

L'APRONA (Association pour la Protection de la Nappe Phréatique de la plaine d'Alsace – www.aprona.net/), a pour principales missions la surveillance qualitative et quantitative de la nappe d'Alsace et des aquifères du Sundgau. Elle assure ainsi la gestion des réseaux d'observation des eaux souterraines, la collecte et l'exploitation des données ainsi que leur diffusion et leur communication.

CONTEXTE

La nappe d'Alsace, partie intégrante du réservoir aquifère le plus important d'Europe, constitue un patrimoine naturel et un enjeu économique majeur pour l'alimentation en eau potable, en eau d'irrigation et en eau industrielle. Les échanges eaux superficielles – eaux souterraines, très fréquents, sont la caractéristique principale de ce hydro-système unique par sa taille.

L'ALIMENTATION DE LA NAPPE PHREATIQUE EST ASSUREE :

- soit directement à partir des précipitations au niveau de la plaine (pluies efficaces),
- soit par infiltration des cours d'eau vosgiens dont le débit est également tributaire des précipitations,
- soit par infiltration des eaux du Rhin selon les tronçons et les aménagements,
- soit par les apports latéraux par infiltration en bordure des Vosges ou de la Forêt Noire.

LES EXHAURES DES EAUX DE LA NAPPE SONT PRINCIPALEMENT DUES :

- aux échanges avec les cours d'eau et le Rhin qui peuvent drainer la nappe,
- aux prélèvements par pompage pour des usages domestiques, industriels ou agricoles.

Les fluctuations de niveau, plus ou moins importantes suivant l'endroit et les types d'événements qui en sont la cause, ne sont pas sans conséquence sur le milieu naturel et les activités humaines : assèchement des zones humides, remontées d'eau dans les caves et les parkings souterrains, incidences sur l'importance et la propagation des pollutions.

SUJET DU STAGE

Face à ces enjeux accentués par les impacts du changement climatique¹, comment prédire efficacement la réaction de la nappe afin de mieux faire face aux situations de crises (crue et sécheresse) ?

Connaissant les facteurs responsables de l'évolution de la recharge² des nappes, plusieurs approches modélisation sont alors possibles. Avec les progrès dans le domaine de développement des cartes graphiques (GPU), les réseaux de neurones d'apprentissage profond émergent comme une nouvelle technique pour la modélisation avec d'excellents résultats dans de nombreux domaines et applications scientifiques. Un intérêt particulier est porté actuellement à l'utilisation de ces techniques pour la gestion des ressources en eaux souterraines. Cependant, dans contexte, la mise en œuvre des réseaux de neurones est limitée par la disponibilité et la qualité des données. Très récemment (en 2019), une nouvelle classe des réseaux de neurones a fait son apparition pour pallier à ce problème. Dans cette classe, connue sous le nom PINNs (Physics Informed Neural Networks), l'apprentissage du réseau est guidé par les lois physiques et peut se faire d'une façon efficace même avec peu de données. L'intégration des lois physiques dans l'apprentissage des

¹ KLIWA (2017): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951 2015). - KLIWA Berichte Heft 21; <http://www.kliwa.de/publikationen-hefte.htm>

² Augmentation du volume d'eau dans le réservoir souterrain.

réseaux permet de les rendre plus fiables pour la prédiction des effets des changements climatiques, où les modèles basés uniquement sur les données peuvent être moins fiables dans des conditions différentes de celles observées. Les PINNs sont prometteurs dans différentes applications scientifiques. Leur application dans le domaine de la gestion des eaux souterraines est actuellement l'un des défis de la communauté scientifique. Ceci représente l'objectif principal de ce stage.

Une formation spécifique est prévue pour faciliter l'accès vers cette méthode.

Le stagiaire sera encadré par un hydrogéologue (APRONA) et par François Lehmann et Marwan Fahs enseignant-chercheurs à l'Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES) : <https://ites.unistra.fr/>.

REALISATIONS ATTENDUES

La méthodologie du stage repose sur les trois tâches suivantes :

1. Formation

- Synthèse bibliographique (analyse des documents fournis)
- Compréhension des processus physiques et des modèles mathématiques
- Prise en main des outils (PINNs, Python et modèle éléments finis)

2. Modèle PINNS (cas synthétique)

- Construction d'un modèle PINNs sans données pour l'écoulement souterrain en nappe libre
- Vérification du modèle par comparaison à un modèle éléments finis

3. Cas réel (échange nappe et cours d'eau)

- Construction d'un modèle PINNs pour un cas réel impliquant des processus d'échange nappe-rivière et utilisation des données d'observation avec les PINNs.
- Evaluation de la fiabilité des prédictions du modèle PINNs.
- Evaluation de l'intérêt d'utiliser PINNs par rapport à un modèle de réseaux de neurones standard.

PROFIL SOUHAITE

- **Master 2** ou **3^{ème} année** d'école d'ingénieur dans les domaines suivants : Mathématiques appliquées (*méthodes numériques, statistiques, probabilités*) ; Mécanique des fluides ; Physique ; Sciences des données ; Sciences de la terre et de l'environnement.
- Des connaissances rudimentaires en langages Python sont impératives. Une volonté de développer ces compétences est indispensable.
- Capacité à travailler en groupe ; Bonne aptitude à la communication interpersonnelle ; Assimilation de nouvelles connaissances.

ASPECTS PRATIQUES

- Poste basé dans les locaux de l'ITES à Strasbourg
- Rémunération : indemnités légales pour stage conventionné
- Participation aux frais de déplacement et à l'indemnisation repas

Candidatures à envoyer à : fabien.toulet@aprona.net, remy.cotinet@aprona.net, fahs@unistra.fr, lehmann@unistra.fr