

PROPOSITION SUJETS DE THESES

CONTRATS DOCTORAUX

2021-2024

Appel ciblé (merci de cocher la case correspondante):

Contrat doctoral ministériel ED 536

Contrat doctoral ministériel ED 537

Contrat doctoral fléché FR Agorantic

(Utiliser la fiche type transmise par la SFR Tersys pour le contrat doctoral fléché SFR Tersys)

Directeur de thèse : Christophe EMBLANCH (UMR EMMAH, Avignon université)

Co-directeur : Florent BARBECOT (GEOTOP, UQAM, Canada)

Co-encadrant : Marina GILLON (UMR EMMAH, Avignon Université), Elisabeth GIBERT-BRUNET (UMR GEOPS, Université Paris Saclay)

Correspondant :

Nom : GILLON Prénom : Marina

Mail : marina.gillon@univ-avignon.fr Téléphone : 0490144467

Titre en français : **Modélisation des processus à l'origine de l'enregistrement isotopique par les concrétions calcaires du fonctionnement des hydrosystèmes continentaux.**

Titre en anglais: Modeling of processes leading to isotopic record of behavior of continental hydrosystems by limestone concretions.

Mots-clés : Isotopologues, Fractionnement isotopique, ^{13}C , ^{18}O , carbone dissous, carbonates, CO_2 , hydrosystèmes

Co tutelle : oui

Pays : Canada

Profil du candidat : Le (la) candidat(e) doit détenir un diplôme de second cycle universitaire en Sciences de la Terre ou dans une discipline connexe avec des connaissances en hydrochimie-isotopie indispensables. Il/Elle doit faire preuve d'autonomie et devra montrer une capacité réelle de travailler en équipe dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire. Il/Elle aura à développer une approche mathématique. Il/Elle aura également à se rendre sur les sites d'études pour acquérir de nouvelles données et il/elle aura à développer des expérimentations en laboratoire. Il/Elle devra se montrer à l'aise dans ces différentes tâches.

Présentation détaillée du sujet:

Contrat / Partenariat : Contrat doctoral ministériel ED536

Domaine / Thématique: Hydrochimie - Isotopie - Fractionnement isotopique - Précipitation de carbonates

Objectif : Cette thèse vise à établir les facteurs et mécanismes de contrôle à l'origine de l'enregistrement des signatures isotopiques lors de la précipitation de concrétions calcaires au niveau des sources. A partir d'expériences de laboratoire ciblées, une modélisation numérique du comportement couplé de la chimie des éléments majeurs (Ca, Mg) et des isotopologues (^{13}C - ^{12}C , ^{18}O - ^{16}O) sera proposée (une modélisation du comportement des éléments traces (Sr, Ba, Ra) et des isotopes stables du strontium pourra également être envisagée si l'opportunité se présente). Elle vise à transcrire les variations de compositions chimiques et isotopiques des concrétions calcaires en des variations de facteurs hydrologiques (débit des sources et taux de recharge). Cette approche de modélisation sera étendue à des données issues de dépôts de travertins (Turquie, Espagne, France, Pologne) pour reconstituer la réponse des sources aux changements récents du climat et aux prélèvements d'eau souterraine.

Contexte et enjeux :

L'anthropocène est accompagné de modifications environnementales majeures qui ont affecté la partie souterraine du cycle de l'eau des hydrosystèmes continentaux (de Graaf et al. , 2019). Toutefois, en l'absence d'enregistrements physiques (débits, températures), il est impossible de déterminer si les réductions de débit reconnues aujourd'hui s'inscrivent dans la variabilité naturelle de fonctionnement de ces systèmes ou si nous sommes confrontés à une réduction majeure de leur fonctionnement. Cette question est d'importance car les eaux souterraines soutiennent le fonctionnement de la plus grande partie des milieux humides et le débit de base des cours d'eau (Blöschl et al., 2019). De nombreux auteurs ont tenté d'utiliser les dépôts de carbonates aux griffons de sources pour des reconstitutions paléoclimatiques, à savoir les régimes passés des émergences et les températures (par exemple : Gonfiantini et al, 1968 ; Matsuoka et al, 2001 ; Andrews, 2006 ; Brasier et al, 2010). Toutefois, les fractionnements isotopiques associés à la précipitation de la calcite ne sont pas nécessairement à l'équilibre,

mais sont plutôt cinétiques, ce qui complexifie leur interprétation, d'autant qu'ils restent encore mal compris (Affek et al., 2014; Andrews et al., 2006, Fleurent, 2015 ; Gonfiantini et al., 1968). Cette information ouvre la voie à de nouvelles interprétations conjointes de traceurs chimiques et isotopiques de ces enregistrements. Pour cela, nous comptons développer en laboratoire des pilotes de précipitation contrôlée et ainsi modéliser le comportement des isotopologues lors de la précipitation de la calcite, afin de rendre exploitable la lecture de leur composition isotopique comme marqueur des modifications de fonctionnement des systèmes aquifères, qu'elles soient climatiques ou anthropiques, et ainsi évaluer la pérennité de ces systèmes. Ce travail de thèse entre dans le cadre de la problématique d'un axe majeur de l'UMR EMMAH : la vulnérabilité de la ressource en eau face aux changements environnementaux.

Méthode :

De nombreuses données ont été acquises au cours de la thèse de L. Fleurent (2015) à la fois en laboratoire et en milieu naturel (source de l'Ours, Massif-Central). Ces données seront la base d'un développement mathématique qui a pour but d'identifier les processus permettant d'expliquer les fractionnements isotopiques hors équilibre et de les mettre sous forme d'équations. Un travail préliminaire a permis d'initier ces équations mais des questions restent en suspend : Comment relier les paramètres de calage à des variables mesurables in-situ (température, chimie, épaisseur du film d'eau, etc.) ? Quels facteurs jouent sur les valeurs de fractionnements isotopiques nécessaires pour caler les données simulées sur les données mesurées ? Des investigations supplémentaires sur le terrain et en laboratoire sont donc nécessaires pour répondre à ces questions en complétant le jeu de données existant.

Des expériences au laboratoire d'hydrogéochimie de l'université d'Avignon permettront d'étudier le rôle de la surface d'échange eau-gaz et l'épaisseur de la lame d'eau sur le processus de diffusion de CO_2 , qui est à l'origine de la précipitation de la calcite, sur le taux de précipitation de la calcite et sur les fractionnements isotopiques associés (^{13}C - ^{18}O). Sous une atmosphère contrôlée, différentes surfaces d'échange eau-gaz seront testées ainsi que différentes épaisseurs de la lame d'eau. Chaque cas sera répété afin de s'assurer de la validité des résultats. Pour différents pas de temps (qui seront à définir), l'eau, le gaz et la calcite seront prélevés pour les analyses de la chimie de l'eau, de la pression partielle de CO_2 ambiante, des quantités de calcite qui a précipité, et la composition isotopique (^{18}O et ^{13}C) de l'eau, du carbone dissous dans l'eau, de la calcite et du CO_2 . Des prélèvements pour l'analyse des éléments traces (Sr, Ba, Ra) et des isotopes stables du strontium pourront également être envisagés pour compléter les traceurs et affiner l'approche. L'étudiant(e) fera alors des séjours dans le laboratoire du GEOTOP pour les mesures de ces éléments. En parallèle, un suivi in situ de sources dans la galerie du Laboratoire Souterrain à Bas Bruit de Rustrel sera entrepris. Au niveau de ces sources, les précipitations de calcite sont très localisées (éliminant le problème

de migration du flux d'eau), la température constante, seul le régime d'écoulement et la chimie de l'eau contraignent l'enregistrement isotopique. Ce suivi sera donc complémentaire des expérimentations en laboratoire en ciblant le rôle du débit, point essentiel puisqu'une variation de débit témoigne d'une variation des conditions de recharge des aquifères alimentant la source. L'impact des films biologiques sur les fractionnements isotopiques pourra également être investigué en fonction de l'avancée du travail sur les facteurs environnementaux et les résultats obtenus.

L'ensemble des résultats enrichira les données nécessaires au développement de l'approche numérique. Une modélisation du comportement couplé de la chimie des éléments majeurs (Ca, Mg) et des isotopes (^{13}C - ^{12}C , ^{18}O - ^{16}O) sera proposée ainsi que celle du comportement des éléments traces (Sr, Ba, Ra) et isotopes stables du strontium en fonction des données qui auront pu être acquises pour ces éléments. La finalité de cette approche est (1) de modéliser des processus géochimiques et (2) de pouvoir disposer d'équations permettant, à partir des observations actuelles des hydrosystèmes et des enregistrements isotopiques (^{18}O , ^{13}C) dans les dépôts carbonatés de reconstruire les variations des conditions hydriques pour la période récente où les pressions climatique et anthropique sur les hydrosystèmes ont particulièrement été fortes.

Une application de ces équations à des données issues de dépôts de travertins (Turquie, Espagne, France, Pologne) acquises lors de précédents travaux et collaborations permettra de valider l'approche et ainsi proposer des reconstitutions hydro-environnementales à une échelle plus globale.

Références bibliographiques :

Affek H. P., Matthews A., Ayalon A., Bar-Matthews M., Burstyn Y., Zaarur S., Zilberman T. (2014) Accounting for kinetic isotope effects in Soreq Cave (Israel) speleothems, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 143, 303–318.

Andrews J.E., 2006. Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: Synthesis and review. *Earth-Science Reviews*, 75, 85-104.

Blöschl, G., Bierkens, M. F. P., Chambel, A., Cudennec, C., Destouni, G., Fiori, A., Zhang, Y. (2019). Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH) – a community perspective. *Hydrological Sciences Journal*, 64(10), 1141-1158. doi:10.1080/02626667.2019.1620507

Brasier A. T., Andrews J. E., Marca-Bell A.D., Dennis P. F. (2010) Depositional continuity of seasonally laminated tufas: Implications for $\delta^{18}\text{O}$ based palaeotemperatures, *Global and Planetary Change* 71, 160–167.

de Graaf, I. E. M., Gleeson, T., van Beek, L. P. H., Sutanudjaja, E. H., & Bierkens, M. F. P. (2019). Environmental flow limits to global groundwater pumping. *Nature*, 574(7776), 90-94. doi:10.1038/s41586-019-1594-4

Fleurent L., 2015. Mécanismes d'enregistrement géochimique liés à des processus cinétiques au moment de la précipitation des travertins, thèse de doctorat en cotutelle Université Paris Sud/ Paris-Saclay (Orsay, France) et UQAM (Montréal, Canada), 343 p.

Gonfiantini R., Panichi C., Tongiorgi E., 1968. Isotopic disequilibrium in travertine deposition. *Earth and Planetary Science Letters*, 5, 55-58.

Matsuoka J., Kano A., Oba T., Watanabe T., Sakai S., Seto K., 2001. Seasonal variation of stable isotopic compositions recorded in a laminated tufa, SW Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 192, 31-44.