

# **OFFRE DE STAGE – M2 Ingénieur Math-Informatique**

## **Analyse numérique et calcul scientifique**

### **Organisme d'accueil**

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) est une autorité administrative indépendante chargée, au nom de l'État, du contrôle des activités nucléaires civiles en France. Elle mène également des missions d'expertise, de recherche et d'appui scientifique dans le domaine de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Le stage se déroulera au sein de l'Unité d'Expertise et de Modélisation des Installations de Stockage (UEMIS), rattachée au Service des Pollutions et des Déchets Radioactifs (SPDR), en collaboration étroite avec le laboratoire Analyse, Géométrie et Applications (LAGA) de l'Université Sorbonne Paris Nord.

### **Contexte scientifique**

L'étude de la migration à long terme des substances radioactives dans les ouvrages de stockage constitue un enjeu majeur pour l'évaluation de la sûreté des installations. Ces phénomènes reposent sur le couplage complexe entre l'écoulement de l'eau en milieu poreux non saturé et le transport des solutés.

La résolution numérique de ces problèmes repose classiquement sur des méthodes de type éléments finis ou volumes finis, qui peuvent devenir coûteuses et instables dans des milieux fortement hétérogènes et non linéaires.

Dans ce contexte, l'ASNR développe, dans le cadre du projet IA-MP, des approches innovantes basées sur les réseaux de neurones informés par la physique (Physics-Informed Neural Networks – PINNs), et plus particulièrement sur une variante séquentielle et récurrente performante : les RC-PINNs.

### **Objectifs du stage**

L'objectif du stage est de développer et d'évaluer un modèle RC-PINNs capable de résoudre un problème unidimensionnel couplé comprenant :

- l'équation de Richards décrivant l'écoulement en milieu poreux non saturé,
- l'équation de transport convectif-diffusif des solutés.

Ce travail vise à évaluer la pertinence de cette approche pour les études de sûreté menées par l'ASNR.

### **Missions confiées**

Le ou la stagiaire sera amené(e) à :

- Développer un modèle RC-PINNs couplé en utilisant la bibliothèque PyTorch.
- Implémenter une fonction de perte intégrant les résidus physiques des deux équations couplées.
- Étudier l'influence des paramètres du réseau (nombre de couches, neurones, fonctions d'activation, critères d'arrêt).
- Comparer les résultats obtenus avec des solutions de référence issues de méthodes numériques classiques.
- Reproduire un cas test représentatif IRSN/ASNR d'injection impulsionale de soluté en milieu poreux non saturé.
- Analyser la restitution des fronts d'humidité et de concentration dans des milieux homogènes et hétérogènes.

### **Environnement de travail**

Le stagiaire bénéficiera :

- de la plateforme de calcul du projet IA-MP,
- de codes RC-PINNs existants pour l'équation de Richards,
- d'un environnement numérique de référence (volumes finis / différences finies),
- d'un encadrement scientifique conjoint ASNR – Université Sorbonne Paris Nord.

### **Profil recherché**

Étudiant(e) en Master 2 ou en dernière année d'école d'ingénieurs, spécialisé(e) en mathématiques appliquées, analyse numérique, calcul scientifique ou data science.

Des connaissances en équations aux dérivées partielles et une première expérience avec Python et/ou PyTorch seront appréciées.

### **Compétences acquises**

- Modélisation des écoulements et du transport en milieu poreux non saturé.
- Résolution de problèmes d'EDP non linéaires et couplés.
- Programmation scientifique avancée en Python / PyTorch.
- Initiation aux réseaux de neurones informés par la physique (PINNs, RC-PINNs).
- Validation numérique et comparaison de modèles.

### **Informations pratiques**

Durée : 6 mois

Début souhaité : mars 2026

Localisation : Fontenay-aux-Roses (92)

Gratification : environ 1250 € net / mois

Possibilité de télétravail occasionnel.

### **Encadrement et contacts**

Encadrement scientifique ASNR : Zakaria SAADI – UEMIS / ASNR - zakaria.saadi@irsn.fr

Encadrement académique : Fayssal BENKHALDOUN – LAGA, USPN, fayssal@math.univ-paris13.fr