

**Titre de la thèse :** VHYPERE - Valeur ajoutée de l'HYdrogéophysique pour la Prédiction de la Ressource en Eau en montagne

**Encadrement :** Nolwenn Lesparre ([lesparre@unistra.fr](mailto:lesparre@unistra.fr)) et Philippe Ackerer ([ackerer@unistra.fr](mailto:ackerer@unistra.fr))

**Descriptif :**

Il a été montré que les bouleversements climatiques attendus auront un impact sur le cycle de l'eau et en particulier sur la ressource souterraine<sup>1</sup>. La région Grand Est n'est pas épargnée par ces bouleversements comme en témoigne la sécheresse de l'été 2022 au cours de laquelle les préfetures de la Région ont déclaré des états de crise hydrologique entraînant des restrictions d'usage de l'eau. Une étude récente montre que **les aquifères de socle de la région sont particulièrement vulnérables aux changements attendus**<sup>2</sup>. Cette étude souligne qu'une réduction de la recharge de ces aquifères est envisagée entraînant des effets négatifs sur la ressource disponible pour les activités anthropiques ainsi que pour l'alimentation des milieux aquatiques superficiels comme les cours d'eau et les zones humides. L'étude indique cependant une forte incertitude sur les prédictions et souligne la **nécessité de données précises sur l'évolution de la ressource en eau sur le long terme afin d'améliorer les modélisations fournissant les prédictions.**

**Le projet VHYPERE vise à fournir un outil de prédiction du volume d'eau stocké dans le milieu souterrain. La fiabilité de la prédiction estimée pourra être évaluée grâce à une quantification de l'incertitude de la prédiction fournie.** L'idée de la thèse est d'évaluer quantitativement la valeur ajoutée de mesures géophysiques à réduire l'incertitude sur les prévisions de stock d'eau en contraignant les paramètres de modèles hydrologiques. Les mesures géophysiques utilisées pour calibrer le modèle hydrologique qui sera par la suite utilisé pour effectuer les prédictions sont directement sensibles à la quantité d'eau souterraine : la Résonance Magnétique Protonique (RMP) et la gravimétrie. Alors que les modèles hydrologiques sont classiquement calibrés à l'aide de mesures de débit le long des cours d'eau ou à l'aide de mesures de hauteur de nappe, **l'innovation de notre projet est de calibrer ces modèles avec des observations influencées par le stock d'eau présent dans le milieu souterrain.** L'apport d'information supplémentaire via la géophysique conduira à un modèle hydrologique mieux calibré et donc pouvant fournir une prédiction fiable sur les variations futures de la réserve en eau souterraine. Aujourd'hui, des bureaux d'études géophysiques utilisent déjà ces outils de mesure mais ces données ne sont pas utilisées pour conditionner des modèles hydrologiques. Le présent projet leur fournira les outils leur permettant d'intégrer ces informations pour réaliser des projections sur la ressource et ainsi fournir des suggestions de plans de gestion adaptées à la réalité du terrain.

**Cette thèse s'inscrit dans un ensemble de projets au cadre plus large visant à utiliser les méthodes géophysiques pour améliorer la compréhension du fonctionnement des hydrosystèmes et apporter des informations permettant de calibrer des modèles hydrologiques.**

Ces projets ont été ou seront appliqués sur le bassin versant du Strengbach représentatif des aquifères de socle du massif des Vosges. Ce site correspond à l'Observatoire Hydrologique et Géochimique de l'Environnement (OHGE, <https://ohge.unistra.fr>) intégré au réseau de l'infrastructure de recherche Observatoires de la Zone Critique : Applications et Recherche (OZCAR, <https://www.ozcar-ri.org>). Ce laboratoire à ciel ouvert présente l'avantage de disposer de longues chroniques de données (météorologiques et hydrologiques) et constitue une sentinelle de

---

1 Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., et al. (2013). Ground water and climate change. Nature climate change, 3(4), 322-329.

2 Chabart M., Vergnes J.P. (2021) – Impact du changement climatique sur la ressource en eau du socle Vosgien. Rapport final. BRGM/RP-70595-FR, 146 p.

l'impact de la sécheresse sur la ressource en eau<sup>3</sup>. L'équipex CRITEX - Parc d'équipements innovants pour l'étude spatiale et temporelle de la Zone Critique des bassins versants (<https://www.critex.fr>) a financé l'installation d'un gravimètre supra-conducteur (100 k€) installé sur le Strengbach fournissant des mesures continues du signal gravimétrique. Le projet ANR Hydrocrizsto (2016-2021, 600k€) visait à combiner des outils géophysiques, hydrologiques et géochimiques pour mieux comprendre et modéliser le fonctionnement passé, présent et futur du bassin versant. Hydrocrizsto a notamment financé la thèse de Q. Chaffaut (2018-2021), co-encadrée par N. Lesparre, et durant laquelle ont été acquises des données gravimétriques en différents points du bassin versant, complétant les mesures continues du gravimètre supraconducteur. L'analyse de ces données a montré la forte variabilité spatiale de la dynamique des eaux souterraines<sup>4</sup>. Ces mesures seront utilisées au cours du projet VHYPERE. Par ailleurs, CRITEX et l'OHGE ont financé l'acquisition de mesures de RMP (15 k€) qui ont montré une variation du stock d'eau souterrain à l'échelle du bassin versant<sup>5</sup>. Ces données seront également exploitées dans VHYPERE. L'IDEX attractivité de l'université de Strasbourg a financé l'installation de 10 piézomètres indiquant la hauteur de la nappe en différents points du bassin versant (20 k€). Ainsi, **l'ensemble des mesures géophysiques et piézométriques nécessaires à la réalisation de la thèse ont été collectées et analysées**. Les données géophysiques ont été analysées de manière distincte, **VHYPERE aura pour objectif d'analyser simultanément ces données** et de les placer en regard des mesures piézométriques récemment acquises. L'étudiant bénéficiera aussi d'un accès au centre de calcul de l'université de Strasbourg (CCUS) pour lequel des heures de calcul ont régulièrement été attribuées (2,13 Méga heures entre 2020 et 2023) et pour lequel le financement d'un rack de calcul a été obtenu (50 k€, financement ENGEES).

L'étudiant VHYPERE pourra bénéficier des échanges et des réflexions de l'équipe d'accueil, TrHyCo, afin d'élargir son approche du problème de la réserve en eau souterraine. Il disposera des codes de modélisation hydrologique développés dans l'équipe et pour lesquels nous avons déjà créé les routines de calcul reliant la modélisation hydrologique à la modélisation des signaux géophysiques. Les membres de TrHyCo se sont déjà investis dans le développement d'outils de calibration qui pourront être utilisés par l'étudiant. Par ailleurs, les problématiques de variations futures de la réserve en eau souterraine ont déjà été étudiées dans l'équipe dans différents contextes et notamment celui du massif Vosgien. Les modèles hydrologiques sont coûteux en temps calcul ce qui peut rendre ardue leur calibration. Pour dépasser cette difficulté, il est prévu de collaborer avec des collègues mathématicien·nes du Laboratoire Jean Kuntzmann (université Grenoble Alpes). L'idée sera d'adapter leurs outils de calibration à notre modèle et aux données géophysiques. Des techniques d'ensemble comme les méthodes de Kalman pourront être utilisées<sup>6</sup>. L'étudiant pourra effectuer des missions à Grenoble pour discuter de son travail méthodologique et de ses résultats.

---

3 Strohmenger, L., Ackerer, P., Belfort, B., Pierret, M. C. (2022). Local and seasonal climate change and its influence on the hydrological cycle in a mountainous forested catchment. *J. Hydrol.*, 610, 127914.

4 Chaffaut, Q., Lesparre, N., Masson, F., Hinderer, J., et al. (2022). Hybrid Gravimetry to Map Water Storage Dynamics in a Mountain Catchment. *Frontiers in Water*, 3, 715298.

5 Lesparre, N., Girard, J. F., Jeannot, B., Weill, S., et al. (2020). Magnetic resonance sounding measurements as posterior information to condition hydrological model parameters: Application to a hard-rock headwater catchment. *J. Hydrol.*, 587, 124941.

6 Trappler V., Arnaud E., Vidard A., Debreu L. (2021). Robust calibration of numerical models based on relative regret. *J. Comput. Phys.*, 426, 109952.