

Proposition de sujet de Doctorat AMU-Amidex

Dir. Ch. Claude (HDR MCF AMU), Co – dir. O. Sivan (Inrap/Lampea), H. Bruneton (co-encadrante) Ch. Honiat (co-encadrante, post-doc EDYTEM)

Financements :

- Projet AMIDEX-Blanc (2025–2029) “Carbonates des hydrosystèmes de Provence Verte”
- PCR “Plaine de Saint-Maximin” (2023–2026, 3000 €/an)
- Projet Amorce Arkaia « Tragens » (2023-2024)
- Projet AQUIEROM – ECCOREV (2025–2026, 8150 €)

Variabilité hydro-climatique et gestion de la ressource en eau en Méditerranée nord-occidentale (Provence, SE France) : reconstitutions à partir d’archives carbonatées environnementales et archéologiques du Pléistocène supérieur à l’époque actuelle.

Pitch (10 lignes)

L’eau constitue une ressource stratégique et fragile dans les régions méditerranéennes. Sa disponibilité, soumise à des aléas climatiques variables et des pressions anthropiques croissantes, est un enjeu majeur en contexte de changement global. Ce projet de thèse vise à reconstituer la variabilité hydro climatique du Pléistocène supérieur à nos jours en Provence Verte, à partir d’archives naturelles et archéologiques carbonatées (spéléothèmes, tufs, concrétions d’aqueducs romains). L’étude s’appuie sur des analyses isotopiques, géochimiques et chronologiques de haute résolution. L’objectif est de mieux comprendre les interactions climat-société sur le temps long, avec une focale sur les stratégies de gestion de l’eau à l’époque romaine. Ces résultats éclaireront la résilience des sociétés méditerranéennes passées et alimenteront les réflexions sur les réponses aux défis actuels et futurs liés à la ressource en eau.

English Title : Hydroclimatic variability and water management in the northwestern Mediterranean (Provence, SE France) : reconstructions from environmental and archaeological carbonate archives from the Quaternary to the present day.

Pitch (10 lines)

In Mediterranean regions, freshwater availability is a critical and vulnerable resource increasingly affected by climate change and human activity. This PhD project investigates long-term hydroclimatic variability in southeastern France by combining natural and archaeological carbonate archives (speleothems, tufas, Roman aqueduct concretions). Through high-resolution geochemical, isotopic and chronological analyses, it aims to reconstruct

environmental changes from the Holocene to modern times, with a focus on Roman-era water management strategies. This interdisciplinary approach will improve our understanding of past climate-society interactions and inform responses to current and future water-related challenges in the Mediterranean.

1) Contexte scientifique et état de l'art

Dans les régions méditerranéennes, la disponibilité en eau potable représente un facteur limitant crucial, soumis à de multiples contraintes d'origine naturelle et anthropique. En augmentation avec le réchauffement climatique, elles ont des répercussions environnementales, socio-économiques et sanitaires notables (Toreti et al., 2010). En Provence, le régime des précipitations a fortement évolué au cours des dernières décennies : baisse des cumuls, intensification des crues et allongement des sécheresses estivales (Cramer et al., 2020).

Face à ces défis contemporains, il est éclairant d'analyser les réponses passées des sociétés méditerranéennes aux variations climatiques, à travers l'étude des archives naturelles et culturelles. Les spéléothèmes et les tufs fluviatiles permettent d'explorer les dynamiques hydroclimatiques à l'échelle de l'Holocène. L'analyse des concrétions carbonatées issues d'ouvrages hydrauliques antiques, notamment romains, offre, quant à elle, un point d'observation unique sur les stratégies de gestion de l'eau dans un contexte de contrainte climatique.

La Provence Verte, notamment le bassin versant amont de l'Argens, constitue un laboratoire naturel exceptionnel pour cette recherche. Ce territoire abrite à la fois des environnements karstiques et fluviatiles, et un riche patrimoine archéologique (oppidum, aqueducs, canaux, moulins). Les dépôts carbonatés laminés – spéléothèmes, tufs, concrétions d'aqueducs – enregistrent à la fois les conditions environnementales (précipitations, température) et les usages anthropiques.

Les spéléothèmes du massif de la Sainte-Baume, proches du site d'étude, offrent un référentiel climatique non perturbé. Les analyses isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) et élémentaires (Mg/Ca, Sr/Ca) permettent d'identifier les variations climatiques fines et les événements extrêmes. Les tufs de l'amont de l'Argens, encore actifs aujourd'hui malgré la diminution du concrétionnement carbonaté depuis 4000 BP dans la région (Vaudour 1994 ; Dabkowski 2020), sont un objet rare et précieux pour comprendre les dynamiques hydrologiques passées.

À l'époque antique, l'Empire romain a mis en œuvre une politique ambitieuse d'accès à l'eau à travers la construction d'ouvrages hydrauliques structurants. Leur étude, couplée à l'analyse de concrétions carbonatées (fréquemment laminées annuellement), permet de reconstruire les paramètres paléo-environnementaux (Bobée et al., 2010 ; Sürmelihindi et al., 2013, 2023). Ces dépôts sont sensibles aux variations climatiques et à l'usage anthropique de l'eau. Enfin, les périodes historiques récentes (Moyen Âge, époque moderne) seront explorées via les données historiques et environnementales afin d'évaluer la continuité ou la rupture des dynamiques hydro-climatiques et sociétales.

2) Objectifs scientifiques et résultats attendus

- Dater les concrétions carbonatées (spéléothèmes, tufs, dépôts d'aqueducs) par la méthode U-Th.
- Caractériser la dynamique actuelle karstique via le monitoring de dépôt de spéléothèmes actuels.
- Reconstituer la fréquence et la saisonnalité des lamines en combinant le comptage et de la mesure automatiques des épaisseurs.
- Élaborer des séries temporelles de traceurs isotopiques et géochimiques.
- Reconstituer les conditions paléo-environnementales (précipitations, sécheresses, température, crues) sur différentes échelles de temps.
- Comparer les signaux aux séries dendrochronologiques et aux archives régionales (France, Espagne, Italie).
- Évaluer les réponses socio-techniques antiques face aux contraintes hydroclimatiques. Analyser l'impact climatique sur la gestion des infrastructures hydrauliques antiques.
- Produire une reconstitution à haute résolution de la variabilité hydroclimatique régionale.
- Intégrer ces reconstitutions dans une lecture interdisciplinaire climat-société.

3) Matériel étudié

- Spéléothèmes du bassin de l'Argens
- Tufs de l'Argens amont
- Concrétions d'ouvrages antiques (aqueducs Aix-en-Provence, Fréjus ; moulins, canaux)
- Eaux des sources karstiques actuelles
- Eaux de percolation des massifs karstiques étudiés

4) Méthodologie

Phase terrain :

Le travail de terrain aura pour objectif de maîtriser le contexte géomorphologique du Haut-Argens (organisation géométrique des terrasses alluviales et des barrages travertineux, approche du milieu souterrain, spéléologie) de manière à optimiser le prélèvement des échantillons de référence (tufs, spéléothèmes...). Cette première étape demande une forte implication sur le terrain.

Phase laboratoire :

Cette étape consistera en la caractérisation morphologique et pétrographique des échantillons via loupe binoculaire, microscopie optique, microscopie numérique, épifluorescence et imagerie haute résolution. L'étude de la lamination sera affinée grâce à la microfluorescence X et la tomodensitométrie. Une modélisation du comptage et de la mesure des épaisseurs des lamines sera réalisée.

Les micro-carottages de haute précision des carbonates (Micromill) permettront l'échantillonnage ciblé des lamines. Les datations U/Th seront effectuées par MC-ICPMS (plateforme ENVITOP). Les éléments majeurs et en traces (Sr/Ca, Mg/Ca, Rb/Ca) seront analysés par ICP-OES, ICP-MS, LA-MC-ICPMS. Les isotopes stables ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) seront mesurés par spectrométrie de masse. L'analyse des eaux actuelles (électrophorèse, isotopes par

spectromètre laser) complétera la compréhension du système hydro-géochimique. Les séries climatiques récentes (débits, précipitations, cernes) serviront de référentiel pour caler les signaux dans les carbonates.

5) Profil recherché

Master 2 en Géosciences, Géochimie, Chimie, ou Géographie physique. Compétences en terrain, analyses de laboratoire, statistiques environnementales. Intérêt pour les approches pluridisciplinaires climat-société.

6) Encadrement et environnement

Thèse accueillie au CEREGE (AMU – OSU Pytheas), dirigée par C. Claude (HDR), O. Sivan (Inrap/Lampea), H. Bruneton, C. Honiat, en lien avec une équipe spécialisée en géochimie, hydrologie et climatologie en collaboration avec la PCR « Saint-Maximin la Sainte-Baume » (A. Flambeaux, C. Landuré et O. Sivan (Inrap/Lampea/SRA Paca). Le travail analytique sera réalisé sur les différentes plateformes du CEREGE.