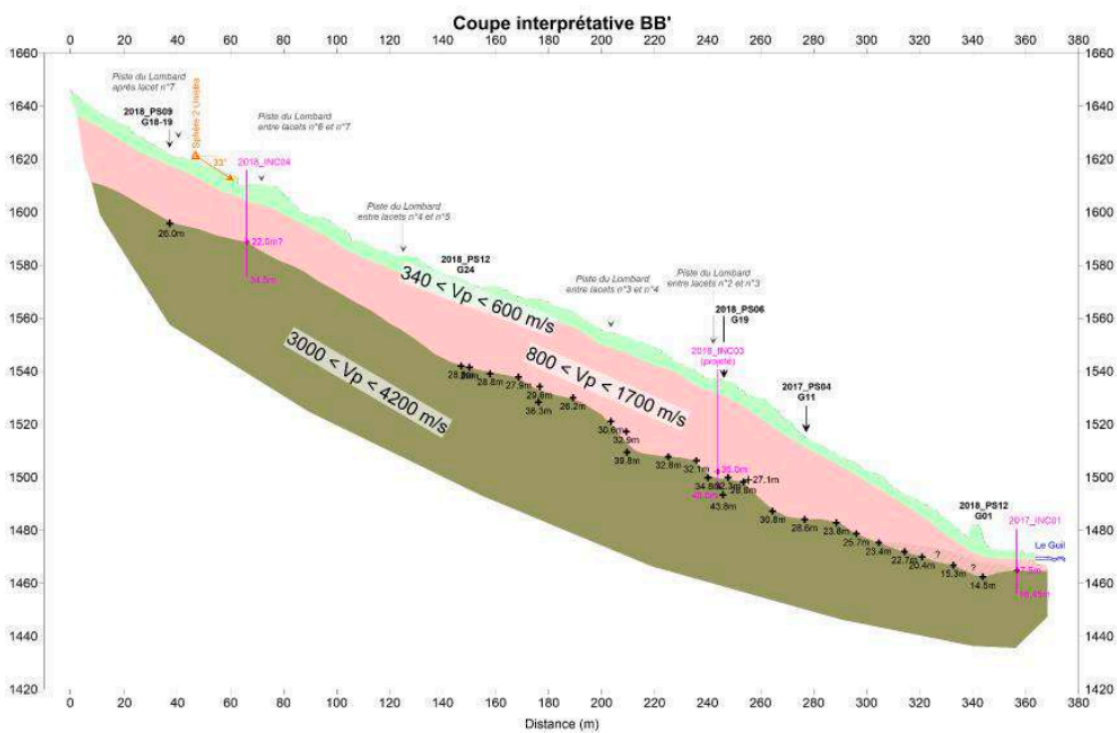


Figure 5 - Coupe interprétative du glissement – partie centrale BB- extrait du rapport SAGE-mai 2019

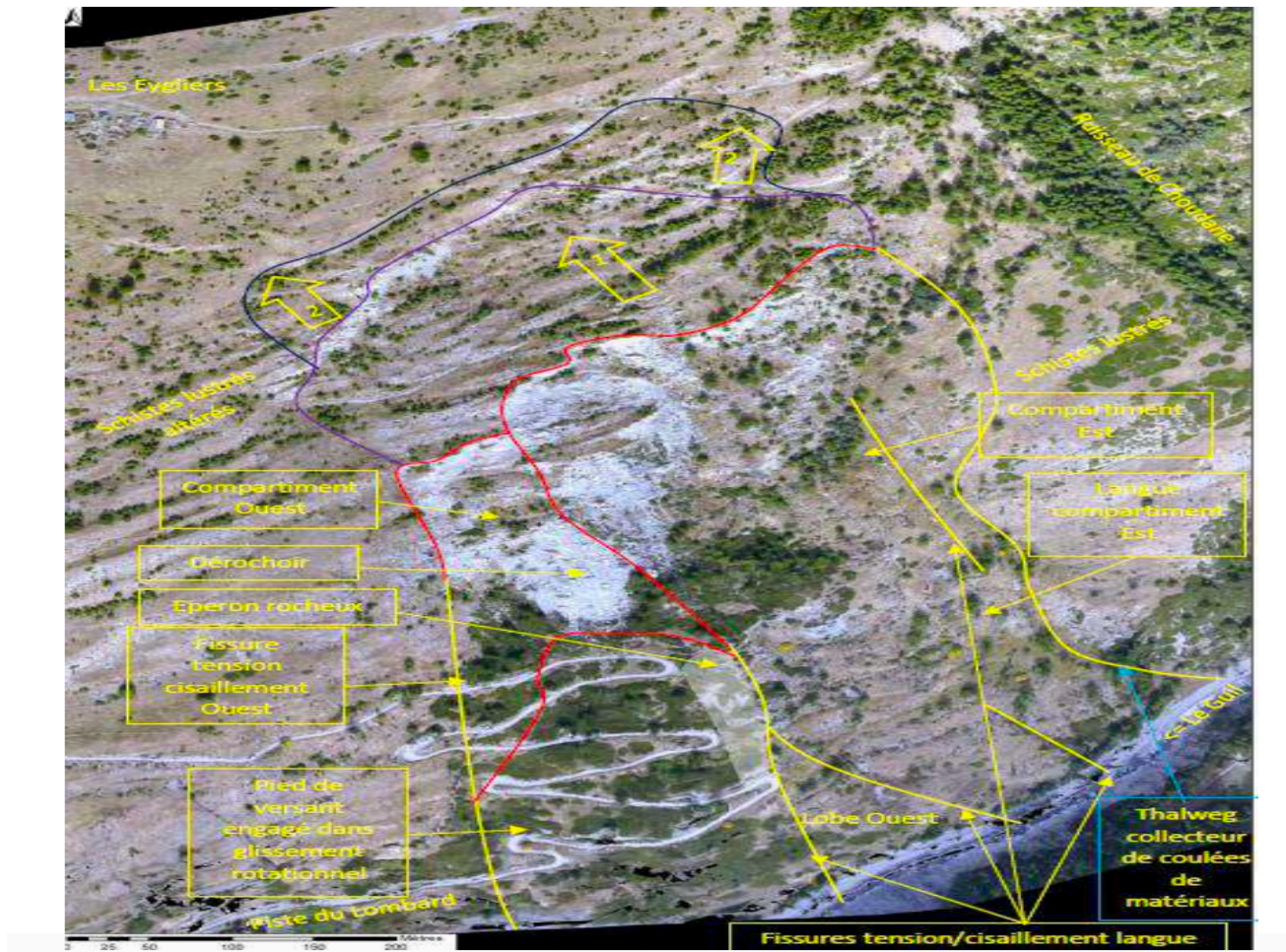


Figure 6 – Cinématique du glissement -rapport RTM avril 2021

- **Le site de la « Roche écroulée » - Haut Guil- commune de Ristolas (05)**

En ce lieu le fond de la vallée est encombré d'énormes blocs. Il s'agit de gabbro, recoupé localement par des filons de basalte.

Ces blocs sont tombés de la face orientale du Pic (ou Bric) des Lauzes (voir Figure XX), sans doute au cours du XIXe siècle.

Ce pic des Lauzes est constitué d'ophiolites, avec une succession chronologique de mise en place qui pourrait être la suivante (Figure 7):

- Cristallisation du gabbro à une certaine profondeur,
- Mise à l'affleurement de ces gabbros sur le fond de l'océan
- Dépôt d'une brèche sédimentaire de type « opihcalcite »
- Injection des filons de basaltes et épanchement de ces basaltes sur le fond de l'océan avec formation de coussins de lave sous-marine (« pillows lavas ») qui forment le sommet du Pic des Lauzes.

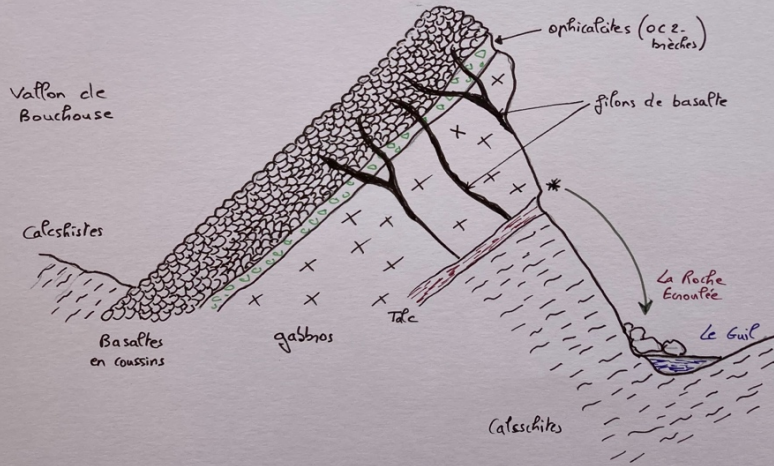
La présence de niveaux de talc, encore visibles dans la paroi de gabbros au niveau de la zone écroulée (cicatrice de roches plus claires), pourrait avoir contribué à la déstabilisation des blocs de gabbros.

Site de la Roche Écroulée (Haut Guil - Gueyras)

WSW

Pic des Lauzes (2880m)

ENE



D'après "A la découverte de la géologie sur les sentiers du Gueyras" J. Tricant et M. Lemoine

Figure 7 - Coupe du Pic des Lauzes au niveau de la « Roche écroulée »
D'après Réf [1]

Journée 2 -lundi 28 août 2023 : randonnée au col Sud du Cristillan : *pour aller marcher sur le fond de l'océan !* (d'après Réf [1])

Cette journée de randonnée sera consacrée à la découverte d'un massif d'ophiolites qui domine le haut vallon du Cristillan au sud. Depuis le col sud du Cristillan (2957 m) nous découvrirons un magnifique paysage, entre Queyras et Haute Ubaye. Les constituants de cette ophiolite sont essentiellement des serpentinites dans lesquelles sont insérés quelques petits corps gabbroïques. Ces roches ont été métamorphosées dans les conditions du faciès Schistes bleus. Les serpentinites sont recouvertes d'une série sédimentaire, qui apparaît ici en série inversée (Fig 9).

Au retour un arrêt sera consacré à une ancienne carrière d'exploitation du « marbre vert » (ophicalcite).



Figure 8 - Localisation de la randonnée vers le col Sud du Cristillan – extrait des cartes IGN 1/25 000 - 3637 OT et 3537 ET

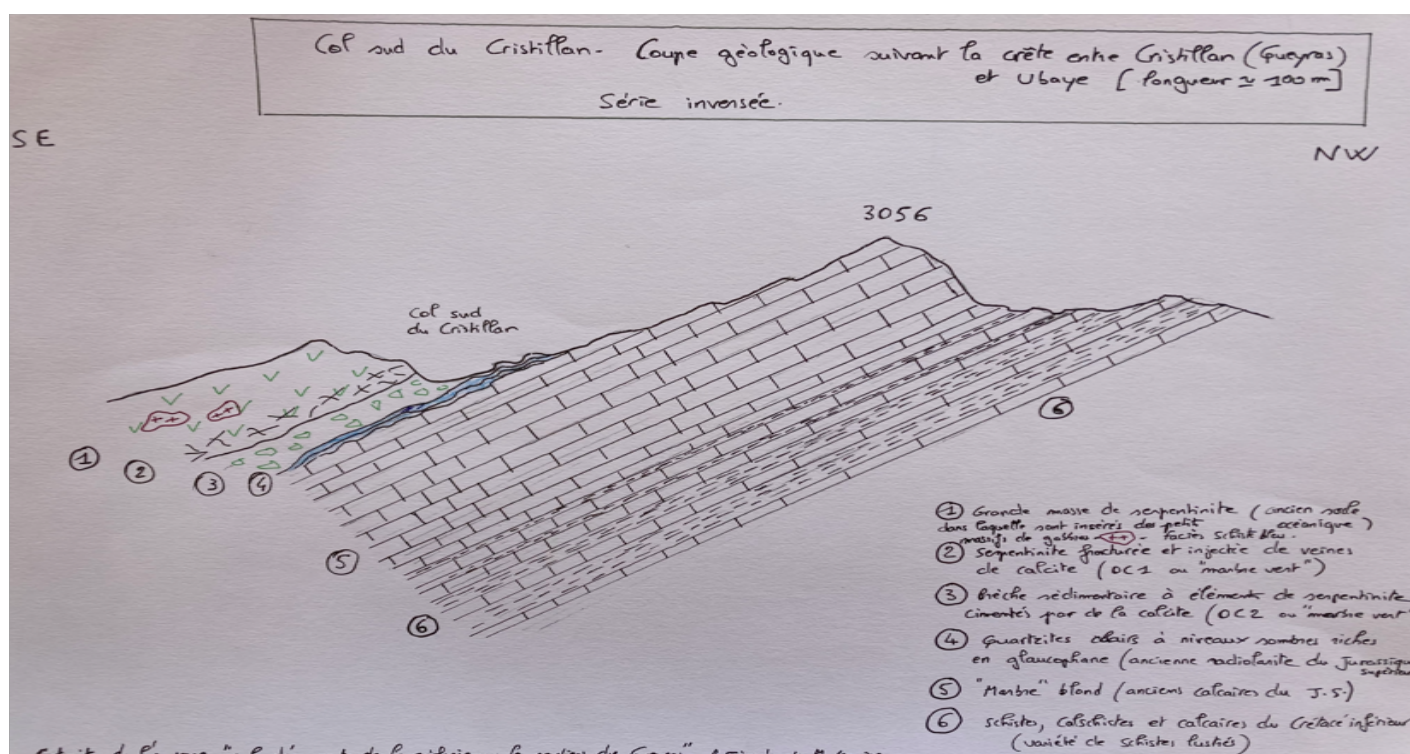


Figure 9 – Coupe géologique de la série ophiolitique et sédimentaire du col sud du Cristillan

Journée 3- mardi 29 août 2023 – Saint Véran- Haute vallée de l’Aigue Blanche : la mine de Clausis – géologie et archéologie industrielle (d’après Réf [1], Réf [2] ,Réf [3] Réf [4])

Cette journée se déroulera à proximité de Saint Véran, plus haut village d’Europe (2000 m). Sur la route, peu après Ville-Vieille, nous croiserons le chemin d’une belle demoiselle coiffée.

Le volet géologique de cette journée sera essentiellement consacré à la découverte de la mine de Clausis (ou mine de Saint Véran), ancienne mine de cuivre dont l’exploitation a commencé au Chalcolithique/Bronze ancien (fin du III^{ème} millénaire avant J.C.) et s’est achevée vers 1961, après une longue interruption entre le 1^{er} après J.C. et 1901.

Quelques vestiges de la mine pourront être parcourus sur le terrain et l’examen des haldes nous permettra d’examiner des roches encaissantes du gisement et peut être de trouver quelques fragments de minerai.

Ce gisement est associé à une série lithostratigraphique complexe faisant partie de la base des Schistes Lustrés. Nous aborderons la géologie, la minéralogie, l’exploitation de la mine et enfin la métallogenèse de ce gisement. Cette dernière est aujourd’hui encore discutée.

Une ancienne carrière d’exploitation de marbre vert (ophicalcite) située à proximité de l’ancienne mine sera ensuite observée ; elle permettra de constater une évolution des techniques par rapport à celle vue au Cristillan (J2).

A- Contexte géologique de la mine des Clausis :

Le gisement de Saint-Véran se trouve dans le complexe des Schistes Lustrés du Queyras.

Ce complexe occupe le centre des Alpes Occidentales entre les unités Briançonnaise et Apulienne. Il représente le prisme d’accrétion de la subduction et est composé de calcschistes du Jurassique Supérieur au Crétacé Supérieur (Schwartz, 2000). Dans ce complexe se retrouvent des lentilles d’ophiolites, reliques de la croûte océanique la plupart serpentinisées (Schwartz, 2000) (Figure 10). Tout ce complexe est intensément déformé et métamorphisé essentiellement dans le faciès Schistes Bleus. Accolé à l’Est de ce complexe une deuxième unité composée de lentilles de lithosphère océanique est identifiée : le complexe éclogitique du Mont Viso. Ces deux unités sont séparés par une faille normale ductile nord- sud à pendage ouest (Schwartz et al., 2000). Les complexes ophiolithiques sont kilométriques dans les éclogites et métriques à kilométriques dans les Schistes Lustrés.

Au niveau de Saint Véran et de la mine des Clausis, 5 unités ont été mises en évidence pour définir la série lithostratigraphique du gisement faisant partie de la base des Schistes Lustrés (Figure 11).

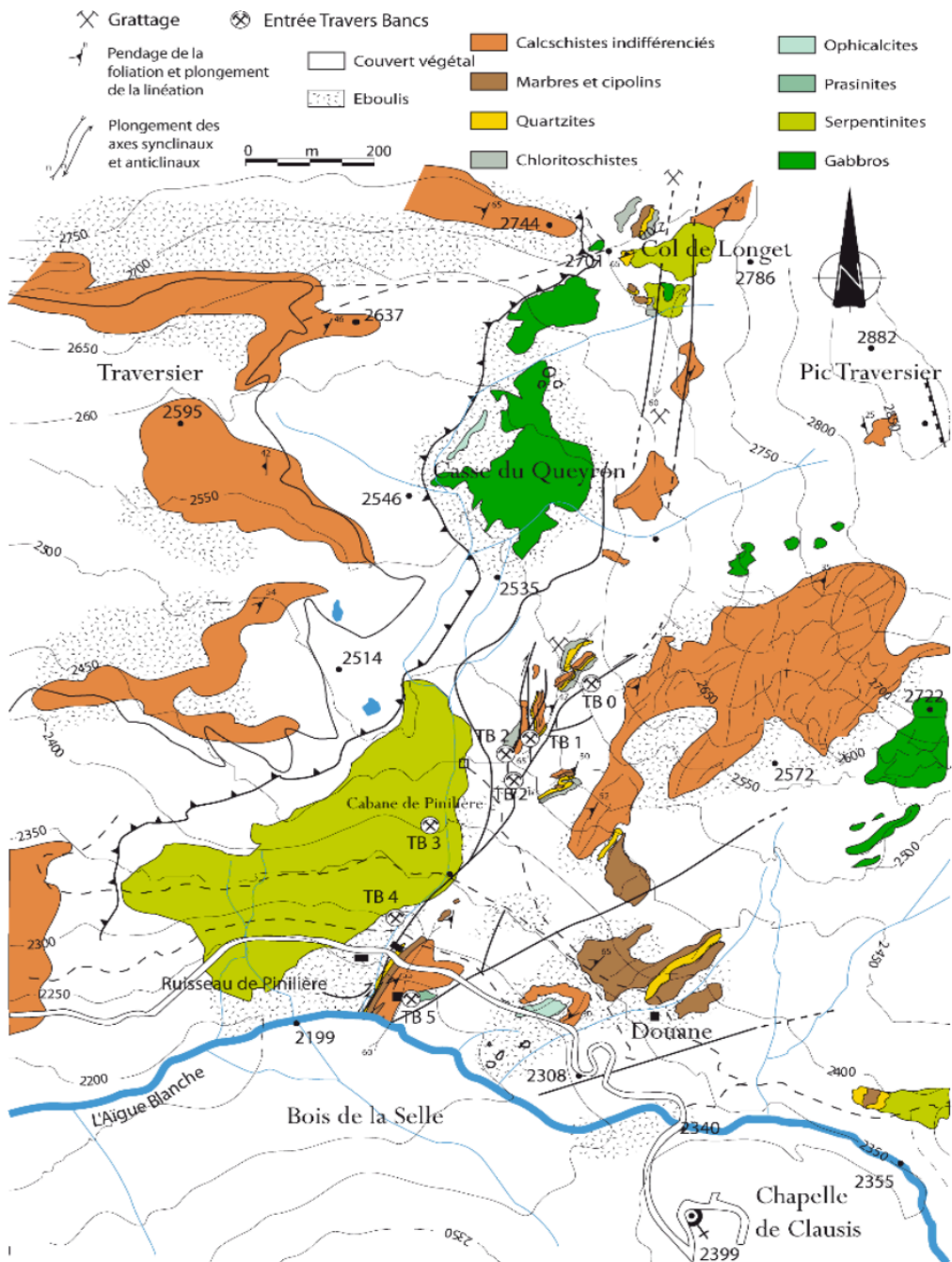


Figure 10 - Schéma géologique et structural de la mine des Clausis

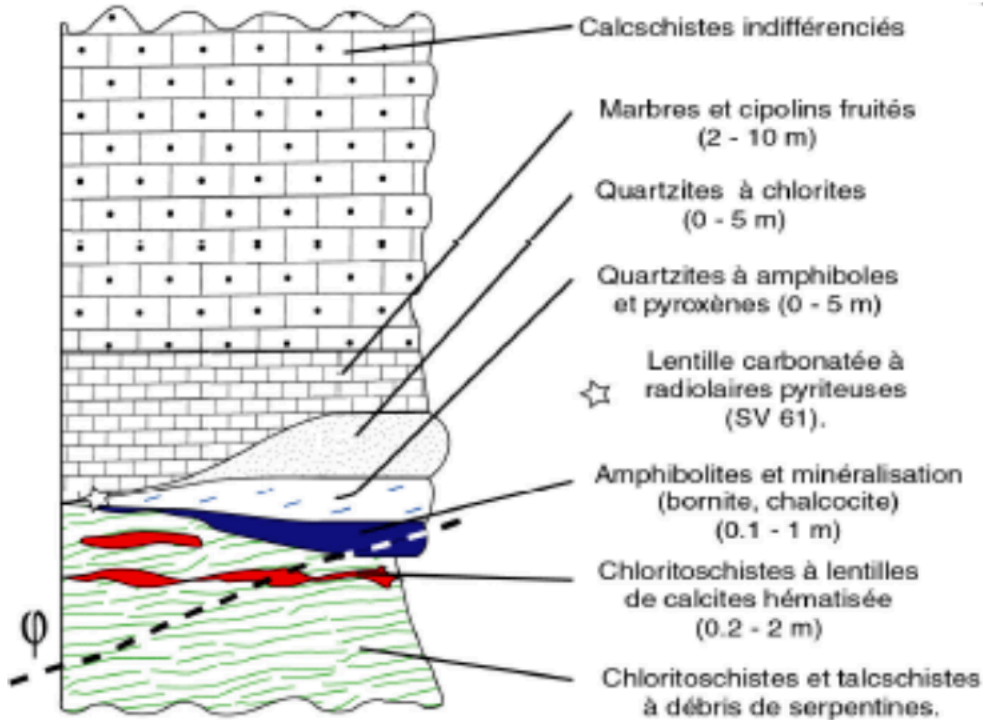


Figure 11 - Colonne lithostratigraphique classique de la mine des Clausis – TB3 (Ayoub, 1984 -Tuduri 2001)

B - Minéralogie - Les principaux minéraux du cuivre rencontrés à la mine des Clausis :



Le cuivre natif

Cu

Se présente souvent sous forme d'arborescences, de minces feuilles laminées et craquelées ou de blocs massifs bosselés. Sa cassure fraîche, de couleur rose métallique s'altère rapidement à l'air et devient rouge cuivre, puis brune.

Très malléable, ductile, il fond à 1083 ° C

Dureté 2,5 à 3

Il est rare en France



La bornite ou « cuivre panaché »

Cu_5FeS_4

C'est le minéral principal du gisement.

Il est très riche en cuivre, jusqu'à 63 %

Rouge brun, rose irisé sur cassure fraîche.

Elle se ternit en rose violacé ou bleu foncé au contact de l'air.

Dureté 3, densité 5,06 à 5,08

Fréquent

Quelques autres minéraux associés à la bornite :

Sphalérite (ZnS), chalcocite (Cu_2S), cuprite (Cu_2O), covellite (CuS), idaïte (Cu_3FeS_4), pyrite (FeS_2), chalcopyrite (CuFeS_2), hématite (Fe_2O_3), magnétite (Fe_3O_4), malachite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) et azurite ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$).

C - Les structures minéralisées :

Elles sont de deux natures (figure 12):

- *Des structures concordantes (à la schistosité régionale), filons et lentilles*

La gangue est constituée de roches contenant des minéraux tels : aegyrine – riébeckite – quartz – albite – chlorite – calcite – hématite – magnétite pour les plus importants.

Dans les veines et lentilles minéralisées la bornite est massive et la sphalérite souvent présente.

- *Des structures sécantes, fentes de tension*

Dans les parties non déformées des amphibolites, le quartz avec l'albite et les oxydes de fer se mettent en place entre les aiguilles de riébeckites et aussi dans des microfentes qui se développent dans ces zones. On peut aussi observer par endroit un développement en rosette des quartz et des albites. En réalité, les cristaux de quartz et d'albite ne se développent pas en rosette mais remplacent la riébeckite.

Au niveau des fentes de tension dans les amphibolites, les riébeckites orientées sont remplacées aux épontes par des prismes de stilpnomélane . Les fentes sont à éponte de stilpnomélane, quartz, albite et calcite. Ces trois derniers minéraux se retrouvent aussi jusqu'au cœur minéralisé.

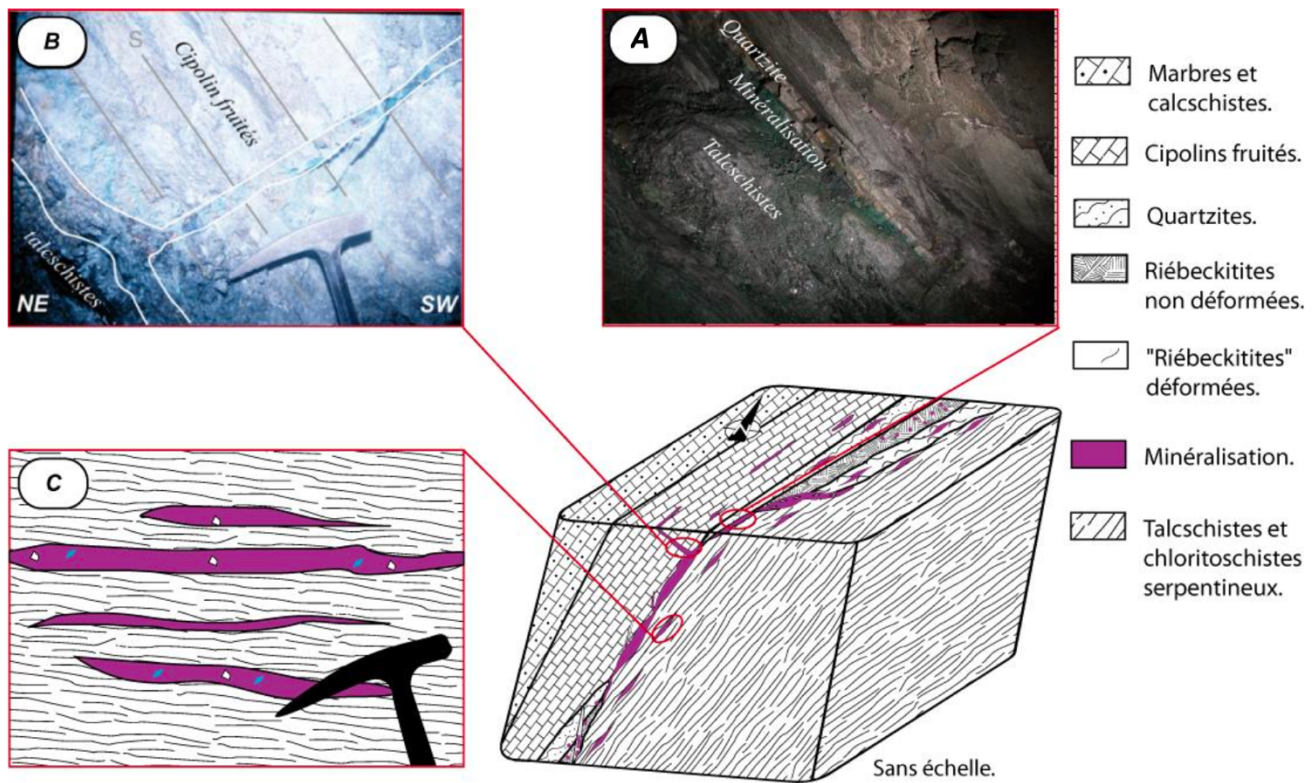


Figure 12 – Schémas de la minéralisation de la mine des Clausis

Synthèse des expressions de la minéralisation dans la mine des Clausis. [A] Lentille concordante à la foliation entre le mur de talcschistes et un toit de quartzites. [B] Veine parallèle à la Sn et fente (N120 45 NE) à quartz et albite aux épontes minéralisée. [C] Horizons minéralisés multiples (veines parallèles à la Sn) dans les talcschistes. 2 types de minéralisation se retrouvent : des lentilles et veines concordantes à la schistosité régionale que l'on retrouve dans le toit et dans le mur (taille de l'ordre de la dizaine de centimètre jusqu'au mètre) et des fentes de tensions sécantes à la schistosité régionale.

D - Exploitation de la mine des Clausis :

Le gisement de Saint Véran a été exploité depuis le Chalcolithique/Bronze Ancien jusqu'en 1961 pour son cuivre avec un arrêt entre le I^{er} siècle ap. JC et 1901. 2500 t de concentrés à 40% ont été produites dans l'exploitation et traitées sur place. L'exploitation s'est faite sur 5 travers bancs pour ce qui est de l'époque moderne et au niveau de la Tranchée des Anciens pour les travaux de l'Antiquité. (Barge et al., 1998) (Figures 13 et 14).

Les premiers mineurs ont attaqué le cuivre à l'affleurement, riche en minerai oxydé, en bornite et peut être en cuivre natif. Ils ont ainsi creusé une étroite tranchée (Tranchée des anciens. Localisée entre 2700 m et 2400 m d'altitude) à ciel ouvert, presque verticale, de 0,60 à 3 m de large, sur 300 m de long et 50 m de profondeur. Inclinée de 40° à 70°, sinueuse, elle est aujourd'hui comblée. Au sommet de l'affleurement, vers 2600 m, des grattages superficiels et l'amorce d'une autre tranchée sont visibles.

L'exploitation se faisait par des attaques au feu (de nombreuses quantités de charbon de bois et des traces de foyer ont été retrouvées). Des outils (maillets, masses, pics) en pierre (riébeckite, prasinite, écolgite du Mont Viso) étaient utilisés pour l'abattage et l'extraction du minerai.

L'éclairage se faisait à l'aide de torches constituées d'un long faisceau de fines baguettes taillées dans du bois de résineux, entourées d'un line souple.

La circulation verticale des mineurs d'effectuait à l'aide de poutres encochées servant d'échelles et de planchers suspendus. Les dépilages abandonnés étaient remplis de stériles.

La production préhistorique est estimée à environ 200 t de cuivre.

Une fois extrait le minerai était acheminé jusqu'à l'installation de la cabane des Clausis, située à 2250 m d'altitude en contrebas de la mine.

Différentes opérations, résumées dans le tableau suivant, étaient réalisées afin d'obtenir du cuivre à partir de la bornite :

BORNITE (Cu₅ Fe S₄)		
Nature de l'opération	But de l'opération	Résultat de l'opération
Tri Manuel	Eliminer les stériles Sélectionner les parties riches	Concentré
Concassage	Normaliser le minerai	
Grillage*	Par apport d'oxygène (ventilation) et de carbone (charbon de bois), éliminer une partie du soufre sous forme d'oxyde	Minerai grillé
Réduction	L'apport du fondant, associé à l'oxygène (ventilation) et au carbone (charbon de bois) favorise la séparation de la scorie (oxydes de fer et de silice) et de la matte de cuivre (oxydes et sulfures de cuivre)	Séparation de la scorie, de la matte de cuivre (qui sera reprise pour obtenir du cuivre par élimination des oxydes de soufre) et du cuivre métal
Tri manuel	Concassage de la scorie pour recueillir les billes et masses de cuivre	Fragments de cuivre
Fusion	Refusion au creuset	
Moulage		Lingot ou objet



Figure 13- Photo de la mine des Clausis

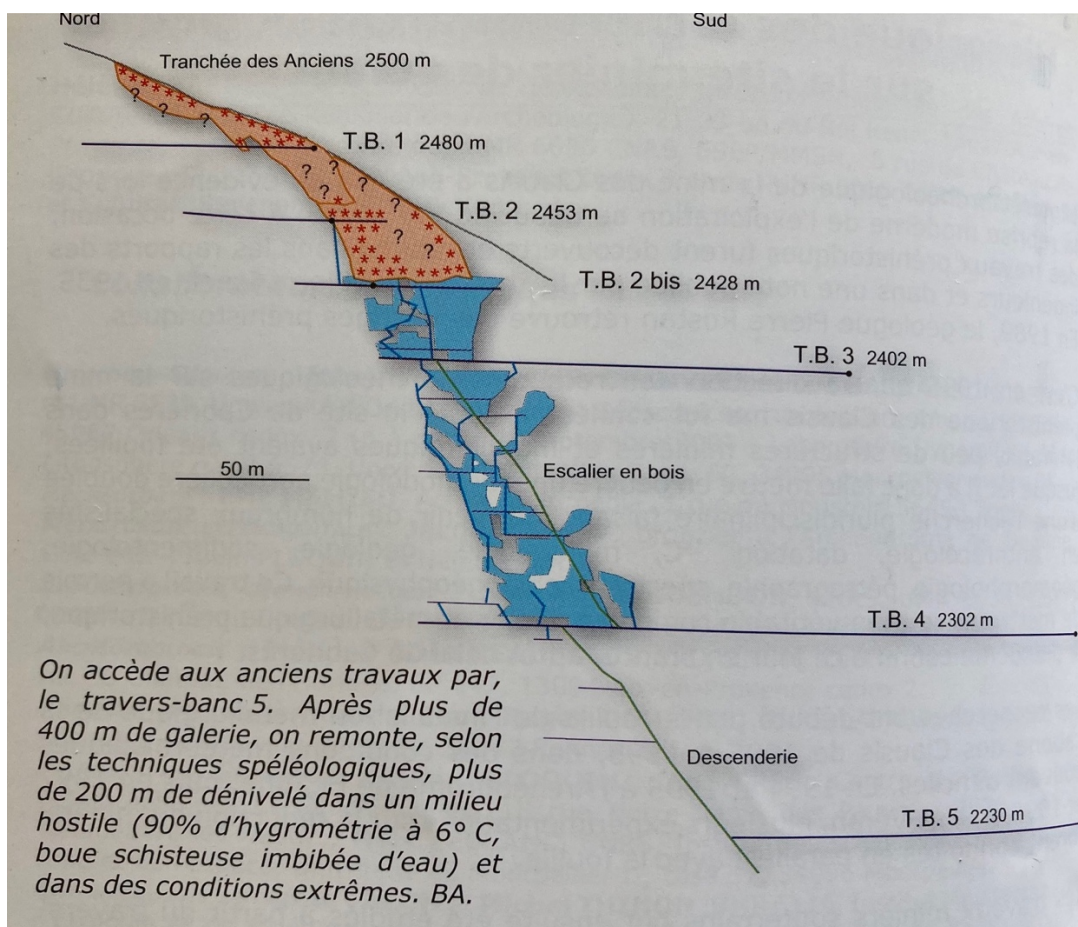


Figure 14- Coupe montrant les différents travers-bancs ayant permis l'exploitation de la mine des Clausis

E- Métallogénèse du gisement de cuivre des Clausis

Dans les années 1960-80, la genèse du gîte de Saint Véran a été rattachée aux processus hydrothermaux exhalatifs et assimilée aux amas sulfurés volcanogéniques à Cu(-Zn) de type Chypre (Ayoub, 1984; Bouladon & Picot, 1968). Plus récemment, Tuduri (2001) et Nimis et al.(2018) ont suggéré que la minéralisation pouvait avoir été remobilisée au cours de l'orogène alpin, voire même, suggèrent que cette dernière pourrait être *in-fine* syn-orogénique. Le débat autour des processus de remobilisation reste donc ouvert. En effet, peut-on considérer le gisement de Saint Véran comme un amas sulfuré remobilisé, partiellement ?, totalement ?, lors de la subduction puis la collision ou bien est-ce que cette remobilisation est inexistante et un autre processus syn-orogénique est à prendre en compte ?

1- Le modèle Amas sulfurés Volcanogéniques

Les gîtes de sulfures massifs volcanogènes (SMV ou VMS pour Volcanogenic Massive Sulphides) se forment en même temps que la roche encaissante, dominée par des roches volcaniques. Ces gisements se sont développés sur le fond océanique à partir de fluides hydrothermaux ventilés dans l'océan. Ils se forment dans les bassins d'arrière arc actifs et les rifts de dorsales océaniques (associés aux « fumeurs noirs et blancs »- Figure 15).

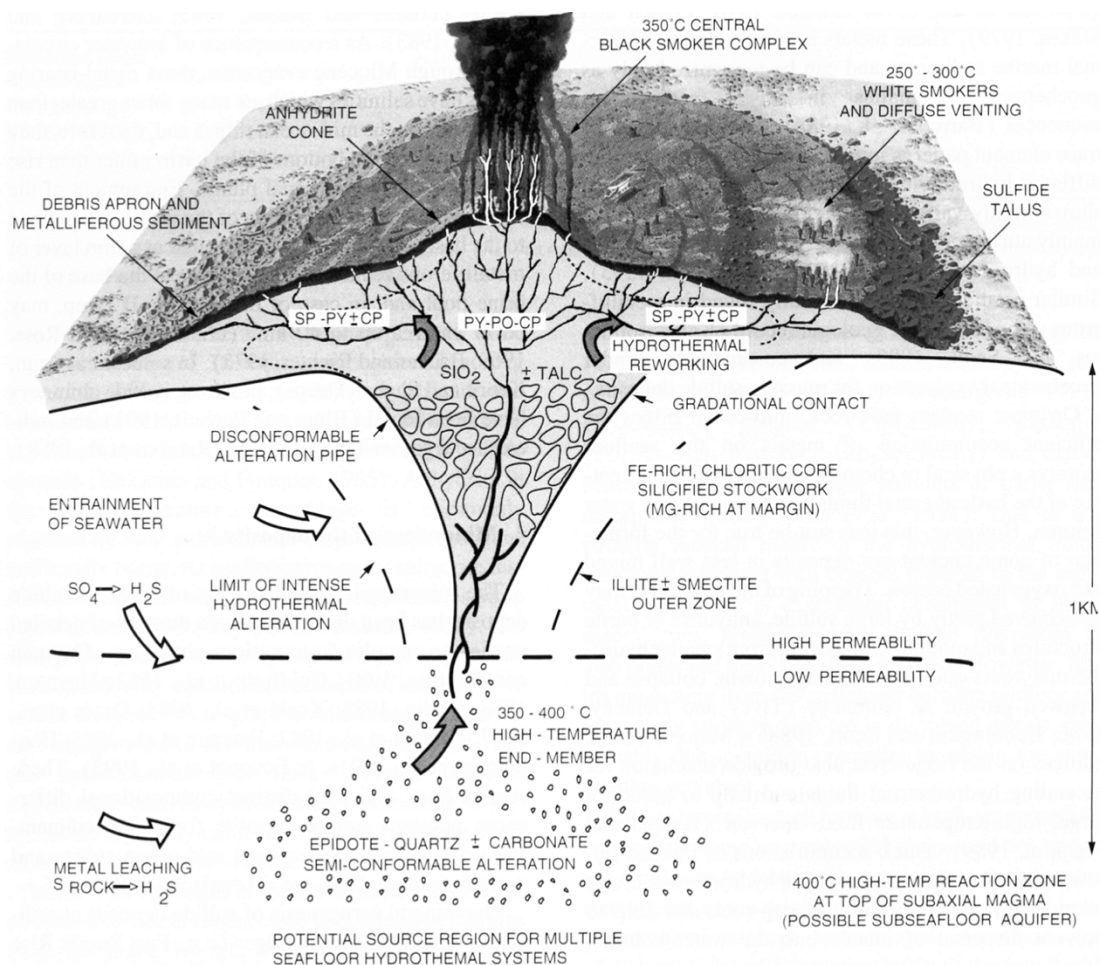


Figure 15- Coupe montrant les principaux composants d'un système hydrothermal sur un fond océanique

2- Minéralisation tardive, syn-orogénétique :

Des études très récentes (travail de synthèses et nouvelles analyses- Rapport de projet de fin d'études- Rémy Vautier- ENSG -octobre 2019) basées notamment sur des analyses pétrologiques, des datations à partir de mesures Ar/Ar et des mesures sur les isotopes du plomb, ont permis de vérifier que si le gisement de Saint-Véran présente bien quelques-unes des caractéristiques d'un amas sulfuré, sa minéralisation s'est mise en place beaucoup plus tardivement et qu'il ne peut donc être rattaché à un gîte VMS.

La chronologie de mise en place de la minéralisation serait la suivante (Figure 16):

- 1- entre 60-50 Ma, les phases HP-BT du faciès des Schistes Bleus se mettent en place dans le complexe des Schistes Lustrés avec la déformation D1 puis les riébeckites ;
- 2- entre 50-45 Ma, l'exhumation des Schistes Lustrés débute et la phase D2 affecte les phengites lors de leur croissance, la paragenèse HP et les riébeckites ;
- 3- vers 38-35 Ma, la rétomorphose dans le faciès des Schistes Verts débute avec la silicification, l'albitisation. Mise en place des oxydes de fer, de la chalcopryrite et de la pyrite ;
- 4- A partir de 27 Ma, la déformation passe de ductile à ductile-fragile et les fentes sécantes à la schistosité régionale se développent ;
- 5- A partir de 15 Ma, la minéralisation principale à bornite se met en place dans les fentes et sous forme de lentilles concordantes à la schistosité régionale entre les talcschistes et les sédiments océaniques (quartzites et marbres);
- 6- Vers 10 Ma, la déformation devient fragile et remobilise le minerai.

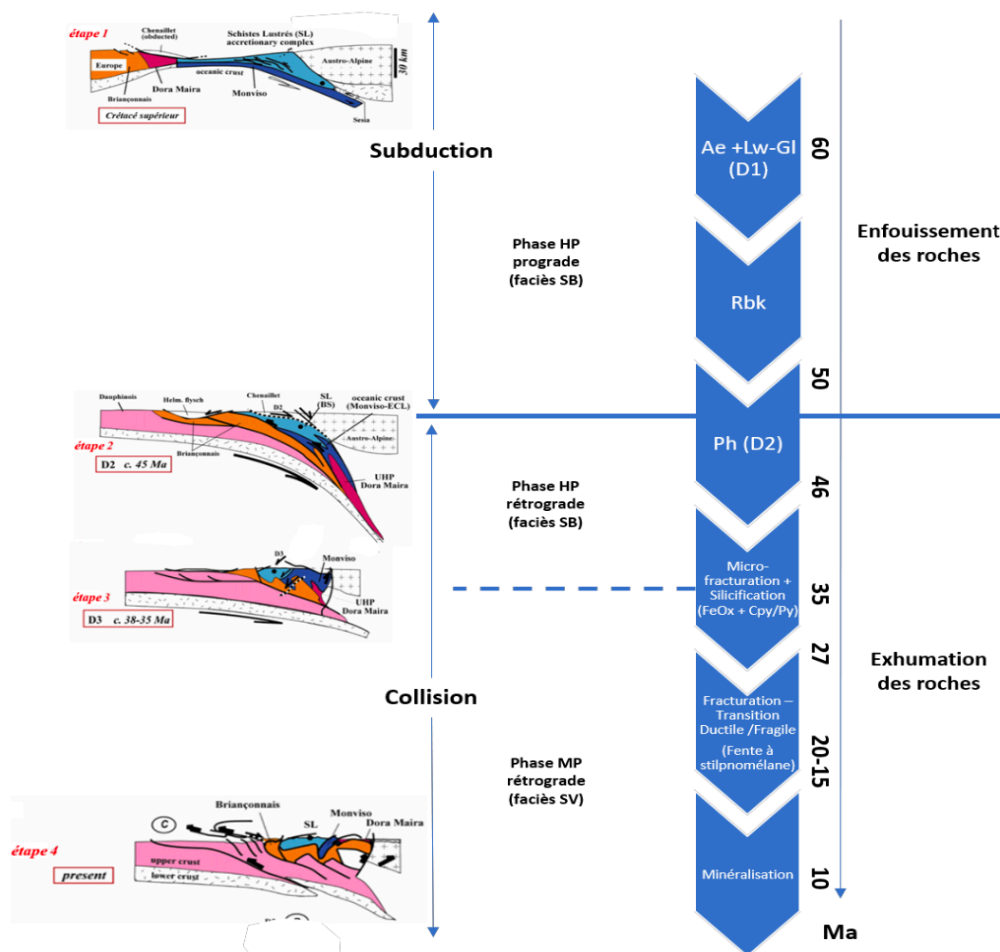


Figure 16 - Modèle géodynamique pour le gisement de Saint-Véran dans l'orogénèse alpine – extrait du rapport de fin d'études de Rémy Vautier- Réf [3]

Bibliographie – références :

- **Réf [1]** : A la découverte de la géologie sur les sentiers du Queyras – Pierre Tricart et Marcel Lemoine – PNRQ et CBGA – 2013
- **Réf [2]** : Saint-Véran, la montagne, le cuivre et l’homme. I. mine et métallurgie préhistoriques dans les Hautes Alpes- Hélène Barge – Actilia Multimédia- 2003
- **Réf [3]** : Rapport de fin d’études- Gisements cuprifères du domaine interne alpin. Origine hydrothermale océanique ou orogénique ? Exemple de la mine de cuivre de Saint-Véran -Rémi Vautier ENSG 3A – BRGM – octobre 2019
- **Réf [4]** Géologie et génie géologique- Université Laval Québec- Gîtologie et métallogénie-GLG-10351- Manuel de cours- Georges Beaudoin -2006
- **Marbres de la vallée de l’Ubaye** – Le vert Maurin, vert des Alpes – Céline Laforest- Sabença de la Valèia- 2012
- **Métamorphisme et géodynamique** – Cours et exercices corrigés- Christian Nicollet – Dunod seconde édition 2010
- **Dictionnaire de géologie**- Alain Foucault et al – Dunod 8ème édition 2014
- **Carte géologique 1/50000** -Aiguilles - Col Saint-Martin