

LA CROÛTE OCÉANIQUE

Dominique Rossier, animateur de la Commission de volcanisme (et pétrographie).

Comment montrer ce qui n'est pas visible, et raconter une histoire hors de notre échelle de temps humain ?... Eh bien, à l'occasion de la Fête de la science d'octobre 2016 !

Introduction

Fête de la science : un défi chaque année

Chaque année, la Fête de la science donne aux membres de la SAGA l'occasion d'accueillir le public et de présenter, sous la forme d'ateliers, des thèmes en relation avec les activités de l'Association. Or ce public est très varié (figure 1), et c'est bien là le défi à relever. Il s'agit d'adapter les présentations à des lycéens, puis à des familles avec enfants de tous âges, à des visiteurs pressés ou au contraire passionnés, bref à tout un monde curieux mais exigeant. Et aussi de dérouler sans relâche, pendant toute la durée de la Fête, les variantes d'un même discours.

grand public, évoquant plutôt le monde sous-marin que la géologie. À l'évidence, il fallait trouver une belle histoire à raconter, le plus simplement possible, et l'illustrer. Et aussi, permettre à chacun de prendre dans ses mains les étranges roches du manteau, et de les examiner au microscope. Dans le même temps, montrer ce que sait faire et ce que propose, modes-tement, la SAGA.

Le Chenaillet, patrimoine et témoin incomparable de l'ouverture puis de la fermeture d'un océan.

Le site du Chenaillet, dans les Hautes-Alpes, est bien connu et son histoire a été relatée plusieurs fois dans les pages de notre bulletin, sans compter la littérature abondante sur le sujet. C'est un témoin remarquable de la formation de la croûte océanique au voisinage d'une dorsale, lors de l'ouverture de la Téthys au mi-lieu du Crétacé.



Figure 1. Dans la Galerie de Géologie et Minéralogie du Muséum. (Cliché J.-L. Fromont).

Cette année, pour l'un des deux ateliers, la Commission de volcanisme de la SAGA avait choisi le thème de la **croûte océanique**. Voilà un sujet mal connu du



Figure 2. Microscopes et visiteurs. (Cliché F. Tran Thien).

Il s'agissait pour nous d'expliquer aux visiteurs le lien avec la tectonique des plaques et l'ascension du magma mantellique, tout en restant très concrets. Bien sûr, des échantillons de *serpentine* et de *gabbro*, des panneaux et de belles photos sont nécessaires pour accompagner les schémas souvent obscurs. Or, les années précédentes, nous avons déjà présenté, en vraie grandeur, l'examen de lames minces au microscope polarisant, et la projection des prises de vue sur grand écran en temps réel. C'est ce que nous avons répété cette année (figure 2) avec les lames taillées dans les *ophiolites* du Chenaillet; surprise et succès garanti, auprès des petits comme des grands : ainsi, il est possible de « voir » à l'intérieur de ces roches issues des profondeurs !

Quelques extraits de la présentation. Une belle histoire qui surprend le public...

Ouverture et fermeture de la Téthys. Soulèvement des Alpes

Après les classiques préliminaires sur la composition de notre planète, sur l'importance du manteau et sur la structure de la lithosphère, le discours risque de devenir ingrat si nous ne trouvons pas une belle histoire à raconter ! Voilà un domaine qui représente plus des deux tiers de la surface de notre planète mais qui ne semble accessible qu'à des navires océanographiques lourdement équipés pour le forage et le carottage aux grandes profondeurs (figures 3a et 3b). À l'évidence, c'est hors de portée de la SAGA !



Figure 3a. Le Joides resolution, navire du projet IODP (International oceanic discovery programme)
(Tiré de : *La croûte océanique*, T. Juteau & R. Maury, 2012, éd. Vuibert).

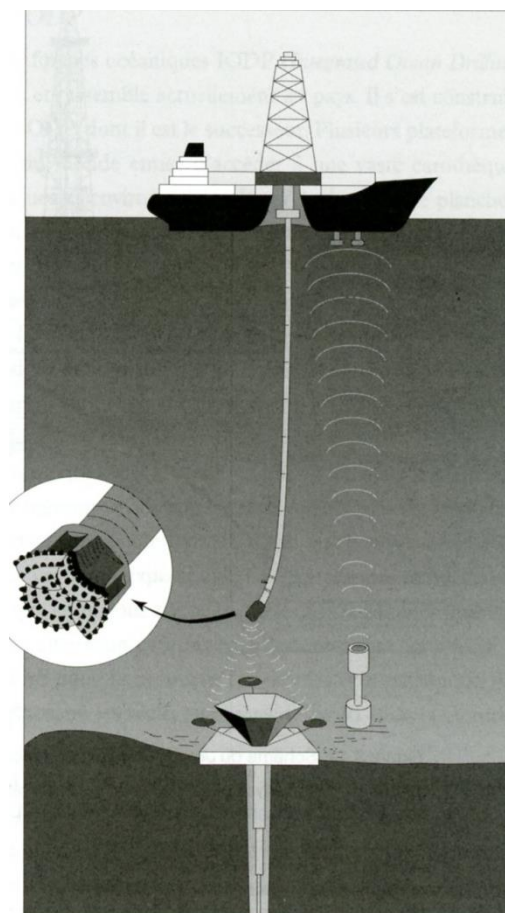


Figure 3b. Schéma montrant le trépan et son « cône de retour ». (Juteau et Maury, 2002).

Mais heureusement, la croûte océanique offre de précieux témoins, jalonnant la plupart des grandes chaînes de montagne : paradoxe ? Notre voyage va y répondre et nous conduire à visiter un témoin remarquable dans les Alpes : le massif du Chenaillet. Le moment est venu de raconter aux visiteurs l'histoire de l'ouverture (rift) d'un continent il y a 150 millions d'années, puis de la création d'un océan au nom enchanteur, la Téthys. L'« océanisation » se fait par la montée des roches du manteau le long d'une *dorsale*, leur « accréation » et leur transformation par la circulation de l'eau de mer portée à haute température, et la création continue de la croûte océanique pendant des dizaines de millions d'années. Mais la création est inévitablement suivie d'une destruction par la fermeture de l'océan et l'édification de la chaîne des Alpes (figure 4). C'est bien là un effet de surprise garanti sur le public ! Ainsi tout est lié, dans un grand cycle de **création/destruction**, mais à l'échelle des temps géologiques, sur des centaines de millions d'années...

Mais pourquoi et comment retrouve-t-on des roches du manteau au Chenaillet, à plus de 2 000 m d'altitude ? Nouvel épisode de l'histoire, qui surprend aussi beaucoup notre public : celui de la subduction de la

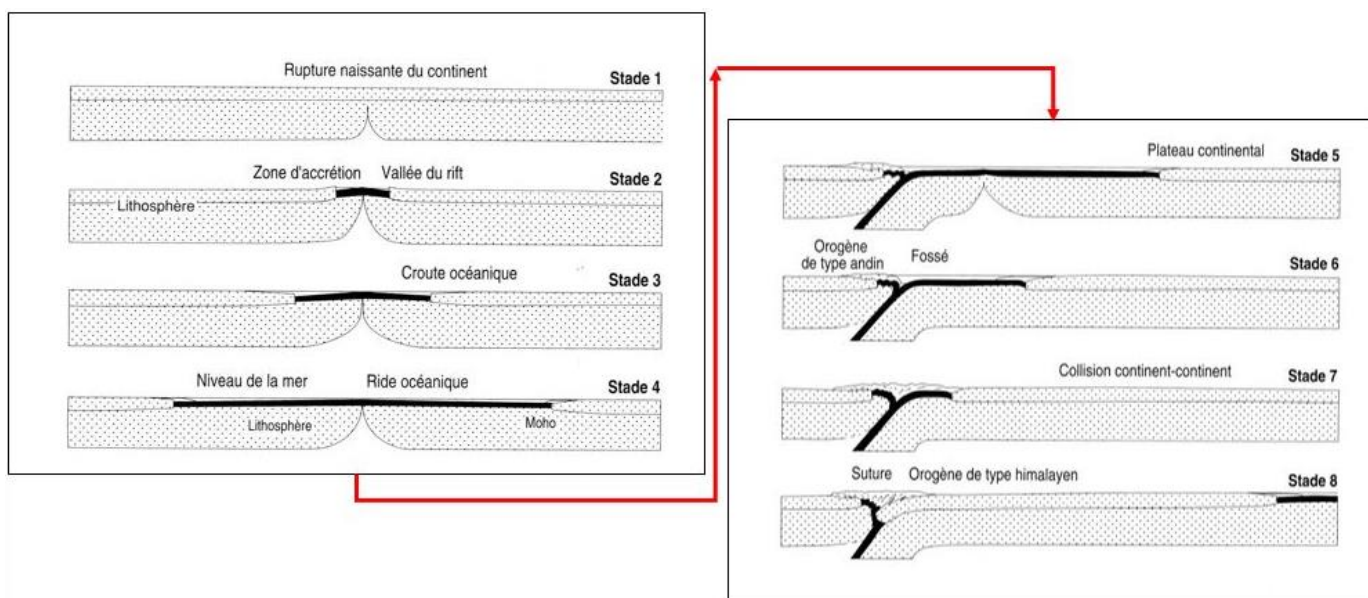


Figure 4. Le film de la « création/destruction » d'un océan et de la croûte océanique.
(Tiré de : **La croûte océanique**, T. Juteau et R. Maury, 2012, éd. Vuibert).

croûte et son enfouissement dans le manteau, jusqu'à la fermeture. Mais aussi l'histoire d'exception de petites écailles (ou de copeaux), soulevées, exhumées et charriées sur la chaîne de montagne, pour notre plus grand bonheur (figure 5).

Le Chenaillet est un fragment de la lithosphère océanique fossile charrié lors de la fermeture de la Téthys

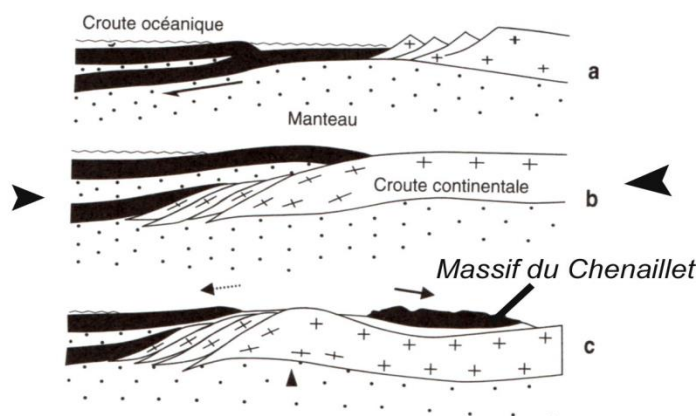


Figure 5. La « klippe » (note 1) du Chenaillet, écaillage providentiel d'un témoin non subducté d'une dorsale lente.
(Tiré de : **La croûte océanique**, T. Juteau & R. Maury, 2012, éd. Vuibert).

La cuisine magmatique et hydrothermale sous une dorsale lente

Autre surprise pour le public, quand on aborde le fonctionnement de la dorsale dans ses profondeurs, jusqu'au manteau : une histoire de fusion, de montée du magma puis de son accumulation (note 2) de

refroidissement d'abord lent, en profondeur, puis brutal au niveau du plancher océanique...

Et, enfin, l'eau de mer infiltrée dans les failles, vaporisée, vient lessiver et transformer ces roches accumulées. C'est de ce matériau qu'est fait le « tapis roulant » de la croûte océanique, les *ophiolites*. Tout cela à l'échelle des temps géologiques, à des vitesses qui se comptent en centimètres par an !

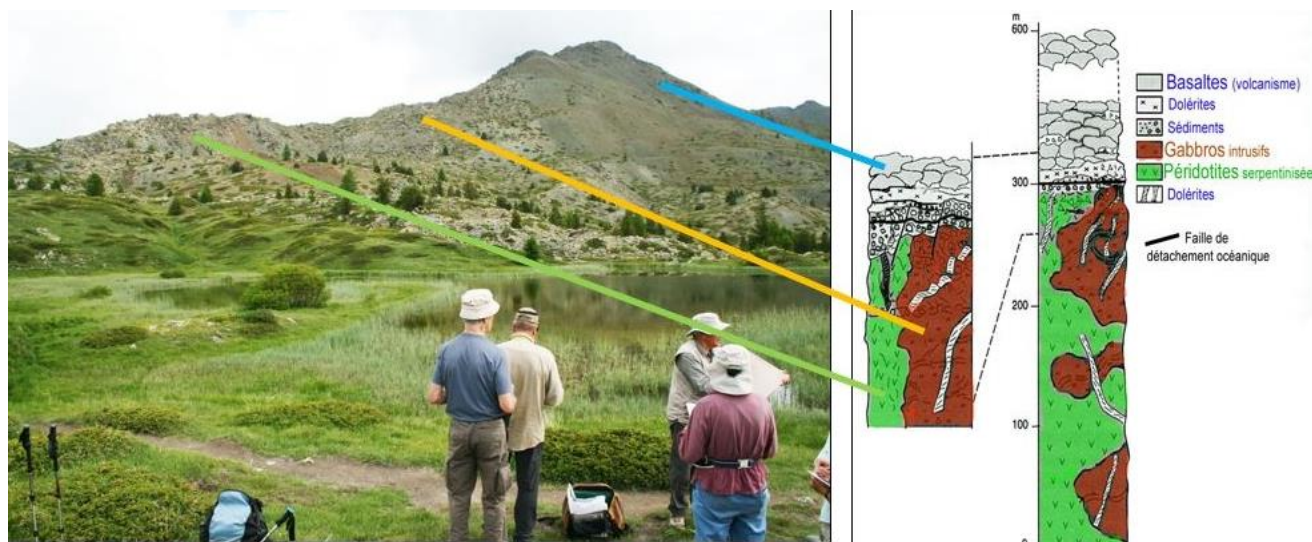
Le terme d'*ophiolites* désigne en réalité toute une famille complexe de roches : la série ophiolitique (figures 6a et 6b, page suivante). Au sommet de la série, les basaltes en coussin du Chenaillet, qui en font sa renommée internationale.

« Voir » à l'intérieur de ces roches issues des profondeurs

Les ophiolites ont en commun d'être issues du manteau et de sa fusion locale, à l'aplomb de la dorsale. La visite du massif du Chenaillet fait connaître plusieurs roches de la série, très caractéristiques.

Le récit de la modeste ascension vers le sommet du massif conduit à distinguer clairement le passage depuis les plus profondes, les *serpentinites*, jusqu'aux plus superficielles, les *basaltes en coussin*, en passant par les *gabbros*.

À chaque étape de la présentation, les échantillons (note 3) circulent parmi les auditeurs (figure 7) et simultanément, un acteur de la SAGA projette en temps réel les images de la lame mince correspondante, vues à travers le microscope.



Figures 6a et 6b. À gauche, la photo montre la série ophiolitique, vue de la base du petit massif du Chenaillet.

À droite, représentation schématique de la série ophiolitique du Chenaillet, typique d'une dorsale lente (environ 1 cm/an !). Les diapirs de magma mantellique s'accumulent à la base de la zone d'accrétion.

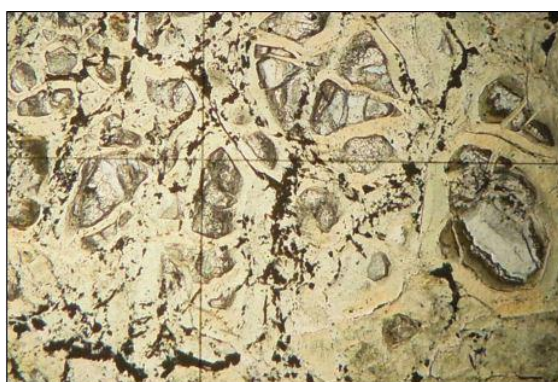
Ils cristallisent en partie sous la forme de gabbros intrusifs dans la péridotite du manteau lithosphérique. Ils libèrent le magma restant, qui poursuit son ascension vers le plancher de l'océan. Là, il se répand sous la forme de « laves en coussins » (les pillow lavas des anglo-saxons), au contact de l'eau de mer. Cette même eau de mer circule par les failles, se vaporise, et ce fluide porté à hautes températures vient transformer les roches de la zone d'accrétion. Il s'agit d'un métamorphisme hydrothermal.



Figure 7. Les roches de la série ophiolitique du Chenaillet : serpentinites sombres, dont l'une est encore truffée de cristaux clairs de bastite, plagiogranite, gabbros, cumulats gabbroïques, basaltes en coussins (pillow lavas). (Cliché A. Cornée).

Nous invitons les auditeurs à observer au microscope les lames minces taillées dans ces roches. Ils peuvent ainsi comparer une serpentinite avec un nodule de péridotite récolté dans le massif du Devès (Massif central).

Toutes deux sont *ultramafiques*, c'est-à-dire entièrement composées de silicates de magnésium et de fer. Mais c'est une bonne occasion pour expliquer la transformation hydrothermale de la péridotite, par la vapeur surchauffée en provenance de l'eau de mer infiltrée (figures 8a et 8b).



Figures 8a et 8b. Clichés en lumière polarisée non analysée, dite « naturelle ». Comparaison entre une péridotite « fraîche » (nodule du Mont Bar, Devès), ci-dessus, et une serpentinite du Chenaillet, ci-dessous. L'olivine (note 4), composant majoritaire de la péridotite, est serpentinisée et transformée en association de deux minéraux, l'antigorite et le chrysotile. (Clichés D. Rossier).



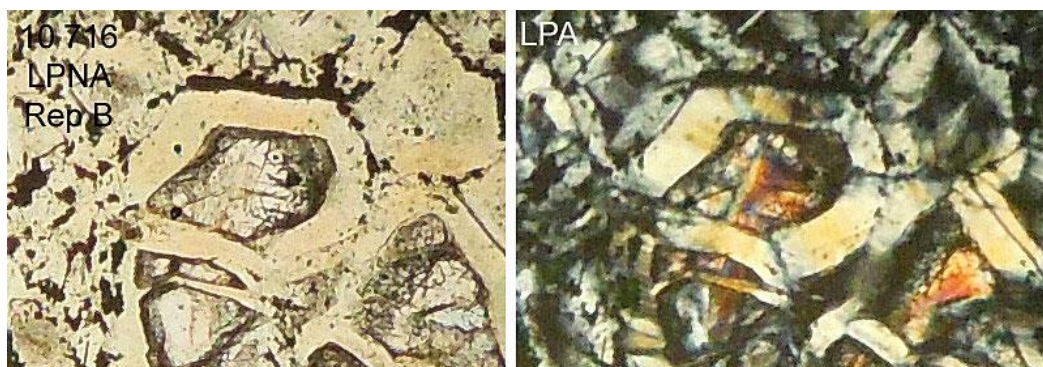


Figure 8c. Clichés en lumière polarisée non analysée, dite « naturelle ». Dans cette lame mince, la conversion hydrothermale s'est faite en petites « mailles » (« mesh », dans la littérature), dont la périphérie est bien soulignée d'un liseré opaque d'oxydes de fer. Cette texture classique résulte de l'impossibilité pour la maille d'antigorite d'accommoder dans son réseau les atomes de fer. (Clichés D. Rossier).

Dans le modèle classique des ophiolites de dorsale lente, le manteau rocheux fond à 1 300 °C et à des profondeurs supérieures à 60 km sous le plancher océanique, grâce à la chute de pression à l'aplomb de la dorsale. Les gouttes de fusion s'agglomèrent en petits diapirs localement moins denses que la roche mantellique, qui remontent lentement (*note 5*) jusqu'à la base de la croûte océanique en formation. Là, ils s'accumulent, créant des petites chambres magmatiques qui évoluent par cristallisation fractionnée en donnant des gabbros (figures 9a, 9b et 9c).

Ces derniers constituent une masse importante à la base de la série, juste au-dessus des serpentinites.

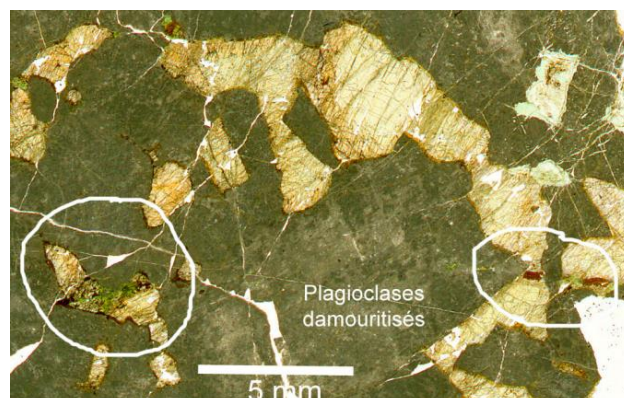


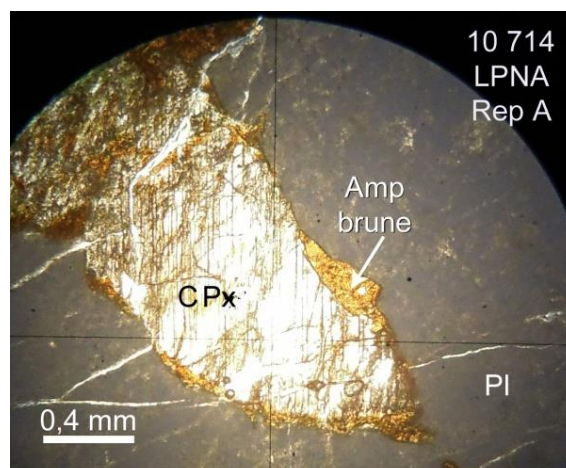
Figure 9b. Clichés en lumière polarisée non analysée, dite « naturelle ». Les plagioclases occupent la majeure partie. Ils présentent un aspect sombre parce qu'ils ont été complètement vidés de leur calcium d'origine par l'hydrothermalisme - on dit qu'ils ont été albitisés -, puis altérés en minuscules cristaux de mica et d'épidote. L'opacification des plagioclases résulte de la diffusion de la lumière par ces microcristaux. Les pyroxènes clairs subsistent avec une auréole réactive d'origine magmatique, plus ou moins continue au contact avec les plagioclases : ce sont les taches des liserés brun foncé dans les cercles blancs du cliché ci-dessus et également sur le cliché ci-dessous. Ce minéral est communément désigné par le terme d'« amphibole brune ».

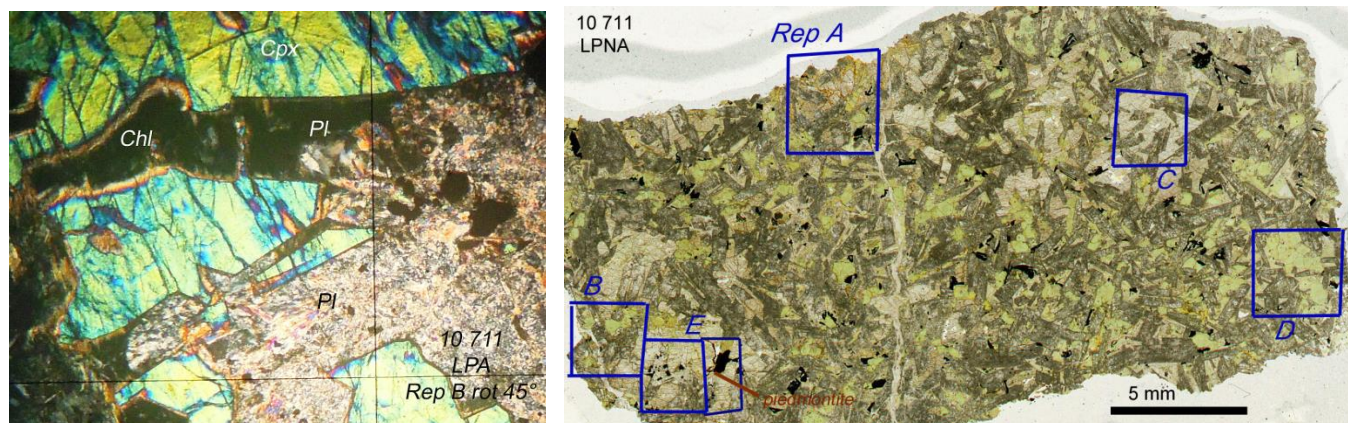
Cpx désigne le clinopyroxène et PI le plagioclase. (Cliché D. Rossier).



Figure 9a. Bel affleurement de gabbro, avec les gros cristaux blancs de plagioclase, dans la matrice ferromagnésienne. Noter le filon de basalte traversant l'affleurement. (Cliché J.-L. Fromont).

Figure 9c. À gauche, cliché en lumière polarisée non analysée, dite « naturelle » d'un cumulat gabbroïque (voir *note 6*). Les baguettes automorphes de plagioclases albitisés et altérés (cumulus) sont densément enchevêtrées au sein d'un intercumulus de grands clinopyroxènes. Ceux-ci sont bien visibles sur le cliché, à droite, en lumière polarisée analysée, aux teintes de Newton vives. (Cliché D. Rossier).





Figures 9c. À gauche, cliché en lumière polarisée non analysée, dite « naturelle » d'un cumulat gabbroïque (note 6).

Les baguettes automorphes de plagioclases albitisés et altérés (cumulus) sont densément enchevêtrées au sein d'un intercumulus de grands clinopyroxènes. Ceux-ci sont bien visibles sur le cliché, à droite, en lumière polarisée analysée, aux teintes de Newton vives. (Cliché D. Rossier).

Au sommet des chambres magmatiques parvenues au bout du processus de cristallisation fractionnée, une petite portion de magma, de l'ordre de 1 %, subsiste avec une composition « limite ». Elle est débarrassée des ferromagnésiens et sa nature est franchement acide. Son ascension par des filons va conduire à de petits affleurements de roche felsique (note 7) claire.

Un échantillon circule : pour le visiteur qui l'observe, il ressemble à du granite ; ce que cette roche n'est pas, car elle est presque complètement dépourvue de quartz (figure 10). C'est un *plagiogranite*, ou *albitite*, presque exclusivement fait de plagioclase sodique, l'albite.



Figure 10a. Échantillon de la petite carrière d'albitite, au pied du massif de gabbros, au lieu-dit la cabane des douaniers. (Cliché D. Levert).

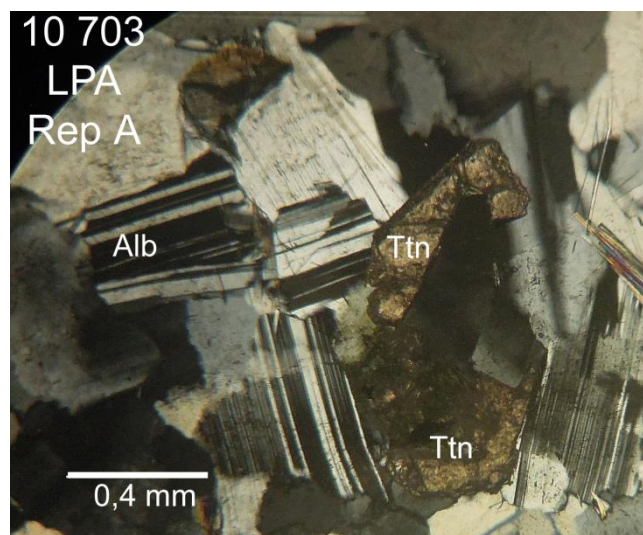


Figure 10b. Cliché en lumière polarisée analysée. Les magnifiques cristaux d'albite du plagiogranite, sans aucune altération. (Cliché D. Rossier). Ttn = titanite (sphène). Alb = albite.

Les basaltes en coussin du Chenaillet font sa renommée internationale

Les petites chambres magmatiques à la base de la zone d'accrétion servent aussi de sources de magma pour le « chevelu » de filons qui s'élèvent vers le plancher océanique. En effet, la zone est densément faillée par les contraintes tectoniques exercées par le système en extension des deux plaques océaniques. Par ces failles, le liquide basaltique, de densité plus faible que la roche environnante, s'élève vers la surface. Le chevelu est une des caractéristiques des affleurements ophiolitiques, mais il est malheureusement peu visible au Chenaillet.

C'est l'effusion des basaltes à la surface qui est spectaculaire, et nous faisons admirer aux visiteurs les photos du grand mur de basaltes en coussin (*pillow lavas*) du lieu-dit le Collet Vert (figures 11a, 11b et 11c). Ces laves sont remarquablement conservées et bien offertes à la vue grâce au basculement à la verticale de la surface d'émission, c'est-à-dire du plancher de l'océan.

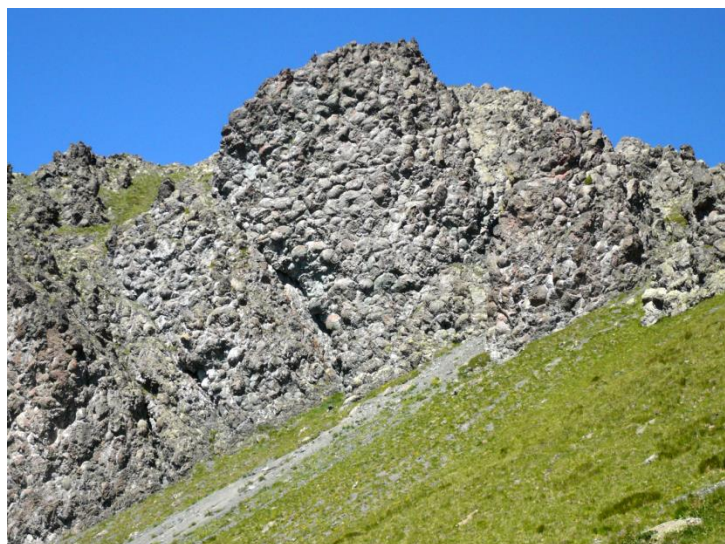


Figure 11 a. Le mur de basaltes en coussin du Collet Vert. (Cliché A. Cornée).



Figure 11 b. Au pied du mur du Collet Vert, le personnage donne l'échelle des « coussins ». Noter la disposition rythmée résultant de l'empilement de ceux-ci, avec le bombement de chaque individu vers la gauche et, vers la droite, son pédoncule d'alimentation. (Cliché D. Levert).

Une suite à donner ?

Il faut retenir la vraie curiosité et l'étonnement mêlé d'admiration de nos visiteurs pour ce qui est pour beaucoup la révélation d'un monde sous-marin inconnu. En si peu de temps, il était malgré tout impossible d'aller plus loin dans les explications.

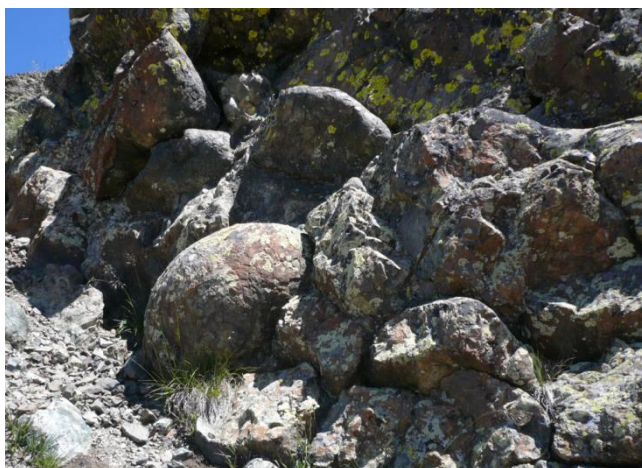


Figure 11 c. Au pied du mur du Collet Vert : les « pillow lavas » n'offrent qu'exceptionnellement cette forme parfaite de demi-sphère, mais plutôt en général une forme tubulaire dont la section crée l'illusion d'une forme en coussin ou... en polochon ! (Cliché A. Cornée).

En particulier, rien ou très peu était dit sur le mécanisme tectonique qui a conduit à la formation et à l'exhumation des ophiolites du Chenaillet. Or la compréhension de ce phénomène fait appel à des connaissances assez récentes, et au modèle d'expansion océanique lente par « **faille de détachement** », bien commenté dans l'article de Daniel Levert en référence.

Ce sera le thème d'un nouveau (et prochain) voyage d'étude pour les membres de la SAGA !

Notes

- (1) Klippe : portion d'une nappe de charriage isolée du corps principal de celle-ci.
- (2) Les géologues parlent d'accrétion.
- (3) Nous avons choisi de montrer des échantillons de gros volume, prêtés pour l'occasion par Annie Cornée, à l'exception d'un magnifique bloc de serpentine apporté par Jean Combettes.
- (4) Péridot et olivine : le péridot désigne la série continue des silicates de magnésium et de fer, dans laquelle l'olivine occupe la place principale avec des concentrations usuelles de fer comprises entre 10 % et 90 %. L'olivine est un minéral qui ne peut être formé que dans des conditions de HT et HP. Elle est caractéristique des roches intrusives en provenance du manteau.
- (5) L'échelle de temps est certainement à décrire en millions d'années ! Par exemple, pour une dorsale lente, la « production » de la croûte se fait à une vitesse de l'ordre du centimètre par an.
- (6) On parle de cumulats gabbroïques pour désigner le dépôt des cristaux dans la chambre magmatique, soit en fond de chambre, soit sur les parois refroidies.
- (7) Felsique, par opposition à mafique : qui est composé de feldspaths qui sont des alumino-silicates d'alcalins et de calcium. En l'occurrence pour l'albite, il s'agit d'un feldspath strictement sodique.

Remerciements

L'auteur remercie tous les participants de la SAGA au voyage d'étude au Chenaillet, effectué en été 2015, pour les informations données et les photos. L'auteur est reconnaissant à tous ceux qui l'ont aidé dans la préparation et le déroulement de l'atelier « **croûte océanique** ». Merci à Annie Cornée pour le prêt des échantillons du Muséum et pour ses photos.

Références

COMBETTES J. & GRIMAULT Y. (2015) – Voyage d'étude au Chenaillet (Hautes-Alpes). *Saga Information* n° 345, mars/avril 2015.

LEVERT D. (2015) – Nouvelle interprétation de l'ophiolite du Chenaillet (Hautes-Alpes). *Saga Information* n° 347, juillet/août 2015.

JUTEAU T. & MAURY R. (2012) – La croûte océanique. Vuibert éd.

MANATSCHAL G. *et al.* (2010) – *The Chenaillet ophiolite complex in the french/italian Alps : an ancient analogue for oceanic core complex ?* Lithos, 124

La SAGA à la Fête de la Science 2016

En octobre dernier, comme chaque année à la même époque, s'est déroulée la Fête de la Science au Muséum : la SAGA était au rendez-vous. Cette année encore, notre association présentait deux ateliers différents et, pour cette occasion, une partie de la Galerie de géologie et minéralogie était mise à disposition pour la manifestation.

Le premier atelier avait pour thème : « **La croûte océanique, naissance, vie et... subduction** ». Vous venez d'en lire un compte rendu très complet par son animateur Dominique Rossier.

Le second atelier avait pour thème : « **Les premiers temps de la vie** ». Nous en donnerons un compte rendu détaillé dans le prochain *Saga Information*.

CONFÉRENCE

La Société des Amis du Muséum et du Jardin des Plantes propose le **samedi 18 mars 2017**, à 14 h 30, une conférence donnée par François Farges, Professeur de minéralogie au Muséum national d'Histoire Naturelle, membre honoraire de l'Institut Universitaire de France, Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (IMPMC), Sorbonne Universités (UPMC, CNRS, MNHN et IRD).

Elle est intitulée : **Les minéralogies « vertes », enjeu scientifique ou sociétal ?**

Cette séance se déroulera exceptionnellement dans l'amphithéâtre de paléontologie du MNHN (entrée 2 rue Buffon). L'entrée est libre pour les membres de la SAGA qui sont cordialement invités à y assister.

Renseignements au 01 43 31 77 42, ou

steamnhn@mnhn.fr

Site de l'association : www.mnhn.fr/amismuseum

PARUTION

Actes du congrès international
**« Les inventaires du géopatrimoine.
Enjeux, bilans et perspectives »**

Le congrès international « **Les inventaires du géopatrimoine. Enjeux, bilans et perspectives** », co-organisé par le Muséum national d'Histoire naturelle, le ministère en charge de l'environnement et le Muséum de Toulouse, s'était tenu à Toulouse, du 22 au 26 septembre 2015. Les Actes de ce congrès, édités dans la collection des *Mémoires hors série de la Société Géologique de France*, sont parus en décembre 2016.

Ce volume de 368 pages rassemble une quarantaine d'articles reflétant la majeure partie des sujets abordés lors de la réunion de Toulouse : état des lieux et comparaison des inventaires du géopatrimoine menés dans différents pays, point sur les actions entreprises aux niveaux local, régional, national et international.

Disponible à la SGF. Prix de vente ttc. : 15 €.

Consultable à la bibliothèque de la SAGA.

