

**TITRE DU PROJET : Natures, âges et paléogéographie des protolithes édiacariens à dévoniens dans les massifs cristallins externes des Alpes. Implications géodynamiques et rhéologiques**

**1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse<sup>1</sup> (1 page maximum) :**

Directeur de thèse HDR :

Nom : Trap

Prénom : Pierre

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom : Melleton

Prénom : Jérémie

**2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :**

- nom et label de l'unité de recherche : UMR 6249 Chrono-environnement
- localisation : Campus La Bouloie, UFR ST, 16 route de Gray, 25030 Besançon Cedex
- nom du directeur de thèse : Trap Pierre
- adresse courriel du contact scientifique : pierre.trap@univ-fcomte.fr
  
- description du projet (2 pages maximum) :

**État de l'art et problématique**

Plusieurs thèses récentes ont ciblé la compréhension de l'évolution tectonique, métamorphique et magmatique de la branche sud-est varisque via l'étude des Massifs Cristallins Externes (MCE) des Alpes Occidentales : Aiguilles-Rouges-Mont-Blanc (Vanardois, 2021), Belledonne-Pelvoux (Fréville, 2016, Jacob, 2022), Argentera (Jouffray, 2023) et Tanneron (Gremmel, 2023). Pour la plupart, ces travaux se sont déroulés en collaboration avec le BRGM et pour partie dans le cadre du RGF Alpes. Dans les massifs des Aiguilles-Rouges et du Mont-Blanc, de Belledonne-Pelvoux et du Tanneron, un effort d'analyse structurale détaillée a permis de caractériser avec précision les trajectoires de foliation et de linéations, le partitionnement de la déformation et les régimes associés. Ces études nous donnent une bonne vision des structures liées à la collision oblique caractérisant une grande partie de l'évolution carbonifère. Un effort a aussi été mis sur l'analyse pétrologique et la quantification des conditions pression-température (P-T) du métamorphisme, en particulier

<sup>1</sup> ATTENTION : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

les reliques de Haute Pression (HP). De nouvelles données P-T et géochronologiques ont été obtenues sur les éclogites et granulites de HP (Vanardois, 2022, Jacob, 2022, Jouffray, 2023). Un important travail a aussi été réalisé sur la caractérisation et la datation du magmatisme (Fréville 2016, Vanardois, 2021, Jacob, 2022). Tous ces travaux récents aboutissent à une nouvelle base de données structurales, pétrologique et géochronologique documentant l'évolution tectono-metamorphique et magmatique de manière cohérente entre les différents massifs. Une lacune demeure : une meilleure connaissance de la nature des protolithes d'âge Ediacarien à dévonien impliqués dans l'évolution tectono-métamorphique. En effet, ces nouveaux résultats de thèse soulèvent de nouvelles questions sur deux points majeurs : (1) le cadre géodynamique et paléogéographique anté-varisque et (2) le rôle de l'héritage lithologique sur le contrôle rhéologique de la croûte orogénique.

D'un point de vue géodynamique, les travaux de Fréville (2016), Vanardois (2022) et Jacob (2023) suggèrent que les MCE (AR, BP, Ar) appartiennent à la zone moldanubienne et qu'ils se situaient en arrière du système de subduction saxo-thuringien ou rhéique. En outre, Jacob (2023) identifie un domaine sud-varisque, d'affinité gondwanienne et qui regroupe le bloc Maures-Tanneron, le bloc Corse-Sardaigne, le bloc Briançonnais et les unités dérivées de la plaque apulienne. Ce domaine serait affecté par un système de subduction différent du système saxo-thuringien, pouvant correspondre au prolongement oriental de la suture éo-varisque du Massif central. Faure et Ferrière (2023) propose aussi l'existence de la suture éo-varisque mais située en bordure ouest des MCE. Ces auteurs considèrent les MCE comme le prolongement de la zone saxothuringienne et du microcontinent Armorica ; l'ophiolite de Chamrousse représentant alors le prolongement de la suture Tepla. Dans les modèles de Vanardois (2021) et Jacob (2022), l'ophiolite de Chamrousse est interprétée comme un bassin d'arrière arc. Ce projet cible donc des questions simples mais complexes à résoudre dans l'optique d'une vision à grande échelle de la nature et de la signification géodynamique des protolithes de ces séries encore peu explorées.

D'un point de vue rhéologique, l'analyse structurale d'échelle régionale faite dans le massif des Aiguilles-Rouges montre que la plupart des zones de cisaillement ne se localisent pas dans les roches métasédimentaires mais dans les métagranites qui présentent des preuves claires de migmatisation. La modélisation de l'équilibre des phases souligne que les métagranites fondent à des températures plus basses et produisent une fraction de liquide plus élevée que leur encaissant métasédimentaire, lorsque la teneur en H<sub>2</sub>O est supérieure à 1,0 wt%, surtout si une petite quantité d'eau externe (~0,5 wt% en poids) est ajoutée au système (Vanardois et al., 2024). La distribution et la géométrie des métagranites à l'échelle crustale pourraient être considérées comme un des paramètres critiques influençant l'héritage rhéologique qui régit l'évolution tectonique et la localisation de la déformation globale dans la lithosphère continentale. Le présent projet de thèse permettra de tester davantage cette hypothèse en comparant la carte des protolithes à la carte des déformations. Cette dernière est déjà bien connue et sera mise à jour aux cours des différentes campagnes de terrain. Cette nouvelle vision du cadre lithostratigraphique apportera un éclairage sur le rôle de l'hétérogénéité lithologique sur le contrôle rhéologique de la croûte orogénique.

## **Méthodologie**

Le sujet propose une approche régionale pour étudier les différentes successions présentes dans les MCE (Belledonne-Pelvoux et Maures-Tanneron en priorité) en couplant l'acquisition de données de terrain et d'analyses en laboratoire. Ce projet de thèse repose clairement sur un important travail de terrain. Il ne s'agit pas de refaire un levé cartographique mais de retravailler des zones d'incertitude ; Ces zones, en partie déjà identifiées, seront précisées au cours des premiers mois de thèse, puis au fil de l'eau, suite à un travail bibliographique et la construction d'une base de données et SIG. L'objectif est d'établir un cadre

lithostratigraphique harmonisé en travaillant sur ces zones cibles et le long de 3 ou 4 grandes coupes représentatives depuis la suprastructure vers l'infrastructure. La partie analytique se basera sur l'analyse pétrologique et l'obtention d'âges LA-ICP-MS U-Pb sur zircon couplée à d'autres analyses isotopiques (système Lu-Hf), pour les terrains magmatiques et métasédimentaires (contrainte d'âge maximum de dépôts et sources impliquées dans les niveaux sédimentaires; niveaux volcaniques pour des contraintes précises). L'analyse des zircons détritiques couplée avec la proposition d'un nouveau cadre lithostratigraphique permettra également de proposer une vision de l'architecture et de la position relative des blocs de la marge gondwanienne. Les analyses géochimiques (majeurs et traces) réalisées sur les niveaux volcaniques et plutoniques permettront d'apporter un éclairage sur la nature des sources magmatiques.

## Contexte

Dans le cadre de l'AMI-RGF-2024, le projet de thèse vise à contribuer à l'élaboration du *Référentiel Lithostratigraphique* en cours de construction pour le RGF. La question scientifique cherchant à comprendre l'évolution paléogéographique et le rôle des protolithes dans l'évolution tectono-métamorphique permettra de participer à l'élaboration du *Référentiel des évènements géologiques* en miroir avec les travaux en cours d'acquisition dans les zones internes (thèse RGF de M. Ayatti en cours).

## Références

- Fréville, K. (2016). *L'orogénèse varisque dans les massifs cristallins externes de Belledonne et du Pelvoux (Alpes occidentales françaises): rôle de la fusion partielle et du plutonisme dans la structuration de la croûte continentale* (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).
- Gremmel, J. (2023). *Analyse structurale et tectono-métamorphique du partitionnement de la déformation tardi-orogénique en régime oblique : le cas du massif Varisque du Tanneron et du Craton de Terre Adélie*. (Doctoral dissertation, Université Nice-Sophia-Antipolis)
- Jacob, J. B. (2022). *Quelle place pour les massifs cristallins externes des Alpes occidentales dans l'orogénèse varisque?* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- Jouffray, F. (2023). *Évolution métamorphique des éclogites et leur signification dans le segment Sud de la chaîne varisque d'Europe (Massifs de l'Argentera-Mercantour et des Maures-Tanneron)*. (Doctoral dissertation, Université Nice-Sophia-Antipolis)
- Vanardois, J. (2021). *Fusion partielle, transfert de magma et partitionnement de la déformation au cours de l'orogénèse Varisque: Exemple des massifs des Aiguilles-Rouges (Alpes) et de l'Agly (Pyrénées)* (Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté).

- Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat) : 35 904 € contribution du BRGM dans le cadre de l'AMI Programme RGF Alpes 2024.

- connaissances et compétences requises

Le ou la candidat(e) à ce projet de thèse devra avoir de bonnes connaissances en (1) cartographie géologique en terrain métamorphique, et en (2) tectonique des orogènes de collision. Des compétences en l'utilisation des SIG seront appréciées. Le ou la candidat(e) devra avoir des aptitudes physiques nécessaires au travail de terrain en milieu de haute montagne.

## **Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)**

Le projet en question se concentre sur l'étude des protolithes datant de l'Édiacarien au Dévonien dans les massifs cristallins externes des Alpes, avec pour objectif de comprendre leur nature, leur âge et leur paléogéographie. La problématique scientifique réside dans la nécessité de mieux appréhender l'évolution géodynamique entre les marges du Gondwana et de Laurussia, de la fin du cycle panafricain jusqu'à l'orogénèse varisque, en

tenant compte des dépôts sédimentaires souvent affectés par divers événements tectono-métamorphiques. Malgré des affleurements favorables, ces formations sont peu étudiées, en particulier dans les Alpes, ce qui constitue une lacune importante dans la compréhension de leur héritage pré-varisque. Les méthodes proposées combinent l'acquisition de données de terrain et d'analyses en laboratoire (datation U-Pb sur zircon, géochimie et traçage isotopique). Ces approches permettront de proposer un cadre lithostratigraphique cohérent à l'échelle des massifs cristallins externes. Le sujet est original car il propose une approche régionale, à grande échelle. Les avancées attendues incluent une meilleure compréhension de l'histoire géologique régionale anté-varisque et une vision plus claire de l'évolution de la marge nord Gondwanienne. Aussi, cette nouvelle vision du cadre lithostratigraphique apportera un éclairage sur le rôle de l'hétérogénéité lithologique sur le contrôle rhéologique de la croûte orogénique.

The project focuses on the study of protoliths dating from the Ediacaran to the Devonian in the external crystalline massifs of the Alps, with the aim of understanding their nature, age, and paleogeography. The scientific issue lies in the need to better understand the geodynamic evolution between the margins of Gondwana and Laurussia, from the end of the Pan-African cycle to the Variscan orogeny, considering sedimentary deposits often affected by various tectono-metamorphic events. Despite favorable outcrops, these formations are poorly studied, especially in the Alps, which constitutes a significant gap in understanding their pre-Variscan heritage. The proposed methods combine field data acquisition and laboratory analyses (U-Pb dating on zircon, geochemistry, and isotopic tracing). These approaches will enable the proposal of a coherent lithostratigraphic framework on the scale of the external crystalline massifs. The subject is original as it offers a regional, large-scale approach. Expected advances include a better understanding of the regional pre-Variscan geological history and a clearer vision of the evolution of the northern Gondwanan margin. Also, this new vision of the lithostratigraphic framework will shed light on the role of lithological heterogeneity in the rheological control of the orogenic crust.

**Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous (2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :**

Terre, univers, espace

**Mots clés :** Chaîne varisque, Alpes, Protolithes, Géodynamique.