

Proposition de projet de thèse dans le domaine du calcul scientifique et des mathématiques appliquées

" Étude des écoulements d'air et d'eau dans des cavités souterraines à partir de la modélisation numérique et de données de télédétection."

Contrat doctoral de 3 ans (CDD)

Date limite de candidature : 08 avril 2022

Prise d'effet du contrat : automne 2022

Lieu : CEREMA Rouen et Laboratoire de mathématiques Raphaël Salem (Université de Rouen Normandie)

1. Description du projet de thèse

Des milliers de cavités artificielles ont été creusées au XIX^e siècle en France pour l'extraction de la craie. Celles-ci sont reliées à la surface par un puits de diamètre métrique souvent mal rebouché et recouvert de sol agraire. L'effondrement des cavités, souvent brutal et parfois léthal, constitue une préoccupation majeure en Normandie [1]. Leur détection précoce est donc primordiale, en particulier du fait du réchauffement climatique, dont les manifestations de plus en plus fréquentes peuvent accélérer les effondrements. Dans les années 2000, des données thermiques aériennes ont permis de détecter la signature thermique de surface de puits de plusieurs marnières, faisant apparaître cette méthode comme prometteuse, mais sans en comprendre les mécanismes à l'origine de ces observations [2]. L'objectif de la thèse est donc de caractériser les transferts de chaleur entre ces cavités et l'atmosphère et de déterminer les potentialités et limites de l'infrarouge thermique pour la détection des marnières.

Le LMRS a développé un code de convection en éléments finis 3D prenant en compte une condition réaliste de bilan thermique en surface. Celui-ci résout les équations de Navier-Stokes et de la chaleur en milieu fluide (vide) et en milieu poreux en 2D et 3D. De plus, le changement de phase liquide/solide dans le milieu est implémenté dans le code [5,6,7], ce qui permettra de l'adapter pour 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 FreeFem++ (www.freefem.org), un logiciel libre facile à utiliser et flexible pour l'implémentation de modèles physiques ou mathématiques. Les machines du centre de calcul régional CRIANN (www.criann.fr) seront utilisées pour les calculs 3D parallèles.

Les résultats obtenus pourront être comparés avec des données thermiques issues de drones et des données d'imagerie géophysique. Ils permettront 1) d'améliorer les connaissances concernant les modes de convection dans des environnements à topologie 3D complexe comme les cavités souterraines ; 2) de faire le lien entre écoulements de subsurface et bilan thermique de surface et 3) d'estimer dans quelles conditions ces anomalies thermiques saisonnières, voire journalières peuvent être générées par ces échanges.

Les ressources nécessaires (codes, moyens de calculs, moyens d'observations par drone et pilote) sont déjà disponibles au laboratoire. Le LMRS, situé à 5 min du Cerema, donnera à l'étudiant(e) une grande liberté pour échanger avec ses encadrants. L'étudiant(e) bénéficiera d'un environnement scientifique riche et stimulant, proche des équipes de recherche, des équipes cavités opérationnelles et de l'infrastructure de calcul.

[1] Guignard P., Moretau J.-P. (2020), La gestion des risques engendrés par les marnières abandonnées, Rapport no 012595-01.

[2] Fauchard, C., Pothérat, P., Côte, P., & Mudet, M. (2004). Détection de cavités souterraines par méthodes géophysiques. Guide technique- Laboratoire central des ponts et chaussées.

[3] Weisbrod, N., Dragila, M., and Levintal, E.: How fast the earth surface breathe? Gas transport in high permeability soils and earth surface discontinuities, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-8449, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-8449>, 2021.

[4] Antoine, R., Fauchard, C., Oehler, J. F., & Joignant, P. (2020). Permeability and voids influence on the thermal signal, as inferred by multitemporal UAV-based infrared and visible images. *Journal of Hydrology*, 124907.

- [5] I. Danaila, R. Moglan, F. Hecht, S. Le Masson, A Newton method with adaptive finite elements for solving phase-change problems with natural convection, *J. of Computational Physics*, 274, p. 826–840 (2014).
- [6] Rakotondrandisa, A., Danaila, I., & Danaila, L. (2019). Numerical modelling of a melting-solidification cycle of a phase-change material with complete or partial melting. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 76, 57-71.
- [7] G. Sadaka, A. Rakotondrandisa, P.-H. Tournier, F. Luddens, C. Lothodé, I. Danaila, *Parallel finite-element codes for the simulation of solid-liquid phase-change systems with natural convection*, *Computer Physics Communications*, 257, p. 107492 (1-26), 2020.

2. Compétences souhaitées

- Compétences en calcul scientifique, mathématiques appliquées ou physique.
- Des connaissances du code FreeFem++ sont un plus.
- Compétences en programmation Python.
- Attrait pour la géophysique et les sciences de la Terre en général.

3. Conditions d'accueil du projet de thèse

- Le doctorant sera employé du Cerema sur CDD-doctorant de l'automne 2022 à l'automne 2025 (*dates exactes à fixer avec le (la) doctorant(e)*).
- La rémunération sera d'environ 1500€ nets les deux premières années et 1700€ la troisième
- Le projet se déroulera majoritairement dans les locaux du Cerema à Rouen, ainsi qu'au Laboratoire de Mathématiques Raphaël Salem (LMRS), situé sur le campus de l'Université Rouen Normandie.
- Les dispositions permettront au doctorant de bénéficier de la formation de l'école doctorale d'inscription, ED MIIS (<http://ed-miis.normandie-univ.fr/>), Mathématiques, Informatique, Ingénierie de Systèmes.

4. Equipe d'encadrement du projet de thèse

- Le doctorant sera accueilli au sein de l'équipe ENDSUM du Cerema, dont le responsable est Cyrille Fauchard <https://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/recherche/equipes/endsum-evaluation-non-destructive-structures-materiaux>
- Le projet se déroulera sous la direction du Professeur Ionut Danaila du LMRS. <https://lmrs.univ-rouen.fr/>
- Le projet sera co-encadré par Raphaël Antoine et Cyrille Fauchard, chercheurs dans l'équipe ENDSUM.

5. Modalités de candidature

Le candidat intéressé est invité à contacter au plus tôt l'encadrant Cerema de ce projet :

Raphaël Antoine,
Cerema Normandie-Centre, 10, chemin de la Poudrière 76121 Le Grand Quevilly
raphael.antoine@cerema.fr
Tel : 0276689053
Portable : 0777324405

Si son CV est retenu, le candidat sera auditionné début mai par un jury afin de juger de son adéquation avec le sujet de thèse.

Contenu du dossier de candidature :

- le CV du candidat
- la copie de sa carte d'identité ou de son passeport
- les notes du master (a minima le master 1 si les notes du master 2 ne sont pas disponibles)
- la copie du dernier diplôme (maîtrise, diplôme d'ingénieur, master recherche si ce dernier est déjà soutenu)
- une lettre de motivation du candidat expliquant son intérêt pour le sujet (1 page recto-verso maximum)
- une lettre de recommandation

Le candidat lui transmettra un dossier complet (*éléments ci-dessus rassemblés dans un seul fichier .pdf*), par mél, **avant le 08 avril 2022.**