



Conditions Extrêmes et Matériaux :  
Haute Température et Irradiation  
CEMHTI UPR3079

<http://www.cemhti.cnrs-orleans.fr>



Institut des Sciences  
de la Terre d'Orléans  
ISTO UMR 7327

<https://www.isto-orleans.fr/>

## MASTER SCIENCES DE LA TERRE, DES PLANETES ENVIRONNEMENT

### Sujet de stage 2018-2019

**TITRE : Systématique Na-Ca-Cl des saumures associées aux gîtes cuprifères de la couverture adoudounienne de l'Anti-Atlas central (mine de Ouansimi, Maroc) : analyses *in situ* microthermométrie, par spectrométrie Raman (sels, volatiles) et par méthode PIXE (solutions)**

Encadrants C. Ramboz (CR CNRS) & A. Slodcznik (Ingénieur), en collaboration avec A. El Basbas, Université de Meknès (Maroc) et compagnie Managem

Laboratoire d'accueil : ISTO

#### Présentation du projet :

Comprendre l'origine des saumures fortement chlorurées présentes dans la croûte océanique ou continentale, dans les environnements sédimentaires, métamorphiques ou magmatiques est l'enjeu de débats toujours actuels.

Avec le développement de l'industrie pétrolière dans les années 60, de nombreux bassins de par le monde ont été forés et les eaux interstitielles des sédiments carottés analysées. Ces données ont fait apparaître des constantes de la chimie des saumures de bassin : saumures calci-sodiques dont la teneur en chlore augmente dans le bassin profond, dérivant d'eau de mer modifiée et d'autant plus en enrichies en Ca qu'elles sont déficitaires en Na par rapport à l'eau de mer. Selon Davisson et Criss (1996), c'est l'albitisation du plagioclase selon le mécanisme d'échange  $1Ca : 2Na$  qui contrôle la systématique Ca-Na-Cl des saumures de bassin.

Dans les années 1980, les analyses d'eau interstitielles dans les vieux cratons se sont multipliées car ces sites apparaissaient comme des cibles potentielles pour le stockage géologique des déchets. Ces études ont révélé que, dans tous les cratons de la planète, les saumures de socle étaient calci-sodiques et riches en  $CH_4$ . En 1996, Davisson et Criss suggéraient que la systématique Ca-Na-Cl des saumures du bouclier canadien était régie par le même mécanisme que celui mis en évidence pour les saumures de bassin.

Ce double corpus de données chimiques sur les saumures de bassin et de socle soulève quelques questions fondamentales qui restent à élucider, parmi lesquelles :

- Quels processus d'interaction fluide-roche contrôlent précisément la systématique Na-Ca-Cl des saumures de socle ?
- Existe-t-il un lien entre les saumures Ca-Na-Cl présentes dans les cratons et les saumures de socle ?
- Les saumures de socle sont-elles à l'origine de l'augmentation de la teneur en chlore des eaux de pore dans les bassins profonds ?

Dans ce stage de Master, on abordera ces questions sur l'exemple des saumures associées à des gisements de cuivre exploités dans la couverture Adoudounienne à Cambrien basal de l'Anti-Atlas (Maroc) : deux gîtes dans la boutonnière de Bou Azzer (Anti-Atlas oriental ; Bourque, 2015 ; 2016) ; gîte de Ouansimi (Anti-Atlas central, A. El Basbas, publication en cours). Une

étude microthermométrique détaillée a révélé la nature sodi-calcique des fluides minéralisateurs cuprifères dans la couverture de Bou Azzer (Bourque, 2016). A Ouansimi l'étude microthermométrique préliminaire des fluides (températures eutectiques, fusion de la glace, homogénéisation) a révélé un constituant magnésien dans les saumures calci-sodiques. Ce stage porte sur l'étude des fluides en inclusions dans les minéraux de gangue du gîte de Ouansimi. Il a pour objectifs :

- produire des mesures de fusion d'hydrates de sels dans les inclusions.
- identifier par spectrométrie Raman les hydrates de sel dont les points de fusion sont mesurés dans les inclusions refroidies ; analyser les espèces volatiles présentes dans les inclusions
- analyser par méthode PIXE absolue le contenu en Na Ca Cl Mg des solutions en inclusions
- contraindre la systématique Ca-Na-Cl des solutions métallifères de Ouansimi à partir des données microthermométriques et PIXE collectées

La comparaison entre les études minéralogiques et d'inclusions fluides à Bou Azzer et Ouansimi permettra d'amorcer une discussion sur l'origine des saumures complexes mobilisées lors de la compression tardi-hercynienne dans la couverture de l'Anti Atlas central et oriental.

#### Références à consulter :

- Essaraj *et al.* 2013 Basinal brines at the origin of the Imiter Ag-Hg deposit (AZnti-Atlas, Morocco). Evidence from LA-ICP-MS data on Fluid inclusions, halogen signatures and stable isotopes (H,C,O) *Economic Geology*, 111 , 1753-1781
- Bourque H. *et al.* (2015) A contribution to the synsedimentary versus epigenetic origin of the Cu mineralizations hosted by terminal Neoproterozoic to Cambrian formations of the Bou Azzer-El Graara inlier. *J Afric. Earth Sci.* 107, 108-111.
- Bourque H. (2016) Thèse de l'Université d'Orléans, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01549132v1>
- Davison M. L. & Criss R.E. (1996) Na-Ca-Cl relations in basinal brines *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 2743-2752.
- Fritz P. & Frapé S.K. (1987) Saline water and gases in Crystalline rocks. *Geol. Assoc. Canada Spec. Paper* 33.
- Gama *et al.* (2001) Accuracy of PIXE analyses using a funny filter. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 181, 150-156.

#### Financement :

Le financement de ce stage est pris en charge par le BRGM et les laboratoires ISTO et CEMHTI du campus orléanais. La réalisation de mesures PIXE sur la ligne mini-faisceau du Pelletron du CEMHTI fait partie du projet d'avenir LIMFI (2020 ; **Ligne d'Imagerie par  $\mu$ -Faisceau d'Ions**) pour le développement de cet accélérateur.