

Proposition de sujet de thèse de doctorat, 2021-2024

## **La dynamique des écoulements d'air et d'eau dans un massif carbonaté karstique côtier et impact sur l'altération des parois : application à la grotte Cosquer et l'état de conservation de ses parois et de ses œuvres**

### **Descriptif**

---

Les parois de la grotte Cosquer sont le support d'œuvres pariétales exceptionnelles datant du Paléolithique supérieur (entre 27000 et 19000 ans). Progressivement envahie par la remontée du niveau marin depuis la dernière glaciation, cette grotte correspond aujourd'hui à un système karstique semi-noyé, en liaison hydraulique avec la mer. Comme tout massif carbonaté karstique, la roche présente de fortes hétérogénéités de porosité et de perméabilité qui conditionnent d'une part la qualité du substrat où sont préservées les œuvres, et d'autre part les transferts d'eau, d'air et de chaleur. De plus, cet hydrosystème côtier est directement impacté par les variations du niveau marin en lien avec le changement climatique.

L'objectif de ce travail de thèse est de modéliser les écoulements d'air et d'eau dans cet hydrosystème karstique en liaison avec la mer, afin de prévoir l'évolution des niveaux d'eau dans la grotte. Les résultats attendus aideront aux choix de conservation archéologique à mettre en œuvre. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de comprendre les facteurs qui contrôlent les variations de pression de l'air et de niveau de l'eau. Nous avons déjà montré que la grotte peut atteindre une surpression de 1 mètre (0.1 bar) après les tempêtes, probablement parce que les vagues de forte amplitude forcent le passage d'air à travers un conduit karstique immergé. Cette surpression se dissipe ensuite lentement, car la formation est peu perméable. C'est ce phénomène de chargement/déchargement qu'il est question de modéliser.

Des séries chronologiques de paramètres hydroclimatiques enregistrées dans la grotte Cosquer (depuis 2014, collaboration CEREGE-DRAC, dir. B. Arfib) et sur le site voisin de Port-Miou (SNO Karst, CEREGE, dir. B. Arfib) sont disponibles. Ce sont 6 ans de données continues in-situ, principalement de pression de l'air et de l'eau, et température et salinité de l'eau, qui constituent un préalable indispensable à l'étude du système. Ces données assurent des séries suffisamment longues pour enregistrer les variabilités interannuelles. L'acquisition des données continuera durant la thèse de doctorat. Le réseau de sondes de mesures, majoritairement hydrologiques jusqu'à maintenant, sera complété par des sondes climatologiques en divers points clés de la cavité. Ces mesures permettront de connaître les variations thermiques naturelles mais également de contrôler l'impact de la présence humaine. Des mesures de radon atmosphérique (réalisées en collaboration avec l'IPGP) compléteront les données et permettront de tracer l'origine, le déplacement et le renouvellement de l'air du système karstique. Le modèle numérique de la géométrie 3D de la cavité sera finalisé en 2021 (acquisition et traitement Fugro - B. Chazaly – DRAC) et disponible pour évaluer les volumes réels connus. Des données océanographiques et météorologiques, pour lier les variations internes de la cavité avec les forçages externes, seront récoltées.

Le travail sera organisé en trois tâches : (1) construction et analyse du jeu de données, ceci comprenant l'acquisition de nouvelles données et l'intégration des données océanographiques et météorologiques, (2) établir un modèle physique de fonctionnement hydrodynamique, (3) construire un modèle numérique permettant de prédire l'évolution du système en fonction des paramètres essentiels.

Il s'agira d'abord de confirmer les conditions océanographiques qui engendrent ou maintiennent la grotte en surpression, et également de faire l'état de l'art sur les processus physiques qui permettent l'injection

d'air et sa lente expulsion. Il est attendu en fin de première année de thèse un modèle conceptuel qui relie les facteurs-clés (e.g.: niveau de la mer, amplitude et direction des vagues, perméabilité de la formation) identifiés comme régulateurs des phénomènes étudiés. Ce travail demandera d'explorer la dynamique des écoulements d'air et d'eau dans un conduit karstique, phénomène hautement complexe qui pourra être traité par la modélisation numérique ou analogique. La question de l'éventuelle variabilité temporelle de la perméabilité de l'encaissant à l'air et de ses conséquences devra également être abordée. L'objectif final est de construire un modèle numérique de simulation du niveau de l'eau contraint par l'ensemble des données acquises sur le site. Ce modèle pourra reposer sur des simplifications des comportements de l'encaissant calcaire et du phénomène de transfert d'air dans un conduit karstique, ou sur des approches statistiques. Le modèle calé sur les données actuelles sera un outil immédiat pour la conservation archéologique, et également pour mettre en évidence les changements futurs de fonctionnement du système karstique côtier en lien avec la montée du niveau marin

### **Profil recherché**

---

Master ou école d'ingénieur en Sciences de la Terre, ou Physique ou Océanographie. Des connaissances en hydrogéologie karstique et traitement du signal seront appréciées, ainsi que des aptitudes en programmation. Goût pour le terrain en zone karstique et en mer.

Le(la) candidat(e) devra être capable de communiquer à l'oral et à l'écrit en français et en anglais.

### **Accueil au laboratoire et collaborations**

---

Le(la) doctorant(e) sera basé(e) au laboratoire CEREGE (Aix-Marseille Université), sous la co-direction de B. Arfib et P. Henry, et inscrit(e) à l'école doctorale Sciences de l'environnement. La thèse sera co-encadrée par S. Touron, responsable du pôle Grottes ornées, du Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH) à Champs-sur-Marne. Le(la) doctorant(e) collaborera également avec l'équipe de recherche pluridisciplinaire d'étude du contexte archéologique et environnemental de la grotte Cosquer (DRAC). Des collaborations sont envisagées avec l'IPGP sur le suivi du radon de l'air, et des océanographes pour les interactions mer-continent.

Le(la) doctorant(e) intégrera également le réseau du SNO Karst (Service National d'Observation).

### **Encadrement, candidature et contacts**

---

B. Arfib, maître de conférence CEREGE – AMU : [arfib@cerege.fr](mailto:arfib@cerege.fr)

P. Henry, directeur de recherche CNRS CEREGE : [henry@cerege.fr](mailto:henry@cerege.fr)

S. Touron, ingénieure de recherche, responsable du pôle Grottes Ornées au LRMH : [stephanie.touron@culture.gouv.fr](mailto:stephanie.touron@culture.gouv.fr)

Les candidat(e)s intéressé(e)s pourront prendre contact avec B. Arfib, puis envoyer un CV et une lettre de motivation par courriel à B. Arfib avec copie à P. Henry et S. Touron.