

Proposition de sujet de thèse 2024

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr
*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé *: Reconstitutions hydro-climatiques des derniers millénaires dans le SE de la France, à l'aide d'archives carbonatées environnementales et archéologiques.

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail *: Claude, Christelle, claudc@cerege.fr et Honiat, Charlotte, honiatic@cerege.fr

Laboratoire *: CEREGE

Tableau récapitulatif du sujet

Candidat(e)⁽¹⁾	
Nom - Prénom :	
Date de naissance :	
Licence (origine, années, mention) :	
Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y)	
Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y)	
MASTER (nom, université)	
Sujet de doctorat proposé*	
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	CLAUDE Christelle (HDR), HONIAT Charlotte
Laboratoire*	CEREGE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	<p>PCR Sociétés humaines et paléoenvironnements dans la plaine de Saint-Maximin (Var) du Paléolithique à l'âge du Fer (Datation U-Th des spéléothèmes) : financement obtenu et prolongé en 2025.</p> <p>AQUEROM (ECCOREV) Les concrétions carbonatées des aqueducs romains, témoins de la variabilité hydro-climatique passée et de la gestion de la ressource en eau en domaine méditerranéen ? obtenu en 2024.</p> <p>ARKAIA-TRAGENS. Les travertins du Haut Argens : variabilité hydrologique et construction d'un socio-hydrosystème du Pléistocène supérieur à nos jours. Obtenu en 2024.</p> <p>RECONPENSDE (LEFE-CLIMAGO) : Reconstitutions Paléo-environnementales (hydro-</p>

	climatiques) à haute résolution en climat méditerranéen (SE de la France) Bien évalué en 2024 et ressoumis en 2025 pour 2 ans.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : **Reconstitutions hydro-climatiques des derniers milliers d'année dans le SE de la France, à l'aide d'archives carbonatées environnementales et archéologiques.**

Descriptif *:

Contexte :

La disponibilité en eau potable est un facteur limitant pour le développement des pays méditerranéens. En effet, elle est soumise à de nombreux risques d'origine naturelle et anthropique dont les conséquences ont un fort impact tant sur le plan environnemental que socio-économique (Toreti et al., 2010). Dans la région du Sud de la France on observe une évolution du régime des précipitations (diminution des cumuls, une amplification de l'intensité des évènements de crues et une augmentation de la durée des sécheresses estivales) (Cramer et al., 2020), probablement en lien avec l'augmentation globale des températures depuis le début de l'ère industrielle. Par le passé, l'empire romain en pleine croissance a mené une politique de sécurisation de l'accès à la ressource en eau en construisant d'importantes infrastructures et ouvrages hydrauliques sur tout le pourtour de la méditerranée (Ronin, 2021). Ce développement s'étant déroulé sur plusieurs siècles, les romains ont également été confrontés à une évolution du climat. De nombreuses tentatives ont été faites pour relier les tendances climatiques aux principales transformations socio-économiques de la période (Zonneveld et al., 2024).

Il est tentant de faire le parallèle entre l'évolution hydro-climatique actuelle et celle qu'ont connues les sociétés de l'Antiquité qui ont dû œuvrer afin que l'accessibilité à la ressource en eau potable ne soit pas un frein à leur développement. Ainsi la résilience des sociétés méditerranéennes actuelles confrontées à la vulnérabilité de la ressource en eau pourrait s'appuyer conjointement sur l'acquisition de données de quantités de précipitation et de températures à l'époque romaine et sur l'aptitude de la société romaine à gérer les situations de crises hydro-climatiques.

Etat de l'art :

Actuellement il existe peu d'études basées sur des archives naturelles (dendrochronologie ou spéléothèmes) qui documentent à haute résolution temporelle la variabilité hydro-climatique en domaine méditerranéen à l'époque romaine et différentes interprétations paléoclimatiques sont proposées pour les premiers 400 ans CE (par exemple, période chaude romaine/période humide romaine, Luterbacher et al. 2012). De nombreux sites d'études sont situés en Europe en dehors de la région méditerranéenne (Nord de la France, zone alpine) (voir consortium page2k) et seulement une poignée d'enregistrements est basée sur des proxys inorganiques directement liés à la variabilité des précipitations (Bini et al. 2020). Il existe cependant autour de la méditerranée de nombreux sites antiques dont certains vestiges abritent de potentielles archives paléo environnementales. Les romains ont bâti de nombreux aqueducs dont les parois basales et latérales sont souvent tapissées de concrétions qui résultent de la précipitation du carbonate de calcium de l'eau d'alimentation de l'aqueduc (Bobée et al., 2010). Les travaux récents mettent en évidence une lamination annuelle comme dans les sédiments varvés ou les cernes d'arbres (Sürmelihindi et al., 2013, 2023, Passchier et al., 2021, Claude et al., 2024 en révision, Chemical Geology). Ces concrétions carbonatées représentent donc des archives de la composition chimique et isotopique de l'eau d'alimentation de l'aqueduc en lien avec la température et les précipitations locales. La variabilité saisonnières et interannuelles de ces traceurs reflète la combinaison de facteurs naturels (fonctionnement hydrologique de l'aquifère) et anthropiques (fonctionnement hydraulique de l'aqueduc dont les périodes d'usage, le type et la quantité d'eau utilisée), pouvant tous deux être en lien avec l'évolution du climat (par exemple une crise hydrologique). L'étude paléo-climatique sera renforcée par l'analyse géochimique de spéléothèmes provenant du massif de la Sainte Baume (30 km d'Aix-en-Provence), offrant à la fois un cadre régional à l'étude et une archive située en dehors de toute influence anthropique. Dans les échantillons de concrétions carbonatées et de spéléothèmes l'analyse de différents traceurs permettront de contraindre les variables environnementales : $\delta^{18}\text{O}$ (proxy de la température de l'eau), le $\delta^{13}\text{C}$ (proxy de la composition chimique de l'eau et marqueur de la saisonnalité, en particulier estivale), et les rapports d'éléments en trace (Mg/Ca, Sr/Ca, proxys de la composition de l'eau). Le rapport Rb/Ca sera mesuré comme proxy des quantités de précipitations (Claude et al., en cours de révision).

Objectifs :

Ce projet propose une étude originale d'archives capables de tracer la gestion de la ressource en eau en domaine méditerranéen à l'époque romaine pour in fine comprendre les contraintes hydro-climatiques auxquelles les sociétés

romaines ont fait face. Pour cela il est nécessaire de travailler sur des archives présentant une haute résolution temporelle (saisonnaire à annuelle) ainsi qu'une chronologie absolue et robuste et de pouvoir comparer les reconstitutions hydro-climatiques à partir des différentes archives pour renforcer la validité des résultats. Sur le plan de la compréhension du fonctionnement des aqueducs, ce projet bénéficiera la collaboration avec la Direction de la conservation du patrimoine de la Société du canal de Provence qui viendra apporter une expertise hydraulique et patrimoniale de ces ouvrages en collaboration de Ph Leveau, historien de la période romaine (MMSH, centre Camille Julian).

Matériels étudiés :

Concrétion carbonatée de l'aqueduc de Traconnade (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône) :

D'une longueur d'environ 32 km, l'aqueduc de la Traconnade est le plus important et le plus remarquable des aqueducs d'Aix-en-Provence. L'échantillon de concrétions carbonatées étudié mesure 182 mm et est laminé (Fig. 2). Une datation U-Th ainsi qu'un faisceau d'observations archéologiques ont permis de le dater de 100 à 260 AD. Les proxys hydro-climatiques ont été caractérisés sur une dizaine de cycles saisonniers (Claude et al., *en révision, Chemical Geology*).

Un nouvel échantillonnage à haute résolution sera réalisé sur les parties inférieures et supérieures afin de couvrir l'ensemble. Les poudres seront analysées au CEREGE sur la plateforme PANISS pour les isotopes stables du carbone et de l'oxygène et sur la plateforme ICPMS par ICPMS et OES pour les éléments en trace. Le nombre total d'échantillons est de 150 (en supposant un nombre de 7 échantillons par cycle annuel).

Un échantillon d'environ 5 cm d'épaisseur a également été prélevé sur les parois de l'aqueduc du Tholonet (Aix-en-Provence) qui pourra être analysé en complément de celui de Traconnade.

Spéléothèmes :

Le site d'étude choisi (le versant Nord du massif de la Sainte Baume (Var)) présente l'intérêt d'être équipé d'une station de mesure des isotopes stables de l'eau, de la température et des cumuls de précipitations (SNO KARSTEAU - CEREGE) à proximité. Les données mensuelles des dernières années sont disponibles et seront comparées aux séries temporelles à long-terme de la station de l'IAEA d'Avignon (Celle-Jeanton, 2000). A la côte 550 m, plusieurs spéléothèmes dont le concrétionnement est actif ont été prélevés en juin 2022. Un monitoring des températures externes et internes de la cavité est en cours depuis novembre 2023 afin d'aider à l'interprétation des variations isotopiques de l'oxygène (proxy des précipitation et/ou des températures) dans la calcite des spéléothèmes. Des plaques en verre ont également été déposées afin d'observer la précipitation moderne de calcite et des échantillons d'eau de goutte à goutte (epikarst) seront régulièrement prélevés et analysés (isotopes stables de l'eau) pour comparaison avec l'eau de pluie. Des datations U-Th préliminaires indiquent un concrétionnement sur toute la période holocène. De plus ils présentent un système cristallin intact et très peu de thorium détritique, ils sont donc de très bonne qualité pour la poursuite des datations. Ces échantillons sont actuellement étudiés dans le cadre du stage de M2 de Célia Laveyssière pour préciser le modèle d'âge et effectuer une série basse résolution (un échantillon tous les 150 ans) des isotopes stables du carbone et de l'oxygène et pour les éléments en trace dont les résultats serviront de préambule à l'étude à plus haute résolution sur la période de l'antiquité. Enfin ces carbonates sont finement laminés et leur observation au microscope en épifluorescence pourra permettre une analyse jusqu'à l'échelle saisonnière (Baker et al. 2008) ainsi qu'une corrélation avec les concrétions d'aqueduc.

Résultats attendus

- une mise en évidence des variations hydroclimatiques régionales dans le sud de la France pour les derniers millénaires.
- une comparaison avec les séries du Nord de la France, des Alpes, d'Italie afin de discuter de l'influence des différents mécanismes atmosphériques responsables de la variabilité climatique sur le pourtour méditerranéen.

Équipements disponibles pour le projet au CEREGE:

Système d'échantillonnage des carbonates à haute résolution (Geomill)

Datation : plateforme de mesure des isotopes U-Th par MC-ICPMS (ENVITOP)

Isotopes Stables : plateforme de mesure des isotopes stables dans les carbonates (PANISS)

Traces : plateforme de mesure des éléments chimiques par ICP-OES et ICPMS (ICPMS)

Observations pétrographiques et comptage des lamines (banc photos à HR, binoculaire, microscopie optique, observations par epi-fluorescence) (SEDIM et service de microscopie AMU).

Profil, qualités et expériences recherchées : titulaire d'un M2 en Chimie, Géochimie ou Géosciences de l'environnement, Géologie ou Géographie physique avec une expérience en Sciences de l'environnement.

Rigueur ; capacité d'intégration dans une équipe multidisciplinaire, expériences de terrain et en analyses de laboratoire.

Démarche et laboratoires d'accueil : le travail de thèse se déroulera principalement au laboratoire d'accueil (CEREGE).

Détail du Programme finançant la recherche* :

Plusieurs programmes financeront la recherche :

PCR Sociétés humaines et paléoenvironnements dans la plaine de Saint-Maximin (Var) du Paléolithique à l'âge du Fer (Datation U-Th des spéléothèmes) : financement obtenu et prolongé en 2025.

AQUEROM (ECCOREV) Les concrétions carbonatées des aqueducs romains, témoins de la variabilité hydro-climatique passée et de la gestion de la ressource en eau en domaine méditerranéen ? financement obtenu en 2024.

ARKAIA-TRAGENS. Les travertins du Haut Argens : variabilité hydrologique et construction d'un socio-hydrosystème du Pléistocène supérieur à nos jours. Financement obtenu en 2024.

RECOMPENSDE (LEFE-CLIMAGO) : Reconstitutions Paléo-environnementales (hydro-climatiques) à haute résolution en climat méditerranéen (SE de la France) Projet soumis, bien évalué en 2024 et ressoumis en 2025 pour 2 ans.

La Société du Canal de Provence contribuera au projet en mettant à disposition leur expertise sur le fonctionnement hydraulique des ouvrages antiques.

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

Christelle Claude et Charlotte Honiat

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : CLAUDE Christelle

Corps : Maître de Conférence

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : CEREGE

Adresse mail : claud@cerege.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

1. Claude, C., Vidal, L., Passchier, C., Angeletti, B., Guillou, A., Deschamps, P., Ricolleau, A., Sürmelihindi, G., C. Sonzogno, Delanghe, D., Fino, B., Fuhry, M., Leveau, Ph, Marié, L., Panneau, M., Gassier, G., Nin, N., (**en révision pour Chemical Geology**). High resolution paleoenvironmental record from carbonate deposits in the roman aqueduct of Traconnade (Aix-en-Provence, SE France).
2. Flaux, C., Giaime, M., Pichot, V., Marriner, N., el-Assal, M., Guihou, A., Deschamps, P., Claude, C., and Morhange, C. (2021), The late Holocene record of Lake Mareotis, Nile Delta, Egypt, E&G Quaternary Sci. J., 70, 93–104, <https://doi.org/10.5194/egqsj-70-93-2021>.
3. Claude, C., Cockenpot, S., Arfib, B., Meulé, S., Radakovitch, O. (2019), Accuracy and sensitivity of radium mass balance in assessing karstic submarine discharge in the stratified Calanque of Port-Miou (Mediterranean Sea), Journal of Hydrology 578, 124034.
4. Fakir, Y., Claude, C., ElHicham, H. (2019), Identifying groundwater discharge to an Atlantic coastal lagoon (Oualidia, Central Morocco) by means of salinity and radium mass balances, 2019, Environmental Earth Sciences 78 (21), 626.
5. Baudron P., Cockenpot S., Lopez-Castejon F., Radakovitch O., Gilabert J., Mayer A., Garcia-Arostegui J.-L., Martinez-Vicente D., Leduc C., Claude C. (2015), Combining radon, short-lived radium isotopes and hydrodynamic modeling to assess submarine groundwater discharge from an anthropized semiarid watershed to a Mediterranean lagoon (Mar Menor, SE Spain). Journal of Hydrology, 525, 55–71.

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années* AUCUNE

Nom :

Intitulé :

Type d'allocation :

Date de début de l'allocation de doctorat :

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche :

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction :%

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : Honiat Charlotte

Corps : Post-Doc

Adresse mail : honiat@cerege.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : CEREGE

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

1. Koltai, G., Kluge, T., Krüger, Y., Spötl, C., Rinyu, L., Audra, P., Honiat, C., Leél Össy, S. & Dublyansky, Y. (2024) Geothermometry of calcite spar at 10–50 °C. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51937-4>
2. Honiat, C., Koltai, G., Dublyansky Y., Edwards R.L., Zhang H., Cheng H., , Spötl, C., (2023) A paleoprecipitation and paleotemperature reconstruction of the Last Interglacial in the southeastern Alps. Climate of the Past, 19, 1177–1199, <https://doi.org/10.5194/cp-19-1177-2023>
3. Jaillet, S., Honiat, C., Pons-Branchu, E., Couchoud I., Hobléa, F., Racine T., Spötl C., (2023) Cave sediments in the Western Bauges karst: A record of Middle and Upper Pleistocene glacial advances in the French Alps, Geomorphology, Volume 433,108707, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108707>
4. Perrin, C., Honiat, C., Prestimonaco, L., (2022) Deciphering paleohydrology from the petrography and microstratigraphy of stalagmites (MIS 5-Holocene, Moulis Cave, Ariège, S. France). Sedimentary Geology, 440, 106256. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2022.106256>
5. Honiat, C., Festi, D., Wilcox, P. S., Edwards, R. L., Cheng, H., & Spötl, C. (2022). Early Last Interglacial environmental changes recorded by speleothems from Katerloch (south-east Austria). Journal of Quaternary Science. <https://doi.org/10.1002/jqs.3398>

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années* AUCUNE

Nom :

Intitulé :

Type d'allocation :

Date de début de l'allocation de doctorat :

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche :

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction :%