

LU POUR VOUS

Dominique Rossier, animateur de la Commission de volcanisme.

Dans cette rubrique, nous rendons compte brièvement de deux articles du numéro 159 de *Géochronique*, paru en septembre dernier (cf. sommaire, p. 5), qui nous ont paru remarquables. Portant sur des thèmes très différents, ils manifestent la vigueur des recherches en science de la Terre dans notre pays, y compris dans la coopération internationale pour le premier.

« Atlantis Bank et les systèmes magmatiques des dorsales océaniques à expansion lente »

Marine Boulanger.

Cet article présente la thèse de Marine Boulanger, soutenue le 21 février 2020, au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, Université de Lorraine, et qui a valu à son autrice d'être lauréate du prix Ami Boué de la Société géologique de France (Boulanger, 2020).

La thèse apporte une étude très détaillée des processus magmatiques à l'œuvre au niveau de la faille transformante dite Atlantis II, le long de la dorsale sud-ouest indienne (figure 1). Le point important pour comprendre la suite est que cette dorsale est du type « **dorsale lente** », comme 50 % de toutes les dorsales océaniques.

De nombreuses questions subsistent sur la mise en place et l'évolution des magmas accrétés en profondeur et impliqués dans les dorsales, particulièrement dans le cas des dorsales lentes. Celles-ci sont à l'origine de la création des deux tiers de la croûte océanique actuelle. Contrairement aux dorsales rapides, pour lesquelles le modèle de Penrose est admis et donne une représentation simple de la formation de la croûte océanique, les dorsales lentes sont très hétérogènes à cause du caractère réduit et discontinu de l'apport de magma. Les modèles récents ont introduit le terme imagé de *mush* (= bouillie cristalline). Au lieu d'une véritable chambre magmatique comme dans les dorsales rapides, le réservoir sous la dorsale serait une matrice semi-rigide, une « bouillie cristalline », dans laquelle circulerait le liquide magmatique, à moins de 40 % du volume total.

Une autre caractéristique importante des dorsales lentes est l'asymétrie marquée de leur mode d'expansion, avec la création de « *Core Complexes océaniques* » (OCC, en anglais), dont on a vu l'importance dans le fonctionnement des marges passives dans un précédent article de *Saga Information* (Rossier, 2021).

Rappelons qu'un *Core Complexe océanique* est créé à la faveur d'une grande **faille de détachement** à très faible pendage, qui permet l'exhumation d'importantes sections de **manteau dénudé**, sur plusieurs millions d'années.

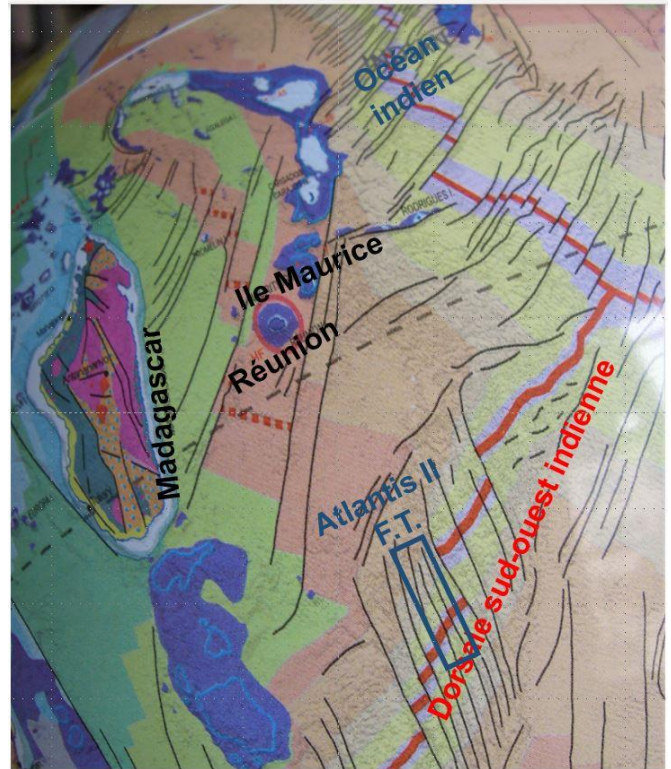


Figure 1. Position de la faille transformante Atlantis II, sur la dorsale sud-ouest indienne.

Le « *Core Complexe Océanique* » d'Atlantis Bank est sur le flanc oriental de la faille et occupe une surface à peu près parallélépipédique de 15 x 30 km.

Cliché obtenu par D. Rossier, en photographiant le modèle sphérique de la carte géologique du monde, édité par la CCGM-CGMW (Commission de la Carte géologique du Monde - Commission for the Geological Map of the World), Paris, 2018.

Atlantis Bank est un des plus vastes OCC connus à ce jour. Il a fait l'objet de plusieurs campagnes de forages profonds. Le travail de thèse a porté sur l'étude pétrographique approfondie des carottes récupérées dans les puits, avec deux méthodes :

- l'étude détaillée, pétrographique et géochimique, à haute résolution de figures locales ;

- l'étude des structures magmatiques et leur évolution en profondeur, sur plusieurs centaines de mètres de carotte.

L'objectif poursuivi est ambitieux : développer un modèle de formation et d'évolution des réservoirs magmatiques des dorsales à expansion lente.

Un premier résultat des analyses sur des sections métriques de carotte est la mise en évidence de litages et des textures minéralogiques. Ils sont interprétés en termes d'infiltration et percolation réactive de liquides intrusifs dans un *mush* gabbroïque à gros grains. Pour les membres de la SAGA, férus de pétrographie des roches magmatiques, les remarquables clichés publiés dans l'article sont très parlants. Les textures caractéristiques des interactions liquide/minéraux pourront nous aider dans l'interprétation de nos propres observations, par exemple celles que nous avons faites sur les cumulats¹ dans les complexes volcaniques.

Le second résultat intéressant est dans le nouveau modèle de formation d'un réservoir magmatique. Il a été élaboré par Martine Boulanger, à partir de l'étude lithologique sur une grande profondeur, cette fois sur une section de plusieurs centaines de mètres. Elle a pu identifier ainsi deux unités, édifiées en deux étapes (figure 2) :

- **l'unité inférieure**, hétérogène, est composée d'une alternance de roches « gabbroïques primitives », riches en olivine, séparées par plusieurs contacts intrusifs résultant d'épisodes magmatiques successifs. L'unité peut être décrite globalement comme composée de sills accumulés par des recharges répétées de liquides magmatiques primitifs, réagissant avec les sills ;
- **l'unité supérieure** nettement plus homogène, formée par la collecte des liquides réactifs issus de l'unité inférieure et accumulés au sommet du réservoir.

En conclusion, l'intérêt de cette étude est d'apporter une base expérimentale solide au modèle de réservoir magmatique des dorsales lentes, en travaillant sur une très longue section de prélèvement par forage. Il est aussi d'approfondir le concept de *mush*, en montrant comment les interactions liquide-minéraux façonnent la composition, mais aussi la structure profonde de la croûte océanique accrétée. C'est le nouveau concept de

« *melt flush*² », qui explique le caractère de cumulat des roches plutoniques océaniques par les recharges répétées et réactives de magma primitif dans les *mush* en cours de cristallisation.

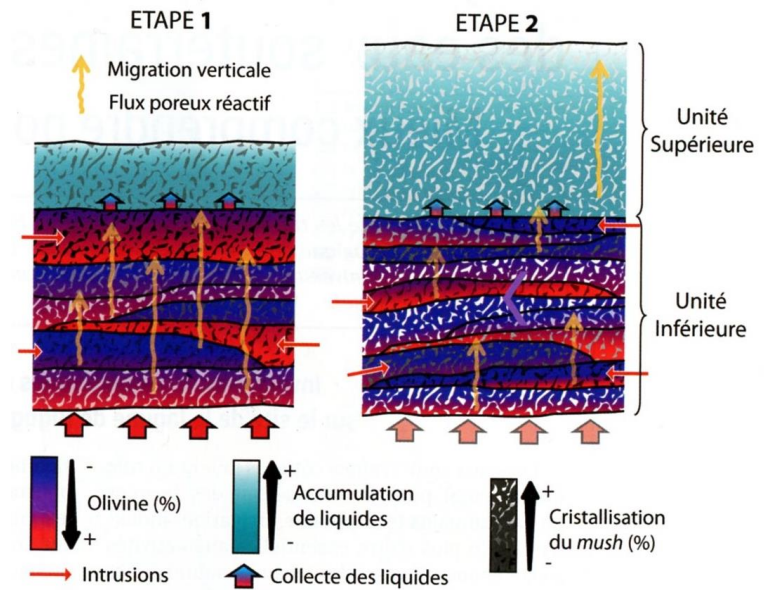


Figure 2. Modèle de formation d'un réservoir magmatique de dorsale lente, basé sur l'étude du forage ODP 735B. D'après Boulanger et al., 2020.

Boulanger M., 2020. Le devenir des liquides au sein de la croûte océanique des dorsales à expansion lente. Manuscrit de thèse, Université de Lorraine, 250 pages.
 Boulanger M., France L., Deans J.R., Ferrando C., Lissenberg J.C., et von der Handt A., 2020. Magma reservoir formation and evolution at a slow-spreading center (Atlantis Bank, Southwest Indian Ridge). *Frontiers in Earth Science*, 8, doi:10.3389/feart.2020.554598.

Boulanger M., 2021. Atlantis Bank et les systèmes magmatiques des dorsales océaniques à expansion lente. *Géochronique*, 159, p. 20-25.

Rossier D. 2021. Progrès récents en géodynamique. 1^{re} partie. *Saga Information*, n° 384, p. 23-31.

¹ Cumulats : ce sont des roches mafiques à ultramafiques, contenant un excès de cristaux par rapport à ce qui est attendu dans le magma parent. L'accumulation de ces cristaux se fait par dépôt gravitaire ou flottage, ou par cristallisation de cristaux précoces et retrait du liquide interstitiel (c'est le phénomène de *filtre-presse*).

² *Flush* en anglais a de nombreuses significations, impliquant toujours un événement à caractère « éruptif » ! Ainsi *flush* désigne une soudaine rougeur sur un visage, ou une bouffée de chaleur, ou plus trivialement une chasse d'eau !

« La cornéenne de Glomel. Un gisement d'andalousite de classe mondiale »

Éric Marcoux, Yannick Braquet, Nicole Le Breton, Philippe d'Arco,
Armand Dubus, Valentin Bouchet, Colin Guinard, Valentin Gérard.

Le Massif armoricain, nous le savons depuis toujours, est une source inépuisable de richesses géologiques ; en voici une nouvelle preuve !

Le gisement de Glomel (lieu-dit de Guerphalès) est au cœur du Massif armoricain, aux confins des trois départements des Côtes-d'Armor, du Finistère et du Morbihan. D'un point de vue géologique, le minerai exploité à Glomel est une cornéenne, générée dans l'auréole de métamorphisme d'un granite varisque. Ce qui fait l'originalité et la richesse exceptionnelle du gisement est le développement extraordinaire de l'**andalousite** dans la cornéenne, dans des proportions sans doute uniques au monde.

L'exploitation industrielle du gisement par Imerys¹ est la seule en Europe. Ce gisement assure à lui seul de 20 à 30 % de la production mondiale.

Autre source d'étonnement : l'article de *Géochronique* marque le tout début de l'intérêt scientifique pour le gisement. Le statut des auteurs (Université d'Orléans ; Sorbonne Université, Paris et Imerys)

montre qu'il s'agit d'un travail collectif entre laboratoires des sciences de la Terre et industrie minière.

Nous évoquons maintenant très succinctement les principaux aspects scientifiques que l'article aborde après un bref historique.

Cadre géologique régional

Ce chapitre décrit le cadre lithostratigraphique du Paléozoïque dans lequel l'épisode métamorphique s'est produit. La localité de Guerphalès, près de Glomel, se trouve dans l'unité des « Schistes d'Angers » de l'Ordovicien moyen. Mais surtout, elle se situe au seul point de rencontre entre les deux ceintures granitiques armoricaines, nées entre 325 et 315 Ma de la collision à la fin de l'orogénèse varisque. Ces ceintures granitiques se sont développées le long des grands cisaillements nord- et sud-armoricains. Au nord, les monzogranites de Rostrenen y appartiennent, et au sud, ce sont les diorites de Pontivy (Figure 1).

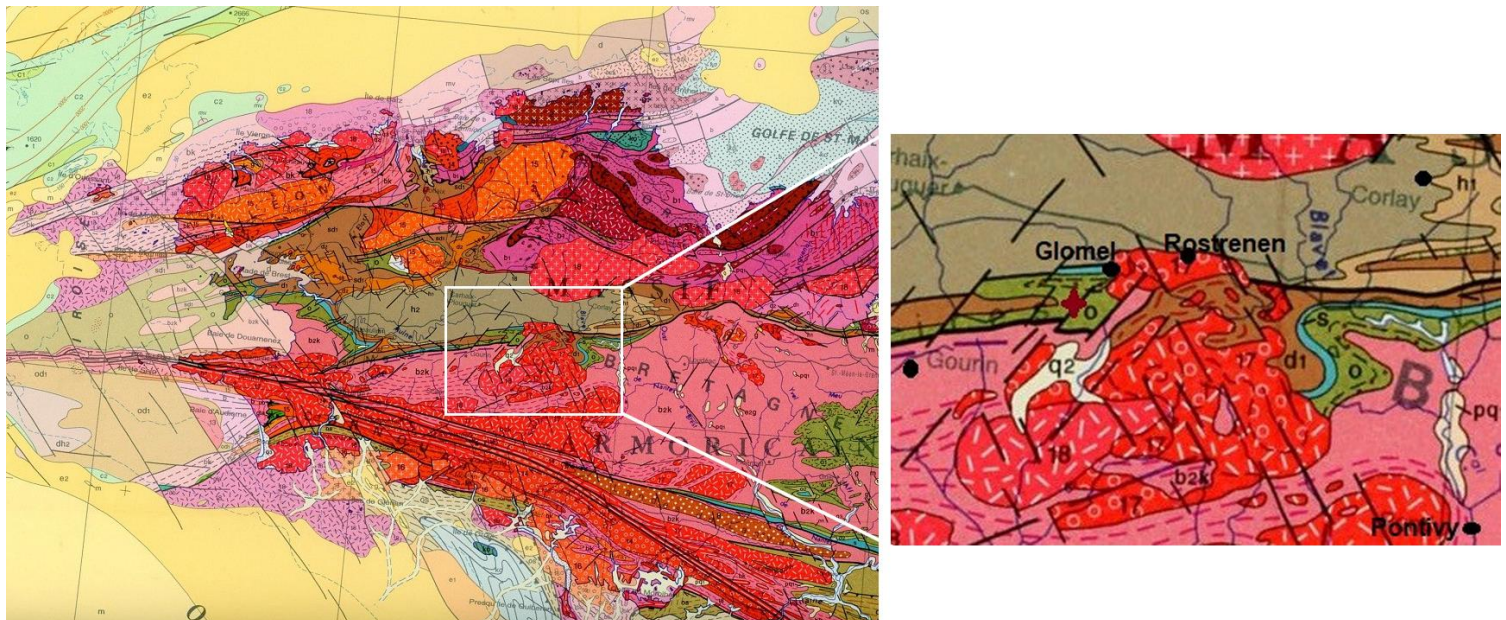


Figure 1. Extrait de la carte géologique de France à 1/1 000 000.
En rouge, les massifs granitiques,
de Rostrenen au nord, de Pontivy au sud.
Ils se trouvent à cheval sur le grand cisaillement nord armoricain.
Glomel se trouve dans l'Ordovicien (en vert),
à la bordure ouest du petit massif de Rostrenen. © BRGM.

1. Imerys est le leader mondial des spécialités minérales pour l'industrie.

Cadre géologique du gisement d'andalousite et minéralogie des cornéennes : une paragenèse exceptionnelle, andalousite-biotite-quartz

C'est le monzogranite de Rostrenen qui est responsable de l'important métamorphisme de contact (thermométamorphisme), avec la création d'une auréole interne de cornéennes à andalousite. Ce silicate d'alumine² est exceptionnellement abondant dans les Schistes d'Angers métamorphisés en cornéenne.

Les différents faciès de cornéenne, présents dans la fosse de la carrière, offrent en abondance de grands cristaux d'andalousite qui constituent 27 % du volume (figure 2). La taille des andalousites peut atteindre 5 cm, et il s'agit de la variété chiasolite, cruciforme en section droite. La matrice est à quartz, feldspaths et biotite. Ce dernier est le minéral dominant en volume (33 %) ; il est très visible et dessine la foliation de la cornéenne.

Les caractéristiques les plus remarquables de cette cornéenne sont la prodigieuse concentration et la pureté de l'andalousite. Elles sont à la base du succès de l'exploitation de la carrière par Imerys.



Figure 2. Minerai d'andalousite, Glomel.
Taille du champ illustré ; 50 cm.

Source : www.geodiversite.net/media830.

Photo Zarmel, CC by-sa.

Un dernier chapitre de l'article est consacré à l'analyse et l'interprétation des conditions de genèse de ce gisement rare. Les auteurs ont construit un modèle thermique, couplé à un modèle du pluton de Rostrenen, de façon à établir les conditions de minéralisation de la paragenèse si particulière : andalousite-biotite-quartz.

² On rappelle que l'andalousite est une des phases (basse pression ; moyennes et hautes températures) du silicate d'alumine polymorphe, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Les autres phases sont la cyanite et la sillimanite.

Ils ont ainsi proposé une température de 510 à 540 °C à une profondeur de 7 000 m (soit environ 2 kbars). L'échelle de temps de la genèse, puis du refroidissement, serait d'environ 10 à 20 Ma (millions d'années).

L'article est suivi par un court article de deux pages sur le site industriel Imerys de Glomel, avec quelques indications sur les procédés de séparation de l'andalousite de sa gangue. Les réserves de Glomel sont d'au moins 25 ans.

À la SAGA, notre expérience du métamorphisme de contact (thermométamorphisme) reste modeste. Il avait été déjà abordé avec la visite des auréoles métamorphiques du pluton de Flamanville. Plus récemment, nous l'avons observé en 2017 sur le terrain, lors de notre voyage d'étude en Trégor ; également en séminaire de pétrographie, avec des exemples tirés de l'île Millau (Trégor) et surtout des Pyrénées (lac de Cestrède (figure 3), pic de l'Aiguillette, Gourgs Blancs, lac d'Estom-Soubiran...).



Figure 3. Lac de Cestrède, cornéenne prélevée dans l'auréole métamorphique du pluton oriental de Cautelets. Section longitudinale d'un prisme d'andalousite faisant apparaître le sablier formé par les impuretés carbonées.
Photo D. Rossier.

Le site de Glomel mériterait de susciter un projet de voyage, en couplant la visite de la carrière et des sites voisins, avec l'exploration de la géologie et de la tectonique de la zone de cisaillement au cœur du Massif armoricain.

Marcoux É., Braquet Y., Le Breton N., d'Arco P., Dubus A., Bouchet V., Guinard C. et Gérard V., 2021. La cornéenne de Glomel. Un gisement d'andalousite de classe mondiale. *Géochronique*, 159, p. 32-49.

L'ANDALOUSITE DE GLOMEL DANS LA VALLÉE DES SAINTS (CÔTES-D'ARMOR)



La Vallée des Saints est située à Carnoët (Côtes-d'Armor), au cœur de la Bretagne, à 15 minutes de Carhaix. Une association ambitionne d'y implanter 1 000 sculptures monumentales de 4 mètres de haut taillées dans du granite breton représentant les Saints fondateurs de la Bretagne. Ici, Saint Guillaume Pinchon par le sculpteur Vivien Gamba (2018). Granite de Cléder (Finistère nord) pour le saint et andalousite de Glomel pour le chaudron.

Photos Alain Guillon.

Saga PARIS

Société Amicale des Géologues Amateurs

Muséum national d'Histoire naturelle

61 rue Buffon. 75005 Paris

Adresse postale : 43 rue Buffon. CP 48. 75005 Paris