

## **Modélisation numérique des écoulements d'air dans une cavité souterraine connectée à la surface par un puits**

### **Sujet de stage de Master 2 (2022)**

#### **Lieu d'accueil :**

- CEREMA, 10 chemin de la Poudrière, BP2045, 76121 Le Grand Quevilly Cedex
- Laboratoire de Mathématiques Raphaël Salem, UFR des Sciences et Techniques, Université de Rouen Normandie, Avenue de l'Université, BP.12 76801 Saint-Étienne-du-Rouvray, France

#### **Équipe d'accueil :** ENDSUM

**Encadrement :** Raphaël ANTOINE (Cerema), Ionut Danaila (LMRS)

**Contacts :** [raphael.antoine@cerema.fr](mailto:raphael.antoine@cerema.fr), [ionut.danaila@univ-rouen.fr](mailto:ionut.danaila@univ-rouen.fr)

#### **Sujet de stage**

Les effondrements de cavités souterraines, naturelle ou artificielles, constituent un risque important pour l'aménagement du territoire. En Normandie, il existe des milliers de cavités artificielles reliées à la surface par un puits soit ouvert, soit masqué par le sol. La détection précoce des puits masqués est donc primordiale, en particulier du fait du réchauffement climatique, dont les manifestations de plus en plus fréquentes et intenses peuvent amplifier le phénomène d'effondrement. Dans ce stage, nous voulons comprendre comment les échanges se font entre l'atmosphère et la cavité lorsqu'un puits est ouvert.

Pour cela, l'étudiant(e) bâtit des modèles de convection thermique naturelle disponibles au LMRS, afin de quantifier les processus hydro-thermiques en jeu dans les cavités. Ces codes, écrits en éléments finis, permettent de résoudre l'équation de Navier-Stokes et de la chaleur en milieu fluide et en milieu poreux en 2D et 3D, avec une condition de rayonnement solaire en surface. De plus, ils prennent en compte les changements de phase dans le milieu, permettant de simuler des écoulements d'air humide en subsurface et/ou l'infiltration de l'eau dans le sol (voir <http://lmrs-num.math.cnrs.fr/category/publications.html>). Les simulations numériques seront effectuées avec le logiciel libre FreeFem++ ([www.freefem.org](http://www.freefem.org)). Les machines du centre de calcul régional CRIANN ([www.criann.fr](http://www.criann.fr)) pourront être utilisées pour les calculs 3D parallèles. L'étudiant(e) comparera les résultats des modélisations aux observations thermiques réalisées en 2021 sur un puits ouvert grâce à une caméra thermique embarquée sur drone, disponibles à ENDSUM Rouen.

**Profil souhaité :** Compétences en calcul numérique (Master 2 en Mathématiques Appliquées ou Physique)

**Durée souhaitée :** 6 mois maximum.

**Rémunération légale du stage :** 551,60 euros/mois (si supérieur à 2 mois)

**Restauration :** cantine du CEREMA sur place

**Logement :** voir avec le Crous de Rouen, logements potentiellement disponibles sur les campus de Saint-Étienne-du-Rouvray ou de Mont Saint-Aignan, ou à l'Insa de Rouen.

**Candidatures :** envoyer CV, lettre de motivation et relevés de notes (M1 et M2 si disponibles) à [raphael.antoine@cerema.fr](mailto:raphael.antoine@cerema.fr), [ionut.danaila@univ-rouen.fr](mailto:ionut.danaila@univ-rouen.fr)

**Le stage pourrait se poursuivre par une thèse débutant à l'automne 2022 (financement CEREMA).**