

UNE MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉTUDE DES XÉNOLITES DU VOLCAN DE BOURNAC

Daniel Levert, membre de la commission de volcanisme de la SAGA.

Cet article est un complément traitant de la méthodologie utilisée pour l'étude pétrographique des xénolites du pipe de Bournac. Le volcan de Bournac et ses xénolites ont déjà été décrits dans un gros article paru en deux parties dans les numéros n° 371 – Juillet-Août 2019 et n° 373 – Novembre-Décembre 2019 de notre revue Saga Information (Levert, 2019a et b).

Introduction

Avoir accès pour étude à des roches de la croûte inférieure terrestre est un privilège très rare. Ces roches proviennent d'une région proche de la discontinuité de Mohorovičić, en abrégé Moho, qui marque la limite entre la croûte terrestre et le manteau supérieur de la Terre. Le Moho sous les plaques continentales se situe d'autant plus profond que la région possède un relief montagneux plus marqué ; les géologues ont noté que la profondeur de ce Moho peut ainsi être de 20 km à 90 km.

Remonter ces roches pour observation par des moyens humains est strictement impossible, mais mère nature nous a gratifiés d'une largesse en livrant ces roches à la surface du sol ; il nous a suffi de nous baisser pour les récolter. Cette rare aubaine nous a été offerte dans le Massif central en Velay, sur le volcan phréatomagmatique de Bournac. Lors de son éruption il y a 8 millions d'années, sa cheminée volcanique s'est comblée de tufs pyroclastiques dans lesquels les précieuses roches, arrachées vigoureusement à la croûte inférieure, ont trouvé place, là où nous les avons retrouvées aujourd'hui. Ces roches, étrangères aux tufs pyroclastiques, sont appelées xénolites.

Comprendre l'histoire de ces roches métamorphiques et déterminer leur positionnement dans la croûte au moment de leur extraction, n'est pas aisé. Nous avons donc utilisé une méthodologie capable de nous amener à un résultat argumenté et crédible.

Zone d'origine des roches

La zone d'origine de ces roches, voisine de la discontinuité de Mohorovičić, est caractérisée par de fortes pressions lithostatiques souvent supérieures à

10 Kbars (1 000 MPa) et de hautes températures qui peuvent approcher 1 000°C ; c'est la catazone dans laquelle les roches sont contraintes à des transformations métamorphiques pour rester en équilibre. Arrêtons-nous pour prendre conscience des conditions extrêmes supportées par ces roches: 10 000 fois la pression atmosphérique et un rayonnement thermique qui, si nous pouvions le voir, serait intense, orange-jaune, comme un fer porté par le forgeron vers 900°C. Dans ces conditions de catazone, les roches sont souples et plastiques ; plus haut dans la croûte, en se refroidissant, elles deviennent plus cassantes et faillées.

Cette différence se détecte en sismique par le changement de vitesse des ondes P comprises en moyenne entre 5,6 et 6,3 km par seconde dans la croûte supérieure faillée alors que dans la croûte inférieure, plus ductile, elles sont plus élevées et comprises entre 6,5 et 7,5 km par seconde. Cette discontinuité sismique est désignée « discontinuité de Conrad ». Elle se situe généralement entre 15 à 20 km de la surface du Moho et marque la limite supérieure de la catazone, au-dessus c'est la mésozone.

André Leyreloup, dans sa thèse de doctorat en 1973 (université de Montpellier), a montré que la chambre magmatique du volcan de Bournac se loge essentiellement dans la croûte inférieure catazonale et très peu dans l'asthénosphère lithosphérique ou même la mésozone (figure 1).

Les conditions de la catazone ont formé des roches métamorphiques de haute température et haute pression (HT/HP) qui sont de faciès granulite de haute température, dotées d'une matrice granoblastique en raison de la recristallisation hexagonale intense de leurs cristaux.

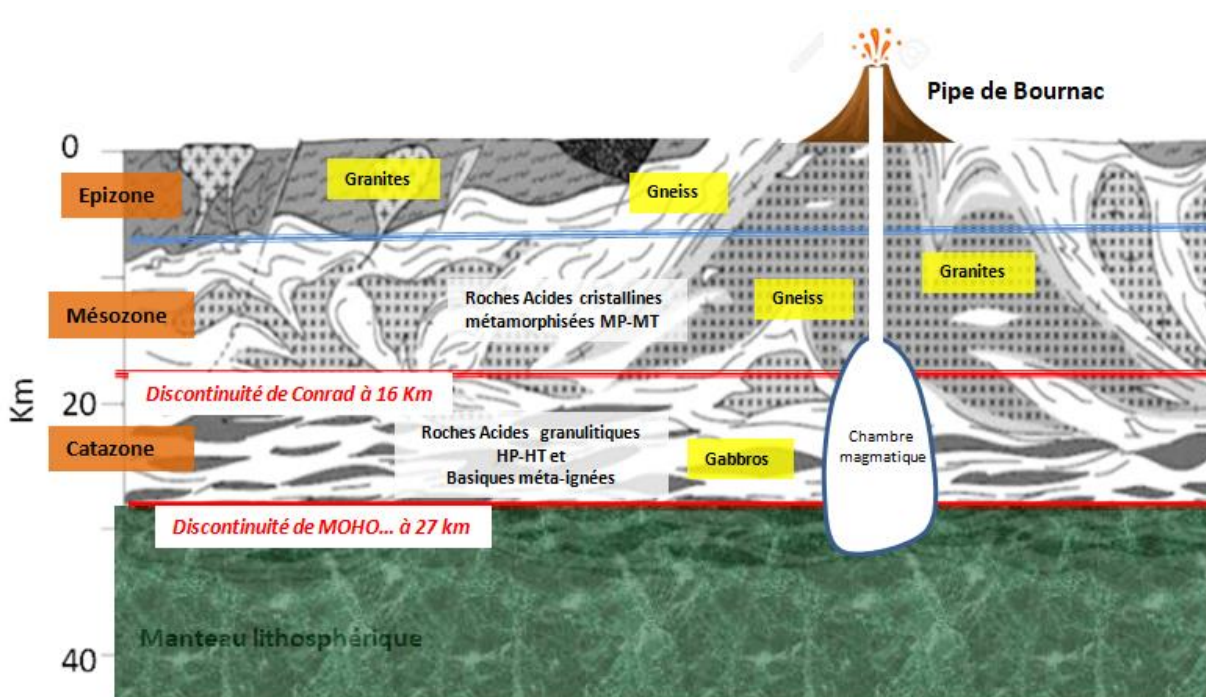


Figure 1. Dessin interprétatif de la structure de la croûte terrestre : localisation de la chambre magmatique et de la catazone d'où proviennent les xénolites de Bournac. D'après Leyreloup (1973) modifié.

La catazone contient aussi des gabbros provenant de la cristallisation lente de magmas basaltiques originaires du manteau lithosphérique. Soumis aux déformations tectoniques liées aux orogénèses, les gabbros apparaissent sous forme de roches méta-ignées.

Au-delà, la mésozone, aux paramètres de métamorphisme plus faibles, laisse apparaître les amphiboles ; les roches sont alors de faciès amphibolite, ce sont des gneiss.

Examen visuel des roches récoltées

Une trentaine de roches a été récoltée sur le pipe de Bournac. Elles ont été classées en lots d'aspects similaires. Seulement trois groupes bien typés visuellement se sont dégagés. Ces groupes ont été numérotés 1, 2, 3. Les roches typiques de ces trois groupes ont été illustrées et décrites en détail, respectivement dans le n° 371 et dans le n° 373 de Saga Information (Levert, 2019 a et b).

Ces roches profondes ont une longue histoire : il est certain que l'orogénèse varisque (ou hercynienne) a modifié la paragenèse ancienne d'âge certainement précambrien. On observe donc une paléo-paragenèse précambrienne dans laquelle s'est partiellement insérée une néo-paragenèse varisque, datée d'environ de -273 +/- 20 millions d'années. Mais l'histoire ne s'est pas arrêtée là. À la fin de l'Éocène, soit il y a environ 33 millions d'années, l'orogénèse alpine a

provoqué un amincissement de la croûte terrestre, accompagné d'une remontée de l'asthénosphère avec pour conséquence la réduction de l'épaisseur de la croûte terrestre à Bournac à seulement 28 km. C'est cela qui a induit un réchauffement de la croûte inférieure d'environ 100°C et l'a portée aux environs de 1 000°C. Nous montrerons que les conséquences de cet échauffement sont identifiables au microscope.

Ces trois épisodes majeurs ont eu des conséquences très complexes sur la structure des paragenèses que l'on peut observer aujourd'hui au microscope. Aujourd'hui le géologue amateur reste perplexe devant cette complexité... même avec l'aide de A. Leyreloup qui, dans son mémoire de thèse, rapporte des observations pétrologiques très fouillées et précises.

Il fallait donc trouver un chemin praticable pour contourner la difficulté. Nous verrons ci-après que c'est une grille pétrogénétique qui a offert la clef.

La question à résoudre est : d'où précisément proviennent ces roches dont la paragenèse ne nous est cependant que partiellement comprise?

Deux sources d'information ont été nécessaires :

1. les roches elles-mêmes et leur paragenèse que nous avons examinées au microscope ;
2. une grille pétrogénétique adaptée à Bournac qui nous a offert la clef.

La grille pétrogénétique

J. Dostal, C. Dupuy et A. Leyreloup en 1980 ont calculé et synthétisé les évolutions métamorphiques des paragenèses des roches telles que nous pouvons les attendre pour les xénolites de Bournac. Une grille pétrogénétique a ainsi été bâtie pour les principaux minéraux des roches catazonales sur la base des variations de température et de pression, mais aussi des teneurs en H₂O et CO₂ qui contribuent également fortement aux changements de phases des minéraux (figure 2).

- démolition rectangulaire ;
- amphibole, biotite.

L'évolution métamorphique indiquée en A, B et C ne doit pas être comprise comme l'évolution plus ou moins avancée d'une même roche. Nos roches qu'elles aient la paragenèse de A, B ou C sont actuellement présentes dans la croûte inférieure, ce sont bien des roches différentes. Nous observons donc aujourd'hui des roches dans leur état métastable de métamorphisme. Nous avons ainsi une « photographie instantanée » de la structure actuelle de la croûte inférieure au voisinage de la chambre magmatique du volcan néogène de Bournac.

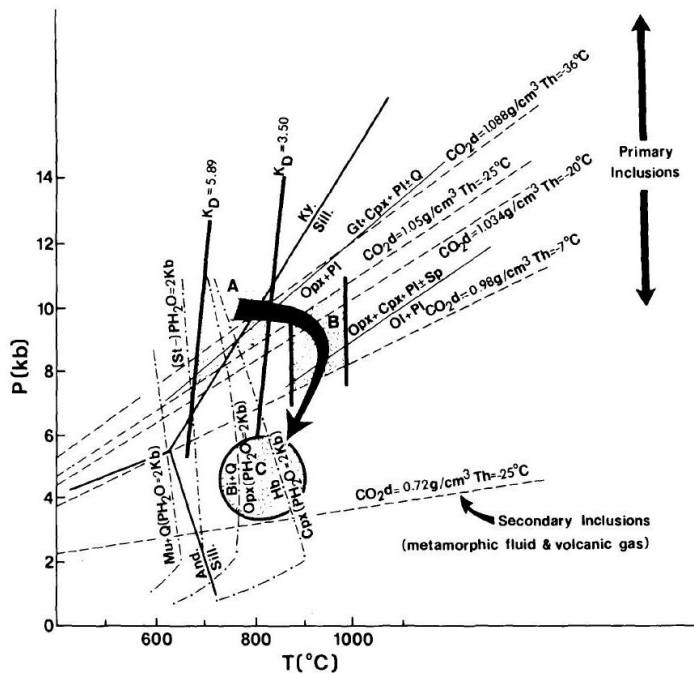


Figure 2. La grille pétrogénétique de J. Dostal, C. Dupuy et A. Leyreloup (1980) montrant l'évolution des xénolites du pipe de Bournac et ses trois stades : A, B et C.

Cette grille pétrogénétique indique les domaines où certains minéraux peuvent exister.

Il est possible de repérer au microscope dans nos roches certains minéraux caractéristiques des transformations métamorphiques décrites dans ce système de coordonnées pression/température.

L'évolution ou l'apparition évidente de certains minéraux nous a permis de les nommer « **indicateurs** » d'évolution métamorphique des paragenèses. Le repérage de l'apparition de ces minéraux indicateurs permet de positionner la roche dans la grille pétrogénétique au moment de son extraction par l'éruption du volcan de Bournac.

Désignation des indicateurs :

- polymorphes du silicate d'alumine Al₂SiO₅ : cyanite, sillimanite, andalousite ;
- présence ou non de grenats ;
- plagioclases altérés ou non ;

Recherche dans la roche des indicateurs attendus à partir de la grille pétrogénétique

Une grille pétrogénétique simplifiée (figure 3) est suffisante pour tenter de repérer plus aisément les indicateurs.

Les minéraux indicateurs recherchés permettront de localiser la zone de résidence de nos xénolites dans les conditions de la grille pétrogénétique.

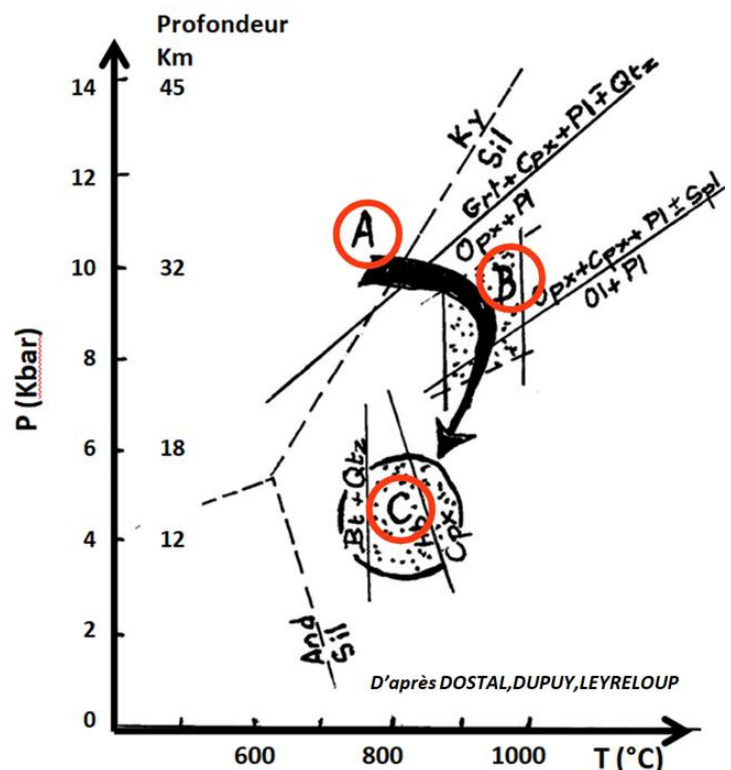
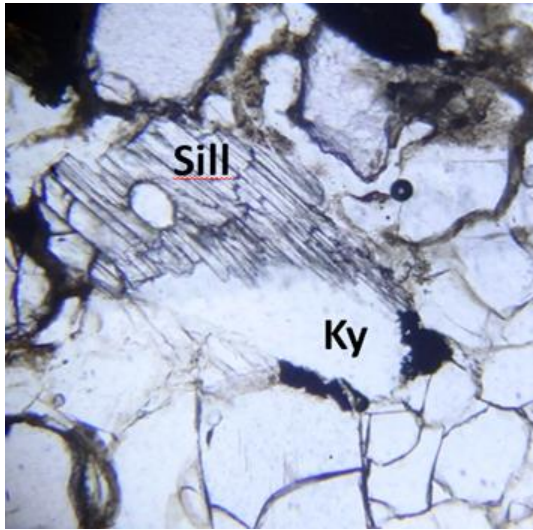


Figure 3. Grille pétrogénétique simplifiée mettant en évidence des états métamorphiques remarquables en A, B et C.

Indicateurs recherchés pour A :

présence de grenats, transformation partielle du silicate polymorphe d'alumine Al₂SiO₅ : **Ky** cyanite (disthène) => **Sil** sillimanite.



Ce xénolite B 22 montre une démolition rectangulaire des cristaux (signalée par Lacroix en 1893) avec formation d'un verre, préalable à la migmatitisation (figure 5). Cette roche qui appartient au groupe 1 devait être plus proche que les autres de son liquidus lors du réchauffement de 100°C causé par la remontée alpine de l'asthénosphère. Elle est thermiquement apparentée au groupe 2 et a dû subir une évolution thermique assez brève.

Indicateurs recherchés pour B (figure 6) :
 disparition des grenats: Grt => Opx +Spl ;
 transformation complète Ky =>Sil ;
 grands plagioclases altérés Pl ;
 apparition de Am (l'amphibole).

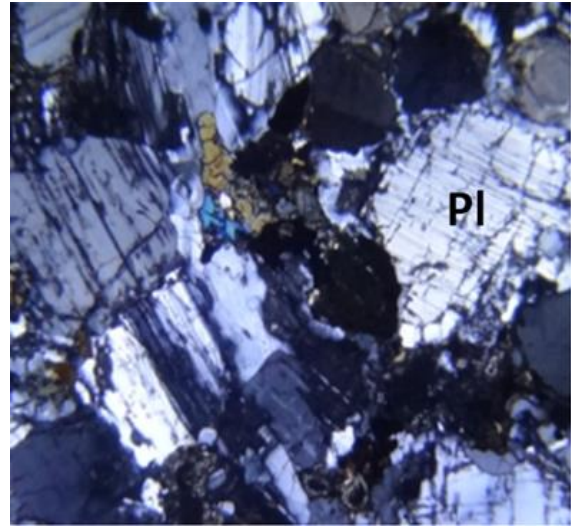
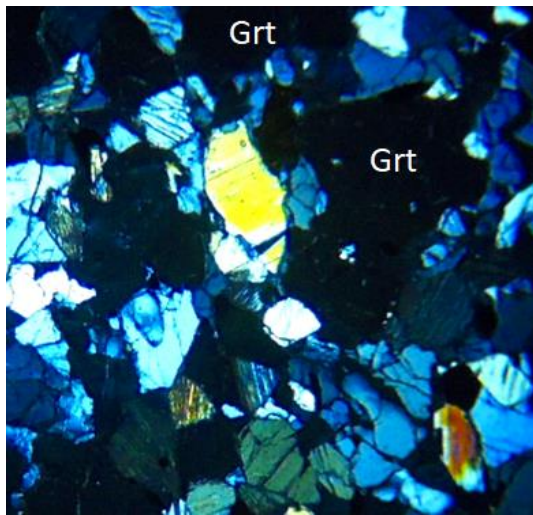


Figure 4. Indicateurs observés dans les xénolites du groupe 1 : Ky, Sil, Grt (grenat). Largeur du champ illustré : 2 mm. LPNA

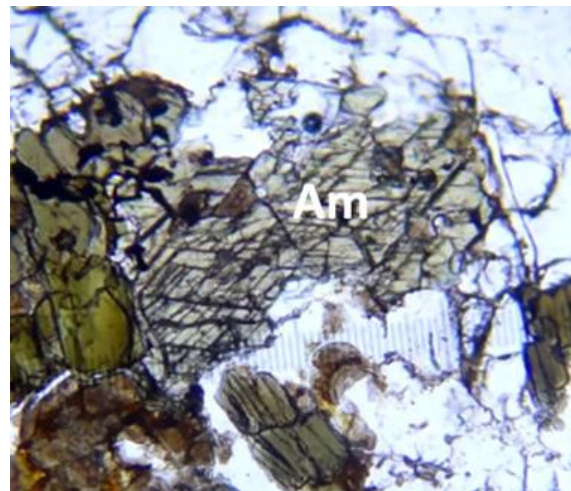
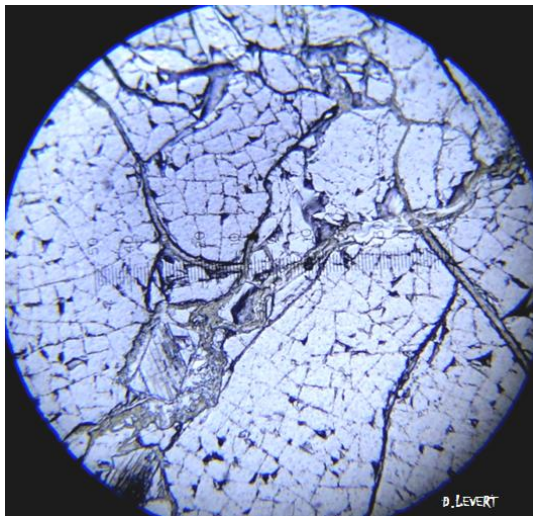


Figure 6. Principaux indicateurs observés dans les xénolites du groupe 2 : plagioclases altérés et amphiboles. Largeur du champ illustré : 4 mm.

Figure 5. Indicateur non recherché mais observé dans le xénolite B22 du groupe 1 : la démolition rectangulaire des cristaux observée par Lacroix précède immédiatement la fusion partielle des cristaux, c'est donc un indicateur de début de franchissement du liquidus de la roche. Largeur du champ illustré : 2 mm. LPNA

Indicateurs recherchés pour C (figure 7) :
 présence de sillimanite et petits néo-plagioclases ;
 présence de grosses amphiboles ; apparition de néo-quartz, d'amas de biotite et de sillimanite secondaire.

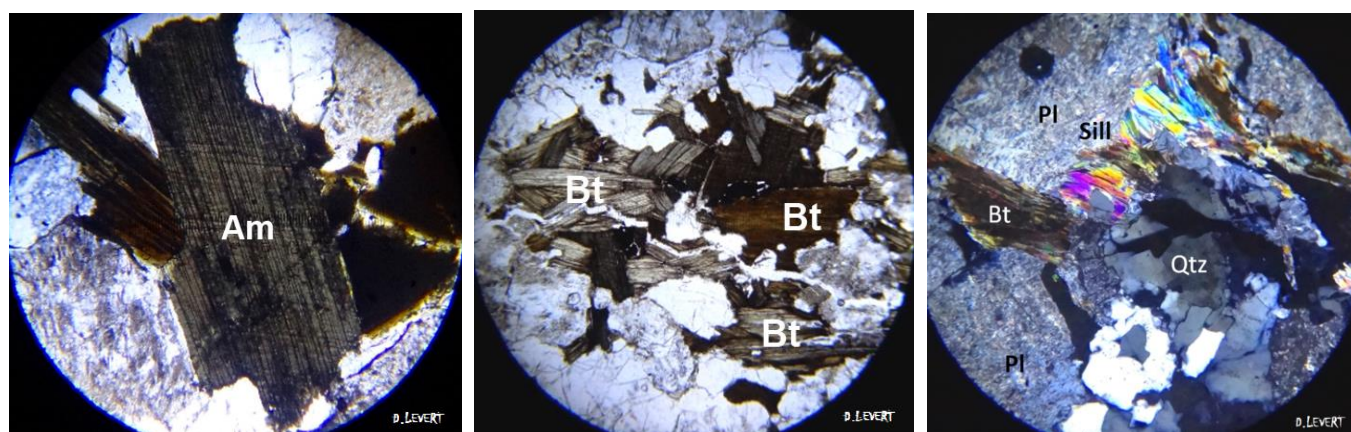


Figure 7. Indicateurs observés dans les xénolites du groupe 3 : Am, Bt, Qtz, Sill secondaire. Largeur du champ illustré : 4 mm.

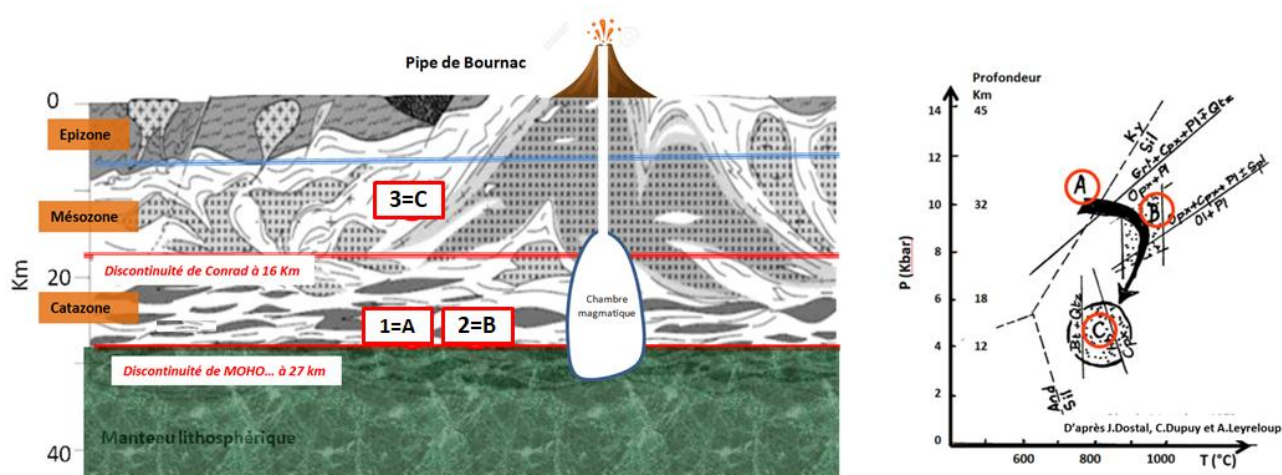


Figure 8. Localisation des zones d'origine des xénolites en fonction de la profondeur et de la température : 1=A, 2=B et 3=C.

À partir de ces observations et des indicateurs présents dans la paragenèse des xénolites, il est donc possible de déduire que ceux du groupe 1 correspondent à la zone A de la grille pétrogénétique, que ceux du groupe 2 correspondent à la zone B et ceux du groupe 3 à la zone C.

Ainsi, en se référant à la grille pétrogénétique, les groupes sont localisés dans l'épaisseur de la croûte inférieure en pression et température (figure 8).

Conclusion

L'aide apportée par cette méthodologie a été très intéressante. Les trois groupes de xénolites résultant du tri d'une trentaine de prélèvements réalisés sur le pipe de Bournac correspondent quasi précisément aux trois états remarquables de métamorphisme reconnus dans la grille pétrogénétique de J. Dostal, C. Dupuy et A. Leyreloup. Il est donc possible de les situer dans l'épaisseur de la croûte inférieure. Leur examen nous fournit un sondage intéressant sur la pétrologie et donc la nature de la croûte inférieure à différentes profondeurs.

Bibliographie

- Dostal J., Dupuy C. et Leyreloup A., 1980. Geochemistry and petrology of meta-igneous granulitic xenoliths in Neogene volcanic rocks of the Massif Central, France -Implications for the lower crust. *Earth and Planetary Science Letters*, Elsevier, 50, p. 31-40.
- Lever D., 2019a. Les xénolites du volcan de Bournac, Velay oriental. Une approche de la croûte terrestre inférieure par les xénolites contenus dans le pipe de Bournac. *Saga information*, 371, p. 25-31.
- Lever D., 2019b. Les xénolites du volcan de Bournac, Velay oriental. 2^e partie, étude pétrographique de nos trois groupes de xénolites. *Saga information*, 373, p. 21-26.
- Leyreloup A., 1973. Le socle profond en Velay d'après les enclaves remontées par les volcans néogènes. Son métamorphisme et sa lithologie : granites et série charnockitique (Massif central français). Thèse 3^e cycle, Université de Nantes, 356 pages.