

## PROPOSITION DE STAGE – MASTER 2 DET

Dynamique des fluides, Énergétique et transferts

Université Toulouse 3 Paul Sabatier - Toulouse INP - INSA Toulouse - ISAE SUPAERO – IMT Mines Albi

### **Titre : Développement d'un modèle hydro-thermique conceptuel à l'échelle du bassin versant**

Responsable(s) : Mohamed SAADI (Maître de conférences Toulouse INP/IMFT, [mohamed.saadi@toulouse-inp.fr](mailto:mohamed.saadi@toulouse-inp.fr))  
Hélène ROUX (Professeur Toulouse INP/IMFT, [helene.roux@toulouse-inp.fr](mailto:helene.roux@toulouse-inp.fr))

Lieu du stage : Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (CNRS UMR 5502, INPT, UT3), 2 allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse, France

Durée / période : 6 mois à partir de février/mars 2025

Candidature [CV, lettre de motivation, références] à envoyer à : [mohamed.saadi@toulouse-inp.fr](mailto:mohamed.saadi@toulouse-inp.fr) & [helene.roux@toulouse-inp.fr](mailto:helene.roux@toulouse-inp.fr)

### **Sujet**

La température de l'eau est une variable clé qui contrôle l'équilibre biogéochimique d'un cours d'eau et le cycle de vie des espèces aquatiques qu'il abrite. Par ailleurs, elle revêt un intérêt particulier pour plusieurs activités humaines, notamment la pêche, la production d'énergie et la production d'eau potable. Au vu de son importance, la faible densité de mesures de température de l'eau pousse au développement de modèles numériques pour reconstituer l'évolution de cette variable sur des stations non jaugées à partir des observations existantes. L'importance du débit pour reproduire la température de l'eau motive le couplage du modèle de la thermie avec un modèle hydrologique. Ce couplage est nécessaire pour tenir compte de l'effet de l'évolution du bilan d'eau à l'échelle du bassin versant sur l'évolution du bilan thermique à l'échelle du cours d'eau (Rahmani et al., 2021; Seyedhashemi et al., 2022).

Les modèles existants peuvent être classés en deux catégories. Les modèles explicites (Kurylyk et al., 2015) décrivent en détail les flux d'énergie et d'eau à l'échelle d'un tronçon, mais requièrent une grande variété de données non disponibles pour tous les tronçons à l'échelle d'un bassin versant. Les modèles implicites adoptent une approche conceptuelle ou basée complètement sur les données (Feigl et al., 2021 ; Rahmani et al., 2021) pour reproduire le signal observé de la température de l'eau avec une demande de données a minima. Sur le bassin de la Garonne en amont de Toulouse, les travaux de Cognot (2023) et de Guichard (2024) ont démontré et ensuite amélioré les performances d'un réseau de neurones type LSTM sur une vingtaine de stations grâce à des choix optimaux sur la fonction coût et les données d'entrée. En particulier, l'utilisation des données de précipitation et de l'évapotranspiration potentielle moyennes sur le bassin versant a nettement amélioré les résultats par rapport à des modèles basés sur la température de l'air uniquement. Par contre, les temps de calcul requis pour entraîner ces réseaux LSTM nous amènent à réfléchir à d'autres approches couplant hydrologie et thermie des cours d'eau qui soient peu gourmandes en entraînement.

L'objectif de ce stage est de travailler sur un jeu de données composé de quelques centaines de bassins versants nord-américains afin de :

- (1) vérifier si les résultats obtenus sur le bassin de la Garonne restent valides sur un large échantillon continental caractérisé par des comportements hydrologiques et thermiques très variés ; et
- (2) tester des représentations conceptuelles des processus du bilan d'énergie sur un tronçon d'eau au sein d'un modèle hydrologique conceptuel du type GR (<https://hydrogr.github.io/airGR/>). Ces nouveaux développements vont être comparés aux modèles basés purement sur les réseaux LSTM.

**Profil souhaité** : Compétences en programmation (Python, R et FORTRAN) nécessaires et connaissances de base en hydrologie et thermie des rivières.

### **Références bibliographiques**

- Cognot, G., 2023. Prédiction de la température de l'eau dans les rivières en fonction de paramètres hydroclimatiques (Projet de fin d'étude). Toulouse INP, Toulouse, France, 56 p.
- Feigl, M., Lebedzinski, K., Herrnegger, M., Schulz, K., 2021. Machine-learning methods for stream water temperature prediction. Hydrology and Earth System Sciences 25, 2951–2977. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2951-2021>
- Guichard, L., 2024. Amélioration d'un modèle de Deep Learning pour la prédiction de la température de l'eau des rivières à l'échelle du bassin versant (Projet de stage M2). Université Paul Sabatier - Toulouse 3, Toulouse, France, 46 p.

- Kurylyk, B.L., MacQuarrie, K.T.B., Caissie, D., McKenzie, J.M., 2015. Shallow groundwater thermal sensitivity to climate change and land cover disturbances: derivation of analytical expressions and implications for stream temperature modeling. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 2469–2489. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2469-2015>
- Rahmani, F., Lawson, K., Ouyang, W., Appling, A., Oliver, S., Shen, C., 2021. Exploring the exceptional performance of a deep learning stream temperature model and the value of streamflow data. *Environmental Research Letters* 16, 024025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd501>
- Seyedhashemi, H., Vidal, J.-P., Diamond, J.S., Thiéry, D., Monteil, C., Hendrickx, F., Maire, A., Moatar, F., 2022. Regional, multi-decadal analysis on the Loire River basin reveals that stream temperature increases faster than air temperature. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 26, 2583–2603. <https://doi.org/10.5194/hess-26-2583-2022>