	Sujet de stage M2 Année 2025	

Simulation numérique du séchage d'un matériau poreux par une approche particulaire

15 novembre 2024

Univ. Gustave Eiffel & Inria, équipe commune I4S, campus de Nantes
Univ. Pau & Pays de l'Addour, SIAME, campus d'Anglet

Présentation des équipes

Le sujet présenté ici est porté par d'une part l'équipe de recherche I4S qui est commune entre Inria et l'Université Gustave Eiffel et d'autre part par le laboratoire SIAME de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Inria : Inria est l'institut français de recherche en sciences et technologies du numérique. Ce centre de recherche public d'excellence scientifique est en première ligne de la transformation digitale en France. La recherche en informatique, mathématiques, intelligence artificielle (AI), le développement logiciel, l'innovation dans les disciplines à fort impact technologique et le risque entrepreneurial (DeepTech) constituent l'ADN de l'institut. Inria est en 16ème place du classement mondial "AI Research" et est le 1er institut européen de recherche exploratoire en sciences du numérique.

Université Gustave Eiffel : L'Université Gustave Eiffel est une université française, expérimentale et multi-campus, spécialisée dans l'étude des villes et des processus d'urbanisation. Elle s'engage à promouvoir l'excellence académique, la recherche de pointe et l'innovation, tout en favorisant la collaboration interdisciplinaire et les partenariats avec les acteurs de l'industrie et de la société civile. Leader en France sur la ville durable, elle représente un quart de la recherche française sur cette thématique. Elle dispose des plateformes expérimentales uniques et d'une nouvelle énergie pour répondre aux enjeux de la ville du futur, aux enjeux des transitions économiques, environnementales, énergétiques et sociétales auxquels nous sommes et serons confrontés.

I4S : L'équipe I4S (Inferences for Structures) est spécialisée dans le monitoring de santé des structures (SHM), *i.e.* essayer de prédire, catégoriser, localiser et quantifier les défauts ou dommages pouvant apparaître sur des structures de génie civil, électriques, (bio)-mécaniques, énergétique ou aéronautiques, *etc.* Pour ce faire, il est nécessaire de croiser des données et savoir-faire multiples tels que de la simulation physique numérique, du traitement des données, développement de capteurs, intégration de l'électronique embarquée, de la propagation d'incertitudes statistiques, *etc.*

Université de Pau et des Pays de l'Addour : Grâce au projet Energy and Environment Solutions (E2S), l'UPPA a obtenu le statut d'I-Site et souhaite affirmer sa responsabilité sociétale et sa position de centre de ressources capable d'apporter des réponses et des solutions aux nombreux défis et enjeux scientifiques de la société d'aujourd'hui. Cette ambition, au cœur de la stratégie partagée avec le CNRS, l'INRAE et l'INRIA, s'appuie sur une signature scientifique axée sur les transitions environnementales, énergétiques et sociétales. Le laboratoire de recherche SIAME est spécialisé dans le génie civil, l'énergie, le génie côtier et l'électricité haute tension. SWEAT-City bénéficiera de l'utilisation de la plateforme MATCO pour la fabrication et la caractérisation des matériaux de construction, et de la plateforme DMex pour la microtomographie.

Contexte général

La lutte contre les îlots de chaleur urbains (ICU) est un enjeu majeur dans le contexte du réchauffement climatique et de l'urbanisation croissante. Les matériaux poreux de génie civil, comme les bétons drainants ou les revêtements

Document propriété de l'Univ. Eiffel/Inria - Reproduction et diffusion externe soumises à l'autorisation de l'émetteur

perméables, peuvent jouer un rôle crucial dans ce domaine en reproduisant le comportement hygro-thermique d'un sol naturel. En facilitant le stockage et l'évaporation de l'eau, ces matériaux contribuent à abaisser les températures ambiantes par un effet de refroidissement évaporatif (effet similaire à celui de la transpiration et parfois appelé évapotranspiration). Cependant, la compréhension fine des mécanismes d'évaporation et de mouillage dans ces matériaux est encore limitée, notamment en raison de la complexité de leurs structures multi-échelles.

Le projet *Simulation of Water Evaporation within Artificial ground for thermo-regulation of the City* (SWEAT-City), financé par l'agence nationale de la recherche, s'intéresse l'évapotranspiration des matrices poreuses cimentaires comme solution potentielle. Ce projet est inscrit dans le Projet National (PN) Inovations et Solutions face à la Surchauffe Urbaine (ISSU) qui vise a évaluer les différentes solutions et innovations en matière de lutte contre les ICU.

Les matériaux poreux présentent une structure hétérogène organisée à plusieurs échelles : celle des pores microscopiques et celle des agrégats, où les interactions entre phases liquide, gazeuse et solide influencent les phénomènes d'évaporation et de mouillage. Ces processus dépendent de facteurs tels que la géométrie des pores, les propriétés capillaires, la diffusion de vapeur, et la connectivité des phases liquides à travers les agrégats. Les modèles actuels peinent à intégrer ces interactions multi-échelles de manière cohérente et prédictive, limitant la conception de nouveaux matériaux optimisés pour les ICU.

Objectifs du stage

Ce stage de M2 vise à étudier numériquement le mécanisme d'évaporation d'un matériau poreux. Cette étude utilisera une méthode numérique particulaire permettant de modéliser le changement de phase (liquide-gaz) en présence de plusieurs composants (eau et air sec). Ainsi, le déroulement du stage proposé est:

- étude de la littérature et appropriation des connaissances spécifiques au sujet ;
- implémentions de la nouvelle méthodologie ;
- validation sur des cas de références connus sans matrice poreuse ;
- exploration sur de nouveaux cas avec matrice poreuse ;
- rédaction et présentation.

Les résultats attendus permettront de mieux comprendre les interactions complexes d'évaporation dans les matériaux poreux du génie civil et leur impact environnemental.

Profil du candidat

Master (ou ingénieur) en mécanique (milieu poreux ou en mécanique des fluides) ou physique (thermodynamique, changement de phase, concentration hygrométrique) ou en mathématiques (analyse numérique, probabilité, non-linéarité).

Une autonomie certaine en langage de programmation (Matlab, Python, C++ et/ou Julia) est requise; un esprit de synthèse et des qualités rédactionnelles sont attendus. Une expérience en simulation numérique est appréciée.

Contacts

Envoyer un CV détaillé, lettre de motivation et relevé de notes à :

`romain.noel@univ-eiffel.fr`
Université Gustave Eiffel
Campus de Nantes

`christian.laborderie@univ-pau.fr`
Université de Pau et des Pays de l'Addour
Campus d'Anglet

Mots clés

Génie civil, Méthodes numérique, Multi-echelle, Évaporation, Matériaux poreux.

Document propriété de l'Univ. Eiffel/Inria - Reproduction et diffusion externe soumises à l'autorisation de l'émetteur

Numerical Simulation of the Drying of a Porous Material by a Particulate Approach

15th november 2024

Univ. Gustave Eiffel & Inria, common team I4S, campus of Nantes
Univ. Pau & Pays de l'Addour, SIAME, campus of Anglet

Presentation of the Teams

The subject presented here is supported by the I4S research team, a joint venture between Inria and the Université Gustave Eiffel, and by the SIAME laboratory at the Université of Pau.

Inria: Inria is the French institute for research in digital science and technology. This public research center of scientific excellence is at the forefront of digital transformation in France. Research in computer science, mathematics, artificial intelligence (AI), software development, innovation in high-impact technological disciplines, and entrepreneurial risk (DeepTech) are the DNA of the institute. Inria is ranked 16th in the global "AI Research" ranking and is the first European institute for exploratory research in digital science.

Gustave Eiffel University: Gustave Eiffel University is a French, experimental, and multi-campus university specializing in the study of cities and urbanization processes. It is committed to promoting academic excellence, cutting-edge research, and innovation, while fostering interdisciplinary collaboration and partnerships with industry and civil society stakeholders. A leader in sustainable cities in France, it represents a quarter of French research on this theme. It has unique experimental platforms and new energy to address the challenges of the future city, as well as economic, environmental, energy, and societal transitions.

I4S: The I4S team (Inferences for Structures) specializes in Structural Health Monitoring (SHM), i.e. attempting to predict, categorize, locate, and quantify defects or damage that may occur in civil, electrical, (bio)-mechanical, energy, or aeronautical structures, etc. To do this, it is necessary to combine multiple data and expertise, such as numerical physical simulation, data processing, sensor development, embedded electronics integration, statistical uncertainty propagation, etc.

Université de Pau et des Pays de l'Addour: With its E2S project, UPPA has been granted I-Site status, and wishes to assert its social responsibility and its position as a resource center capable of providing answers and solutions to the wide range of scientific challenges and issues facing society today. This ambition, at the heart of the strategy shared with CNRS, INRAE and INRIA, is based on a scientific signature focused on environmental, energy and societal transitions. The SIAME research laboratory specializes in civil engineering, energy, coastal engineering and high-voltage electricity. SWEAT-City will benefit from the use of the MATCO platform for the manufacture and characterization of construction material and the DMex platform for microtomography.

General Context

Combating urban heat islands (UHI) is a major challenge in the context of global warming and increasing urbanization. Porous civil engineering materials, such as pervious concrete or permeable pavements, can play a crucial role in this area by reproducing the hygro-thermal behavior of natural soil. By facilitating the storage and evaporation of water, these materials help to lower ambient temperatures through an evaporative cooling effect (similar to transpiration,

Document propriété de l'Univ. Eiffel/Inria - Reproduction et diffusion externe soumises à l'autorisation de l'émetteur

and sometimes referred to as evapo-transpiration). However, detailed understanding of evaporation and wetting mechanisms in these materials is still limited, not least because of the complexity of their multi-scale structures.

The Simulation of Water Evaporation within Artificial ground for thermo-regulation of the City (SWEAT-City) project, funded by the French National Research Agency, focuses on the evapotranspiration of porous cementitious matrices as a potential solution. This project is part of the *Projet National* (PN) *Inovations et Solutions face à la Surchauffe Urbaine* (ISSU), which aims to evaluate different solutions and innovations in the fight against UHI.

Porous materials present a heterogeneous structure organized on several scales: that of microscopic pores and that of aggregates, where interactions between liquid, gaseous and solid phases influence evaporation and wetting phenomena. These processes depend on factors such as pore geometry, capillary properties, vapor diffusion and the connectivity of liquid phases across aggregates. Current models struggle to integrate these multi-scale interactions in a consistent and predictive way, limiting the design of new materials optimized for ICU.

Internship objectives

This M2 internship aims to numerically study the evaporation mechanism of a porous material. This study will use a numerical particle method to model the phase change (liquid-gas) in the presence of several components (water and dry air). Thus, the proposed internship program is:

- study of the literature and appropriation of knowledge specific to the subject;
- implementations of the new methodology;
- validation on known reference cases without porous matrix;
- exploration on new cases with porous matrix;
- writing and presentation.

The expected results will allow a better understanding of the complex evaporation interactions in porous materials in civil engineering and their environmental impact.

Applicant profile

Master's degree (or engineer) in mechanics (porous media or fluid mechanics) or physics (thermodynamics, phase change, hygrometric concentration) or mathematics (numerical analysis, probability, non-linearity).

A certain degree of autonomy in programming languages (Matlab, Python, C++ and/or Julia) is required; synthesis and writing skills are expected. Experience in numerical simulation is appreciated.

Contacts

Send detailed CV, cover letter, transcript and any letters of recommendation to :

`romain.noel@univ-eiffel.fr`
Université Gustave Eiffel
Campus de Nantes

`christian.laborderie@univ-pau.fr`
Université de Pau et des Pays de l'Addour
Campus d'Anglet

Keywords

Civil Engineering, Numerical Methods, Multi-scale, Evaporation, Porous materials.

Document propriété de l'Univ. Eiffel/Inria - Reproduction et diffusion externe soumises à l'autorisation de l'émetteur