

**Titre : Les phases précoces de l'orogénèse varisque dans les Massifs Cristallins Externes des Alpes occidentales**

**Prénom NOM : Jean-Baptiste JACOB**

Coordonnées de l'encadrant BRGM	
Programme Scientifique	RGF Alpes
Directeur de thèse (ISTerre)	Stéphane GUILLOT
Co-directeur de thèse (BRGM)	Jérémie Melleton
Co-encadrant	Emilie JANOTS/Michel FAURE
Ecole Doctorale	Terre, Univers, Environnement
Laboratoire universitaire de rattachement	ISTerre Grenoble
Site principal	Grenoble
Financement	Contrat doctoral normalien + financement RGF Alpes
Employeur	Université Grenoble Alpes
Date Début - Fin	01/09/2019 - 01/09/2022
Date de soutenance	?

**- Résumé :**

Les Massifs Cristallins Externes (MCE) des Alpes Occidentales sont les témoins à l'affleurement du socle continental paléozoïque impliqué dans l'orogène alpin. A l'instar d'une grande partie du socle continental de l'Europe de l'Ouest, ces massifs ont été principalement structurés au cours de l'orogénèse varisque et présentent une évolution polycyclique complexe (e.g. Le Fort 1974, Guillot & Menot 2009, Von Raumer et al. 2013). Plusieurs points d'ombre demeurent, en particulier en ce qui concerne les structures et les contacts tectoniques précoces, l'âge des déformations et le degré de métamorphisme associé aux événements varisques dans les MCE. Par ailleurs, ces massifs ont été affectés par de grands décrochements au cours du Carbonifère supérieur et du Permien, ainsi que par la tectonique alpine au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque. Il est pour cette raison difficile de les replacer dans un cadre plus général, et la position initiale des MCE dans la chaîne varisque est à l'heure actuelle mal définie.

Il est désormais admis qu'une grande partie du socle Européen est constitué d'un ensemble de blocs crustaux initialement localisés sur la marge Nord de Gondwana (Franke et al., 2017; Kroner and Romer, 2013; Stampfli et al., 2011). Au cours du Paléozoïque inférieur, ces blocs ont été séparés de Gondwana par l'ouverture de l'Océan Rhéique (480-460 Ma) puis de la Paléo-Téthys (430-380 Ma), avant d'être ré-amalgamés au cours Carbonifère lors de la fermeture de ces domaines océaniques, formant ainsi la chaîne varisque (Franke et al., 2017; Kroner and Romer, 2013; Matte, 2001; Stampfli et al., 2013). La position anté-varisque des blocs crustaux formant le socle des Alpes occidentales reste à l'heure actuelle mal contrainte. Ces fragments pourraient être issus de la partie orientale de la marge nord-Gondwanienne, à l'instar des Alpes orientales (Haas et al. 2020), ou bien de la partie occidentale de la marge, à l'instar du Massif Central ou de la Bohème (Stephan et al. 2019).

Outre la question de la position anté-varisque des MCE, se pose aussi la question de la place de ces massifs au sein de l'orogène varisque. Sur la base de corrélations entre unités, et en particulier sur

l'existence d'une possible suture interne varisque jalonnée par des méta-éclogites imprécisément datées vers 395 Ma (Paquette et al., 1989 ; Von Raumer et al., 2013), il a été proposé que les MCE soient la prolongation vers le Sud de la suture Eo-Varisque en bordure de Gondwana (Matte, 2001 ; Guillot et Ménot 2009 ; Corsini et Rolland, 2009). Dans un article récent (Ballèvre et al., 2018), il est suggéré que ces massifs fassent partie intégrante de la zone la zone interne épaissie de la chaîne varisque (Zone Moldanubienne), sans suture bien définie. Dans ce modèle, les MCE ne représenteraient donc pas la limite Est avec le Gondwana, mais feraient intégralement partie d'un bloc péri-Gondwanien détaché de Gondwana au cours du Paléozoïque inférieur (von Raumer et Stampfli, 2008; Stampfli et al., 2011).

Plusieurs questions se posent donc concernant l'évolution des MCE au cours du cycle varisque :

- Existe-t-il une zone de suture traversant les MCE ?
- Quelle est la place des MCE au sein de la collision varisque ?

Pour répondre à ces deux questions, il est fondamental de ré-investir ces massifs, en se focalisant sur plusieurs points clés :

- **Le magmatisme cambro-ordovicien** : l'âge précis et le contexte géodynamique de mise en place des intrusions mafiques (amphibolites) et felsiques (orthogneiss) au cours du Paléozoïque inférieur restent mal contraints, en particulier dans les zones internes formées par les massifs du Haut Dauphiné (Oisans-Pelvoux) et du NE de Belledonne. Il s'agira donc de dater précisément ce magmatisme, et d'utiliser des outils de caractérisation géochimique pour préciser le contexte géodynamique associé. Un travail de terrain détaillé en cours permettra aussi de préciser les relations structurales entre les intrusions mafiques et leur encaissant métamorphique.

- **Les reliques éclogitiques qui jalonnent les MCE** : il existe peu de données thermobarométriques et géochronologiques concernant le métamorphisme de haute pression dans les MCE. Nous proposons donc de réaliser une étude pétrochronologique sur ces reliques éclogitiques, afin de préciser l'âge, l'extension géographique et les conditions P-T maximales du stade de haute pression dans les MCE, et ainsi déterminer s'il s'agit ou non d'un marqueur d'une paléo-subduction.

- **Les formation méta-sédimentaires d'âge paléozoïque inférieur** :

Les déformation et le degré de métamorphisme ayant affecté ces formations est mal contraint, en particulier dans les domaines internes des MCE. Il s'agira donc de réaliser une étude pétro-structurale détaillée, afin de mieux caractériser les phases de déformations successives dans ces unités. Par ailleurs, la datation de zircons détritiques extraits de ces unités devrait permettre de mieux contraindre la localisation des MCE le long de la marge Gondwanienne, en comparant les spectres d'âges obtenus avec la compilation d'âges réalisée par Stephan et al. (2019) sur l'ensemble du socle varisque en Europe.

- **Mot-clés** : Chaîne Varisque, Massifs Cristallins Externes, Eclogites, Thermobarométrie, datations U-Pb

- **Résultats marquants** :

- Identification d'un stade éclogitique de haute température (1.5-1.6 GPa, 700-750°C) dans des lentilles amphiboliques du massif de Belledonne, suivi d'une ré-équilibration en faciès amphibolite – granulite (1.0-1.2 GPa, 750°C) enregistrée dans les lentilles mafiques et les gneiss environnants.

- Nouvelles datations U-Pb sur zircon, qui indiquent un âge Ordovicien pour la mise en place des protolites magmatiques mafiques et felsiques ( $450 \pm 5$  Ma pour les amphibolites et  $466 \pm 5$  Ma pour les orthogneiss). La datation des recristallisations métamorphiques des zircons extraits des éclogites et des gneiss environnants indique plusieurs phases de recristallisation à  $\sim 335$ - $340$  Ma,  $320$ - $325$  Ma et  $305$ - $310$  Ma. La signification de ces âges reste à préciser, notamment par la mesure des éléments traces dans les zircons, mais il est possible que les âges les plus précoces correspondent au métamorphisme de haute pression enregistré dans les lentilles mafiques.

- Cartographie des foliations métamorphiques sur le secteur du Grand-Mont / lacs de la Tempête, au NE du rameau interne de Belledonne. La cartographie révèle la présence de deux générations de foliation ; une S1 sub-horizontale préservée en lentilles déca à hectométriques, reprise par une déformation transpressive dextre entraînant la formation d'une S2 fortement pentée d'azimut N15-N30. Les relations chronologiques entre métamorphisme et déformations restent encore à définir.

**- Publications :**

- **Participations à congrès nationaux et internationaux :** Poster « Variscan high-pressure granulite facies metamorphism recorded in the External Crystalline Massifs (Western Alps) », présenté à l'EGU (2019), lors de la session « Metamorphic minerals: time capsules from a dynamic lithosphere »

## Références

- Ballèvre, M., Manzotti, P., Piazz, G.V.D., 2018. Pre-Alpine (Variscan) Inheritance: A Key for the Location of the Future Valaisan Basin (Western Alps). *Tectonics* 37, 786–817. <https://doi.org/10.1002/2017TC004633>
- Corsini, M., Rolland, Y., 2009. Late evolution of the southern European Variscan belt: Exhumation of the lower crust in a context of oblique convergence. *Comptes Rendus Geoscience, Mécanique de l'orogénie varisque : Une vision moderne de la recherche dans le domaine de l'orogénie* 341, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.12.002>
- Franke, W., Cocks, L.R.M., Torsvik, T.H., 2017. The Palaeozoic Variscan oceans revisited. *Gondwana Research* 48, 257–284.
- Guillot, S., Ménot, R.-P., 2009. Paleozoic evolution of the External Crystalline Massifs of the Western Alps. *Comptes Rendus Geoscience* 341, 253–265. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2008.11.010>
- Haas, I., Eichinger, S., Haller, D., Fritz, H., Nievoll, J., Mandl, M., Hippler, D., Hauzenberger, C., 2020. Gondwana fragments in the Eastern Alps: A travel story from U/Pb zircon data. *Gondwana Research* 77, 204–222. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.015>
- Kroner, U., Romer, R.L., 2013. Two plates—many subduction zones: the Variscan orogeny reconsidered. *Gondwana Research* 24, 298–329.
- Le Fort, P., 1971. Géologie du Haut-Dauphiné cristallin (Alpes Française): Etudes pétrologique et structurale de la partie occidentale (PhD Thesis). Université Nancy I.
- Matte, P., 2001. The Variscan collage and orogeny (480–290 Ma) and the tectonic definition of the Armorica microplate: a review. *Terra Nova* 13, 122–128. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2001.00327.x>
- Paquette, J.-L., Menot, R.-P., Peucat, J.-J., 1989. REE, SmNd and UPb zircon study of eclogites from the Alpine External Massifs (Western Alps): evidence for crustal contamination. *Earth and Planetary Science Letters* 96, 181–198.
- Stampfli, G.M., Hochard, C., Vérard, C., Wilhem, C., 2013. The formation of Pangea. *Tectonophysics* 593, 1–19.
- Stampfli, G.M., Von Raumer, J., Wilhem, C., 2011. The distribution of Gondwana-derived terranes in the Early Palaeozoic, in: *Ordovician of the World*. Instituto Geológico y Minero de España, pp. 567–574.
- Stephan, T., Kroner, U., Romer, R.L., 2019a. The pre-orogenic detrital zircon record of the Peri-Gondwanan crust. *Geol. Mag.* 156, 281–307. <https://doi.org/10.1017/S0016756818000031>
- Stephan, T., Kroner, U., Romer, R.L., Rösel, D., 2019b. From a bipartite Gondwanan shelf to an arcuate Variscan belt: The early Paleozoic evolution of northern Peri-Gondwana. *Earth-Science Reviews* 192, 491–512. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.03.012>
- Von Raumer, J.F., Bussy, F., Schaltegger, U., Schulz, B., Stampfli, G.M., 2013. Pre-Mesozoic Alpine basements—their place in the European Paleozoic framework. *Bulletin* 125, 89–108.
- von Raumer, J.F., Stampfli, G.M., 2008. The birth of the Rheic Ocean—Early Palaeozoic subsidence patterns and subsequent tectonic plate scenarios. *Tectonophysics* 461, 9–20.