

**Localisation du poste :** BRGM (Orléans) 100%

**Date de prise du poste :** 01/10/2021

**Type de contrat :** Doctorat

- **Sujet de thèse**

**Intitulé : Développement d'une méthode d'assimilation de données pour l'amélioration des prévisions saisonnières des ressources en eau souterraine.**

**Contexte :**

Ce sujet de thèse vise à développer une contribution majeure pour répondre à l'ambitieux défi **d'anticiper l'évolution quantitative de la ressource en eau souterraine avec plusieurs mois d'avance**. En effet, les eaux souterraines représentent une ressource importante pour l'agriculture, l'eau potable et l'industrie. Cette ressource est néanmoins de plus en plus vulnérable face à l'intensification des événements extrêmes météorologiques liés au changement climatique, en particulier l'augmentation des fréquences et des durées des sécheresses hydrologiques. Ce défi nécessite de disposer d'outils d'aide à la décision fiables.

Au cours des dernières décennies, le développement des modèles numériques hydrologiques a permis de mieux comprendre le fonctionnement des hydrosystèmes et de disposer d'outils d'aide à la décision utiles pour prédire l'évolution spatio-temporelle de la ressource en eau. De plus, grâce aux récentes avancées en modélisation de l'atmosphère, il est désormais possible d'accéder à des prévisions saisonnières atmosphériques avec des échéances de prévision allant jusqu'à 6 mois, compatibles avec le temps de réponse des eaux souterraines. **Dans ce contexte, une chaîne de prévision saisonnière a été développée avec la plate-forme de modélisation hydrogéologique AQUI-FR (<http://www.geosciences.ens.fr/aqui-fr>)**. AQUI-FR fournit des prévisions de la ressource en eau souterraine jusqu'à 6 mois dans le futur et couvre environ 30 % du territoire français métropolitain. Les premiers résultats sont encourageants et ces prévisions sont maintenant utilisées pour la carte d'anticipation des sécheresses, et diffusées aux gestionnaires de la ressource en eau afin d'anticiper l'évolution des niveaux de nappe sur les 6 prochains mois.

Néanmoins, ces prévisions restent encore perfectibles. De nombreuses incertitudes pèsent sur les résultats fournis par les modèles hydrogéologiques spatialement distribués. Ces incertitudes proviennent de la connaissance imparfaite des conditions atmosphériques fournies aux modèles hydrogéologiques, notamment dans le cas de prévisions saisonnières atmosphériques, ainsi que des hypothèses simplificatrices prises en compte dans l'élaboration de la structure des modèles et dans l'estimation de leurs paramètres. L'évaluation d'AQUI-FR de 1958 au temps présent, réalisée en utilisant les réanalyses atmosphériques observées SAFRAN, montre ainsi la présence de biais entre la simulation longue durée des charges piézométriques et les observations (Vergnes et al., 2020). Or, à l'heure actuelle, les conditions initiales en temps présent fournies aux modèles hydrogéologiques pour la prévision saisonnière à 6 mois proviennent de cette simulation forcée par l'analyse SAFRAN. Par conséquent, les prévisions saisonnières hydrogéologiques partent d'un état initial erroné, engendrant des biais dans les prévisions et une mauvaise estimation de certains événements.

**Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est d'utiliser les observations pour corriger les conditions initiales des modèles hydrogéologiques spatialement distribués implémentés dans AQUI-FR afin d'améliorer les prévisions saisonnières de la ressource eau souterraine.**

Pour répondre à cet objectif, l'approche méthodologique envisagée consistera à sélectionner, implémenter, et appliquer **une méthode d'assimilation de données** en préalable à la réalisation des prévisions. L'assimilation de données consiste à corriger, à l'aide d'observations, l'état du modèle au fur et à mesure de l'avancement d'une simulation dans le temps et de la disponibilité des observations. Cette méthode permet de réduire les biais entre variables simulées et observées en début de simulation et est par conséquent très utilisée en prévision atmosphérique et en prévision hydrologique. Son application dans le cadre de modèles hydrogéologiques spatialement distribués sera guidée par la littérature existante. A ce titre, les travaux actuels font état de l'utilisation de méthodes d'assimilation séquentielles, tels que le filtre de Kalman d'ensemble (EnKF) ou le lissage itératif d'ensemble (« Iterative Ensemble Smoother »), pour optimiser les paramètres des modèles à partir des états piézométriques observés, et dont les objectifs in fine rejoignent ceux fixés dans cette

thèse, à savoir la réduction des écarts entre variables observés et simulés et la réduction de l'incertitude de prévision. Par ailleurs, le choix de la méthode d'assimilation pourra être guidé par les travaux déjà existants dans la littérature, comme ceux de la chaîne SAFRAN-ISBA-MODCOU pour améliorer les prévisions de débits (Thirel et al., 2010), ou encore pour la prévision de niveaux piézométriques dans le code de calcul GARDENIA (Thiéry, 1988).

La méthode d'assimilation de données retenue dans cette thèse sera développée avec l'outil OpenPalm du CERFACS (Duchaine et al., 2015) et ensuite testée dans un premier temps sur le modèle de la Somme développé avec le code de calcul MARTHE du BRGM (Thiéry, 2015). Ce modèle monocouche simule l'ensemble de l'hydrosystème du bassin de la Somme (20 000 km<sup>2</sup>).

Trois principales étapes sont envisagées dans cette thèse :

- Le développement de la méthode d'assimilation de données
- La quantification des gains apportés par la méthode d'assimilation sur l'estimation des niveaux piézométriques correspondant à l'état initial
- L'évaluation de l'impact de ces améliorations sur la prévision de la ressource en eau souterraine en rejouant les prévisions passées (« hindcast »).

Si le temps le permet, la méthode d'assimilation de donnée sera ensuite étendue aux autres modèles d'AquiFR.

Ce poste implique des déplacements en France, notamment à l'ENS Paris et à Toulouse (CERFACS, Météo France) pour des formations, des réunions ou des sessions de travail, ainsi que des participations à au moins un congrès international.

### **Références :**

- Duchaine, F., Jauré, S., Poitou, D., Quémerais, E., Staffebach, G., Morel, T. and Gicquel, L.: Analysis of high performance conjugate heat transfer with the OpenPALM coupler, *Comput. Sci. Disc.*, 8(1), 015003, doi:10.1088/1749-4699/8/1/015003, 2015.
- Thiéry, D.: Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model, *Journal of Hydrology*, 97(1), 129–148, doi:10.1016/0022-1694(88)90070-4, 1988.
- Thiéry, D.: Code de calcul MARTHE - Modélisation 3D des écoulements dans les hydrosystèmes - Notice d'utilisation de la version 7.5 (MARTHE: Modeling software for groundwater flows), BRGM/RP-64554-FR, Orléans, 2015.
- Thirel, G., Martin, E., Mahfouf, J.-F., Massart, S., Ricci, S. and Habets, F.: A past discharges assimilation system for ensemble streamflow forecasts over France – Part 1: Description and validation of the assimilation system, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14(8), 1623–1637, doi:10.5194/hess-14-1623-2010, 2010.
- Vergnes, J.-P., Roux, N., Habets, F., Ackerer, P., Amraoui, N., Besson, F., Caballero, Y., Courtois, Q., Dreuz, J.-R. de, Etchevers, P., Gallois, N., Leroux, D. J., Longuevergne, L., Moigne, P. L., Morel, T., Munier, S., Regimbeau, F., Thiéry, D. and Viennot, P.: The AQUIFR hydrometeorological modelling platform as a tool for improving groundwater resource monitoring over France: evaluation over a 60-year period, *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(2), 633–654, doi:https://doi.org/10.5194/hess-24-633-2020, 2020.

### **Profil**

Vous êtes titulaire d'un diplôme Bac+5 (master ou école d'ingénieur) en géosciences, hydrogéologie, sciences de l'environnement, ou mathématiques appliquées.

La personne recrutée devra avoir de solides connaissances en modélisation et en mathématiques appliquées et une forte motivation pour la recherche. Une forte affinité avec l'hydrogéologie serait un plus.

Des connaissances en développement informatique, et notamment la connaissance de l'environnement de travail Linux et des langages de programmation Fortran et Python, seraient souhaitables. Une première expérience en modélisation hydrogéologique serait également appréciée.

De bonnes compétences en anglais (écrit/oral) ainsi qu'une bonne capacité de communication avec une diversité de partenaires sont importantes.

Ce poste implique des déplacements en France, notamment à l'Ecole Normale Supérieure (ENS) Paris et à Toulouse (CERFACS, Météo France) pour des formations, des réunions ou des sessions de travail, ainsi que des participations à au moins un congrès international pour la diffusion de vos travaux.

- **Spécificité du poste**

Cette thèse sous contrat de travail ENS sera principalement localisée sur le site du BRGM à Orléans. Le BRGM est l'établissement public de référence dans les sciences de la Terre rassemblant 1 000 personnes expertes et passionnées, réparties dans 29 entités implantées en France métropolitaine et d'outre-Mer. L'activité du BRGM a pour objectif la connaissance géologique et la compréhension des phénomènes liés au sol et au sous-sol, avec un enjeu: répondre aux défis des changements environnementaux à travers des projets innovants, à enjeux sociétaux.

Au BRGM, vous intégrerez l'unité Gestion de la Ressource en Eau (GDR), composée d'hydrogéologues et de modélisateurs. Elle intervient dans la modélisation des hydrosystèmes à différentes échelles de temps et d'espace pour des problématiques quantitatives et qualitatives de gestion de la ressource en eau. Pour réaliser votre doctorat, vous serez encadré(e)(e) par Florence Habets (HDR), directrice de recherche CNRS en hydrogéologie et professeure attachée à l'ENS Paris, et Jean-Pierre Vergnes, hydrogéologue modélisateur à l'unité GDR, à Orléans

Cette thèse est co-financée pour moitié par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et pour l'autre moitié par le BRGM dans le cadre du projet AQUI-FR. Il ou elle disposera des moyens de calcul mis à sa disposition par le BRGM.

Lors de vos périodes de travail au BRGM, vous bénéficierez de plusieurs avantages tels que :

- Une restauration collective.
- Des activités sportives et culturelles.

- **Processus de recrutement**

Pour postuler, envoyez-nous votre candidature jusqu'au 15/05/2021:

- Votre candidature : CV actualisé et lettre de motivation
- 1 à 2 lettres de référence
- Relevés de note de Master

Pour candidater, vous pouvez contacter les encadrants :

- Jean-Pierre Vergnes – BRGM ([jp.vergnes@brgm.fr](mailto:jp.vergnes@brgm.fr))
- Florence Habets – ENS ([florence.habets@ens.fr](mailto:florence.habets@ens.fr))

<b>Mots-clés</b> : modélisation, hydrologie, hydrogéologie, assimilation de données, prévision, mathématiques appliquées, développement
---