

Ecole doctorale Environnements-Santé
Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral Etablissements »
ANNEE 2024

TITRE DU PROJET : Modifications pétrophysiques et transfert des fluides lors des réactions de déshydratation

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :

Nom : PERASSO

Prénom : Antoine

Co-directeur de thèse éventuel :

Nom : LECLÈRE

Prénom : Henri

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

- nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu)

Laboratoire Chrono-Environnement UMR-CNRS6249

- localisation

Université de Franche-Comté, UFR Sciences et Technique, 25000 Besançon

- nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu

Antoine PERASSO et Henri LECLÈRE

- adresse courriel du contact scientifique

antoine.perasso@univ-fcomte.fr

- description du projet

ÉTAT DE L'ART | Les zones de subduction sont des zones privilégiées où se produit une succession de réactions métamorphiques liées aux changements de pression et de température au cours de l'enfouissement de la plaque plongeante. Parmi ces réactions métamorphiques, la dévolatilisation des minéraux induit la libération d'importantes quantités de fluides qui vont jouer un rôle déterminant sur le volcanisme d'arc et sur le déclenchement des activités sismiques (Hacker et al, 2003).

La déshydratation de la serpentine se produit à des profondeurs dites intermédiaires comprises entre 60 et 120 km. Elle est la source principale d'eau qui est mise en cause dans le déclenchement des séismes intermédiaires (Angiboust et al, 2012; Hacker et al, 2003; Omori et al, 2004). Le déclenchement de ces activités sismiques est lié à la forte augmentation de la pression des fluides dans les roches permettant une transition depuis des déformations visqueuses vers des déformations cassantes. Ces fluides sont également capables de migrer sur de grandes distances le long de l'interface de subduction.

¹ **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.

PROBLEMATIQUE | Or, les mécanismes contrôlant la migration des fluides restent mal compris et de nombreuses questions demeurent sans réponses: (i) *Comment les suppressions de fluides sont-elles développées et maintenues ?* (ii) *Comment les fluides migrent-ils dans les roches ?* (iii) *La circulation des fluides est-elle localisée ou pervasive ?* (iv) *Comment les changements minéralogiques et les mécanismes de déformation influent-ils sur la migration des fluides ?*

METHODOLOGIE | Ce projet de thèse vise à répondre à ces questions via une approche multi-échelle depuis le minéral jusqu'à l'unité tectonique. Pour cela, (i) des analyses structurales et pétrologiques seront menées sur des échantillons naturels et des affleurements géologiques issus de paléo-zones de subduction (*i.e.* les massifs ophiolitiques alpins) ayant enregistré des réactions de déshydratation et des circulations de fluides ; (ii) des expériences en laboratoire où les propriétés pétrophysiques des roches (*i.e.* porosité et perméabilité) et les mécanismes de déformation seront mesurés au cours de la déshydratation de la serpentine et du gypse (*i.e.* matériau analogue). Ces expériences seront conduites à l'aide de presses triaxiales haute-pression et haute-température permettant de tester les effets des conditions P-T, de la pression de pore et de l'état de contrainte sur le développement des réactions et la libération des fluides produits ; (iii) une analyse mathématique et numérique dérivée des équations de conservation et des équilibres thermodynamiques permettra de modéliser les couplages entre les propriétés physiques des roches, la circulation des fluides et les réactions métamorphiques.

ORIGINALITE | L'originalité de ce projet de thèse est représentée par le développement de modèles numériques et mathématiques intégrant des données de terrain à grandes échelles spatiales et temporelles (*i.e.* *hm* et *Ma*) et des données issues d'expériences en laboratoire à petites échelles spatiales et temporelles (*i.e.* *cm* et *h*). Cette modélisation va permettre de comprendre l'influence des couplages physiques, chimiques et structuraux sur le transfert des fluides.

COLLABORATION | Ce projet bénéficiera de collaborations internes au laboratoire Chrono-Environnement notamment avec les chercheurs du groupe GEODE travaillant sur la déformation des roches et le métamorphisme. Des collaborations étroites avec le laboratoire de mathématiques de l'université de Franche-Comté (LMB) vont permettre l'intégration des données de terrain et des résultats des expériences de laboratoire dans le travail de modélisation multi-échelle. Des collaborations externes avec les laboratoires de mécanique des roches de l'EPFL et de l'université de Liverpool disposant de presses triaxiales hautes pression et hautes températures sont envisagées pour la partie expérimentale.

- connaissances et compétences requises

CONNAISSANCES REQUISES :

- pétrologie, métamorphisme, géologie structurale, mécanique des roches, mathématiques et maîtrise du langage de programmation PYTHON

COMPETENCES REQUISES :

- Effectuer une recherche documentaire en utilisant les bases de données et les outils numériques de gestion bibliographique
- Caractériser les objets géologiques à toutes les échelles pour en analyser l'origine et en déduire des applications
- Représenter la géométrie des objets géologiques à différentes échelles pour illustrer des concepts fondamentaux des processus géologiques
- Mettre en œuvre une méthodologie complexe pour mener un projet

- Manipuler et interpréter des données analytiques de différentes natures
- Présenter à l'oral (français/anglais) de manière claire, concise et illustrée un corpus d'informations géologiques (hypothèses, données, résultats, interprétations et modèles)

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

RESUME | Les fluides géologiques circulent à travers les différentes enveloppes internes de la Terre et cette circulation est favorisée par les activités tectoniques telles que les zones de subduction qui permettent d'intégrer d'importantes quantités d'eau dans le manteau terrestre via l'enfouissement de minéraux hydratés. L'augmentation des conditions de pression et de température lors de la subduction induit la déstabilisation des minéraux hydratés et la libération d'eau libre – jouant un rôle clé dans la naissance des arcs volcaniques et le déclenchement des séismes.

Cette thèse vise à comprendre la libération de l'eau issue des minéraux hydratés et sa circulation le long des zones de subduction. Pour cela, ce projet combine (i) des analyses géologiques – sur le terrain – d'une paléo-zone de subduction ; (ii) des expériences en laboratoire où la déstabilisation des minéraux hydratés et la libération de l'eau seront étudiées ; (iii) une modélisation numérique et mathématique multi-échelle – incluant les résultats obtenus à partir des échantillons naturels et des expériences en laboratoire – afin de caractériser le rôle des couplages chimiques, physiques et structuraux sur le transfert des fluides métamorphiques.

ABSTRACT | Geological fluids are able to circulate through the Earth, and this circulation is facilitated by tectonic activities such as subduction zones that enable the incorporation of significant amounts of water into the Earth's mantle through the burial of hydrated minerals. The increase in pressure and temperature conditions during subduction induces the destabilization of hydrated minerals and the release of free water – playing a key role in the formation of volcanic arcs and the triggering of earthquakes.

This thesis aims to understand the release of water from hydrated minerals and its circulation along subduction zones. To achieve this goal, the project combines (i) geological analyses of a paleo-subduction zone; (ii) laboratory experiments where the destabilization of hydrated minerals and the release of water will be studied; (iii) multi-scale numerical and mathematical modeling – combining results from field geology and laboratory experiments – to characterize the role of chemical, physical, and structural couplings in the transfer of metamorphic fluids.

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) :

Mathématiques
Terre, univers, espace

Mots clés : géologie structurale, pétrophysique, modélisation numérique, subduction, circulation de fluide, séisme