

Titre: Simulation numérique couplée des transferts thermo-aérauliques dans la grotte de Lascaux

Auteurs: W. Taraft, F. Salmon, D. Lacanette, E. Abisset-Chavanne

Laboratoire: Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, I2M, UMR 5295 – Talence, France

Résumé: La préservation du patrimoine pariétal de la grotte de Lascaux est étroitement liée au contrôle de son microclimat interne, fortement influencé par les échanges thermiques entre le massif rocheux et l'air de la cavité. Dans ce contexte, nous développons une chaîne de modélisation numérique visant à simuler les phénomènes thermo-aérauliques gouvernant la circulation d'air, la conduction thermique et les processus de condensation dans la grotte. La méthodologie repose sur l'utilisation conjointe de deux environnements de calcul complémentaires. Le code CFD NOTUS est mobilisé pour la modélisation tridimensionnelle de la conduction dans le massif rocheux et de la convection naturelle de l'air dans la cavité. Les transferts de chaleur au sein du massif sont calculés à partir de l'équation de la chaleur, permettant d'obtenir un champ thermique transitoire réaliste sur l'ensemble des parois. Ce champ sert ensuite de condition limite pour la simulation de la convection naturelle basée sur les équations de Navier-Stokes incompressibles sous l'approximation de Boussinesq. Les premiers résultats montrent qu'une onde thermique issue de la surface se propage dans le massif de manière amortie, avec un retard de phase d'environ six mois à dix mètres de profondeur et douze mois à vingt mètres, pour une amplitude d'environ $0,6^{\circ}\text{C}$, comportement illustré en Figure 1. La simulation de la convection naturelle dans la cavité révèle des gradients thermiques caractéristiques des zones susceptibles de favoriser la condensation. Afin de permettre la modélisation fine des phénomènes de changement de phase à l'interface air/paroi, les champs thermiques et aérauliques calculés sous NOTUS sont transférés vers le logiciel OpenFOAM. Ce passage d'un code à l'autre repose sur une étape d'interpolation des champs physiques, rendue nécessaire par l'utilisation de maillages de nature différente : cartésien structuré pour NOTUS et non structuré pour OpenFOAM. Cette procédure d'interfaçage constitue un verrou scientifique essentiel du couplage numérique, garantissant la cohérence physique et la conservation des champs lors du changement d'environnement de calcul, et conditionnant la fiabilité des simulations multiphasiques ultérieures. Les perspectives de ce travail incluent l'intégration de méthodes d'intelligence artificielle afin d'améliorer la prédiction des zones de condensation et d'optimiser les temps de calcul, dans l'objectif de contribuer à la préservation durable du microclimat de la grotte de Lascaux.

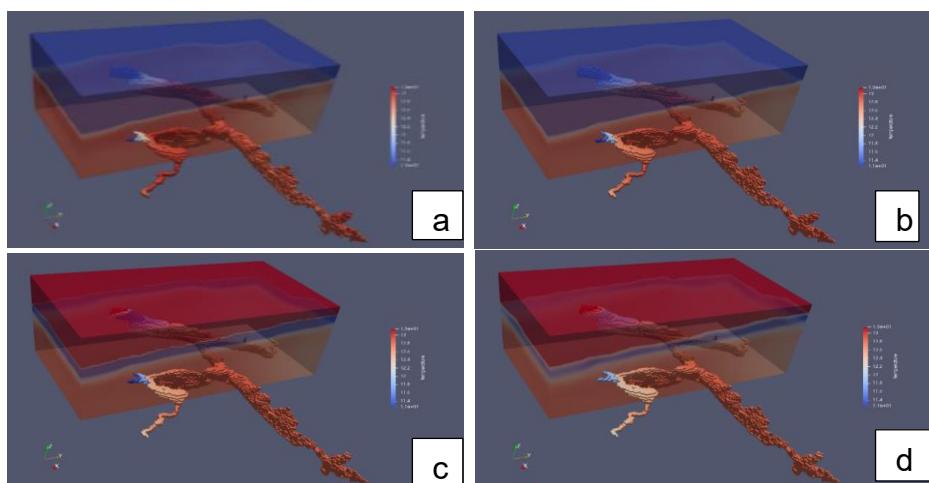


Figure 1: Évolution de la température simulée à travers l'air et le massif rocheux, présentée à des intervalles de 30 jours :(a) 14^e mois ;(b) 15^e mois ; (c) 16^e mois ; (d) 17^e mois.

Résultats obtenus à l'aide du code NOTUS