



**HAL**  
open science

## Amélioration de la modélisation hydrologique en climat réchauffé. Application au bassin versant de la Moselle

Hajar El Khalfi, Claire Delus, Gilles Drogue, Sébastien Lebaut, Luc Manceau, Benjamin Grelier, Didier Francois

### ► To cite this version:

Hajar El Khalfi, Claire Delus, Gilles Drogue, Sébastien Lebaut, Luc Manceau, et al.. Amélioration de la modélisation hydrologique en climat réchauffé. Application au bassin versant de la Moselle. 36ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie - Climat, eau et société : changements et défis, Association Internationale de Climatologie (AIC), Jul 2023, Bucarest, Roumanie. hal-04102697

**HAL Id: hal-04102697**

**<https://hal.science/hal-04102697v1>**

Submitted on 23 May 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# AMÉLIORATION DE LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE EN CLIMAT RÉCHAUFFÉ. APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE

Hajar EL KHALFI <sup>1</sup>, Claire DELUS <sup>1</sup>, Gilles DROGUE <sup>1</sup>, Sébastien LEBAUT <sup>1</sup>, Luc MANCEAU <sup>1</sup>, Benjamin GRELIER <sup>1</sup>, Didier FRANCOIS <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lorraine, LOTERR, F-57000 Metz, France, correspondance: Hajar El Khalfi (hajar.el-khalfi@univ-lorraine.fr)

**Résumé :** Notre étude s'intéresse au bassin versant de la Moselle française, qui enregistre une baisse significative des écoulements et plus particulièrement des débits d'étiage sur la période récente. Cette évolution s'explique notamment par l'augmentation de la température et de la demande évaporatoire de l'atmosphère, alors que les précipitations moyennes ne montrent pas de tendance. Ces évolutions sont toutefois très inégales à l'échelle du territoire étudié, et certaines régions semblent subir de manière plus importante les effets du changement climatique. Afin de mieux prendre en compte ces évolutions spatio-temporelles, un modèle hydrologique semi-distribué valorisant l'information hydrométrique disponible au sein du bassin et les données sur les usages de l'eau est en développement.

**Mots clés :** modélisation hydrologique, forçage climatique, influences humaines, étiages

**Abstract: IMPROVEMENT OF HYDROLOGICAL MODELING IN A WARMING CLIMATE. APPLICATION TO THE MOSELLE WATERSHED.** Our study focuses on the French Moselle watershed, which shows a significant decrease in runoff and more particularly in low-flows over the recent period. This evolution can be explained by the increase in temperature and evaporative demand of the atmosphere, while the average precipitation does not show any trend. These trends are however very uneven within the basin, and some regions seem to be more affected by climate change. To better consider these spatio-temporal evolutions, a semi-distributed hydrological model using the hydrometric information available within the basin and data on water uses is under development.

**Keywords:** hydrological modeling, climate forcing, human influences, low-flows

## Introduction

L'objectif de cette étude est d'améliorer la connaissance spatio-temporelle des écoulements dans le bassin versant de la Moselle française en période d'étiage, grâce à un modèle hydrologique de prévision intégrant les influences anthropiques et les caractéristiques d'un climat réchauffé (augmentation du CO<sub>2</sub> et de la température). Le bassin versant de la Moselle présente un régime d'écoulement pluvial océanique et enregistre à Uckange (10 770 km<sup>2</sup>) un débit moyen annuel de 139 m<sup>3</sup>/s (1981-2020). Les précipitations moyennes sont de 900 mm/an, mais cette valeur masque d'importantes disparités spatiales, avec des montants pouvant dépasser 2000 mm à l'amont du bassin situé dans le massif des Vosges. Les pressions sur la ressource en eau peuvent être importantes sur certains tronçons en période d'étiage. Les principaux prélèvements sont destinés à la production électrique, à la navigation, à l'alimentation en eau potable, et aux usages industriels. L'influence la plus notable sur les écoulements est celle du barrage de Vieux-Pré, mis en service en 1985 et conçu pour compenser les volumes évaporés par la centrale nucléaire de Cattenom et pour soutenir les débits d'étiage.

On observe dans ce bassin versant une baisse des écoulements sur la période récente, en particulier dans le massif des Vosges, qui se traduit par une non-stationnarité des débits moyens mensuels d'étiage sur la période 1971-2019 (El Khalfi et al., 2022). Il est donc essentiel de surveiller et d'anticiper les situations de sécheresse hydrologique. Dans cette perspective, le modèle hydrologique global PRESAGES (Lang et al., 2006) a été conçu pour la simulation des débits d'étiage dans les bassins versants français de la Moselle, de la Meuse et du Rhin. Le modèle a ensuite été développé pour la prévision des débits d'étiage dans le cadre du projet PREMHYCE (Tilmant et al., 2020). Cette étude s'inscrit dans la continuité de ces travaux avec le projet CIPRHES (Perrin et al., 2022) et porte sur la mise en œuvre d'une version semi-distribuée du modèle PRESAGES.

L'objectif est de mettre en place une modélisation plus performante et intégrant les principales influences anthropiques afin de mieux comprendre l'hétérogénéité spatiale des écoulements et leur évolution. Des résultats préliminaires sont présentés dans le cadre de cette communication et portent plus particulièrement sur : (i) l'impact des forçages climatiques sur les performances du modèle et (ii) la comparaison des

performances entre le modèle global et le modèle semi-distribué. Enfin, cette recherche questionne l'importance d'une naturalisation des écoulements et la robustesse du modèle en climat réchauffé.

## 1. Données et méthodes

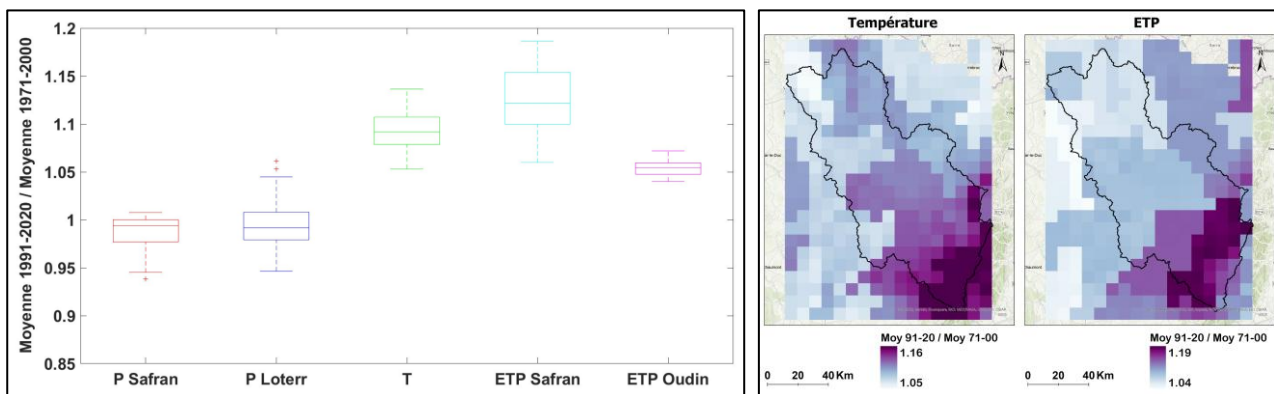
Cette étude s'appuie sur le modèle PRESAGES dans sa version globale (PRESAGES G) et dans sa version semi-distribuée (PRESAGES SD ; El Khalfi et al., 2022). Il s'agit d'un modèle pluie-débit conceptuel à sept paramètres libres qui repose sur la connaissance de la vidange des réservoirs souterrains pour simuler et prévoir les débits d'étiages. Les bassins versants sélectionnés sont ceux disposant de débits moyens journaliers sur la période 1971-2020. Les données d'entrée du modèle sont les précipitations et l'évapotranspiration. Pour les précipitations, nous utilisons la réanalyse SAFRAN de Météo-France (Vidal et al., 2010) et la base de données LOTERR (Delus et al., 2018). Pour l'ETP, nous utilisons l'ETP Penman-Monteith issue de la base de données SAFRAN (cette ETP est recommandée en climat réchauffé) et l'ETP Oudin (Oudin et al., 2005) utilisant la température de l'air SAFRAN et le rayonnement extra-terrestre. Cette ETP est réputée satisfaire les besoins de la modélisation hydrologique empirique globale sur le territoire métropolitain.

Les modèles sont calés et validés en utilisant le Split Sample Test avec comme fonction objectif le Kling-Gupta Efficiency score (KGE) transformé qui cible spécifiquement les débits d'étiage (Thirel et al., 2021). Le modèle est évalué à partir de ce même critère et les tests sont réalisés sur la période 2001-2020 divisée en deux périodes de 10 ans chacune utilisées pour le calage et la validation.

## 2. Résultats

### 2.1. Évolution des données climatiques

Le rapport des moyennes annuelles par bassin versant entre les périodes 1991-2020 et 1971-2000 s'établit à 0.99 pour les précipitations (SAFRAN et LOTERR), 1.09 pour les températures (+9 %), 1.12 pour l'ETP SAFRAN (+12 %) et 1.05 pour l'ETP OUDIN (+5%) (Fig. 1), mais cette évolution n'est pas homogène à l'échelle de la zone d'étude. Les grilles spatialisées du rapport moyen des températures et de l'ETP SAFRAN (fig. 1) montrent que le massif vosgien subit une augmentation plus importante de ces deux variables climatiques, ce qui pourrait expliquer l'évolution récente des écoulements dans cette partie du bassin.



**Figure 1.** Rapport des moyennes annuelles entre 1991-2020 et 1971-2000. Gauche : Précipitations (P), Températures (T) et ETP moyennes des bassins versants (58 bassins versants), droite : T et ETP SAFRAN

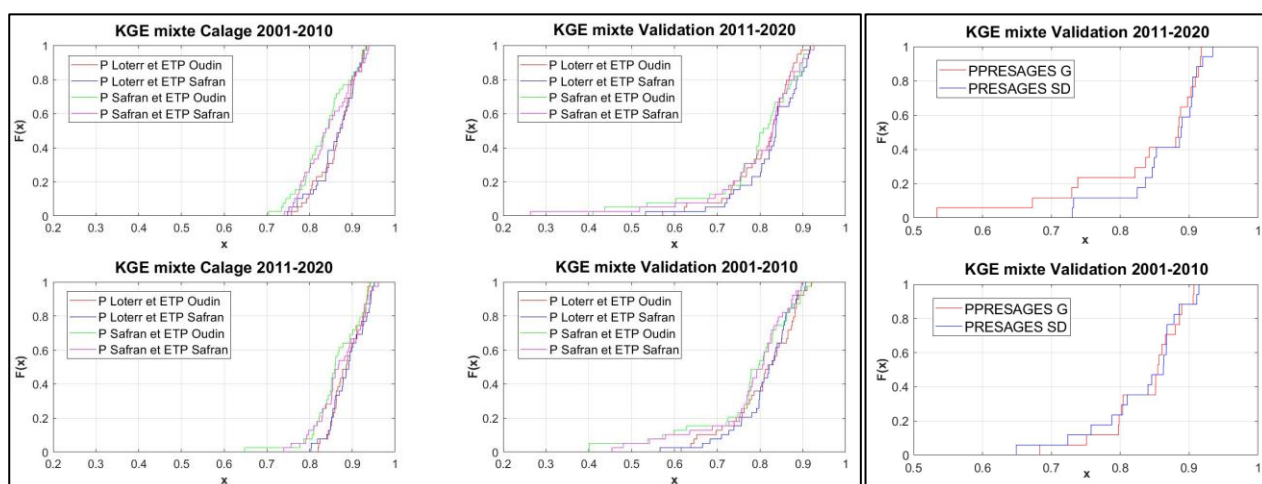
### 2.2. Choix des données d'entrée du modèle

Pour évaluer les données climatiques les plus adaptées à notre cadre de modélisation, nous avons comparé les performances du modèle PRESAGES G obtenues à partir de quatre combinaisons (Fig. 2, gauche). Les meilleures performances sont obtenues avec les précipitations LOTERR et l'ETP Penman-Monteith.

Ainsi, Penman-Monteith donne de meilleures performances en validation pour 59% des bassins. Le même test appliqué à une période plus ancienne (1973-1986) aboutit à de meilleures performances en validation avec l'ETP Oudin pour 63% des bassins versants. Ceci rejoint les observations de Guehl et al. (1999) et de Shaw et Riha (2011) qui plaident en faveur de l'utilisation de la formulation de Penman-Monteith en climat réchauffé.

### 2.3. Apport de la modélisation semi-distribuée

PRESAGES G et PRESAGES SD montrent des performances qui varient assez significativement selon les périodes testées, mais la version semi-distribuée du modèle est meilleure en validation pour 65 % des bassins versants (Fig. 2, droite).



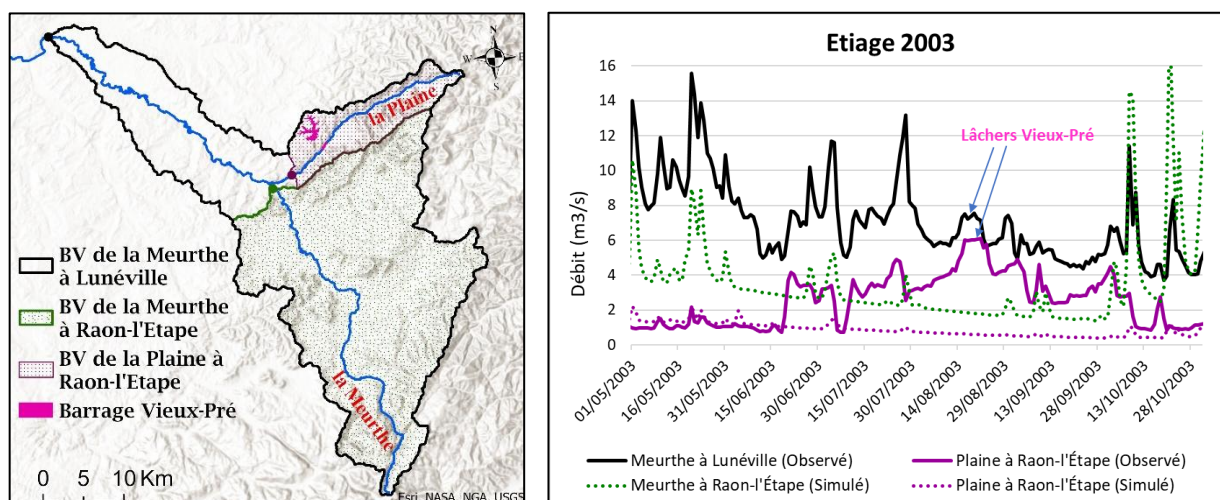
**Figure 2.** Gauche : Performances du modèle PRESAGES G en calage et validation pour différentes combinaisons des données climatiques (40 bassins versants), droite : Performances du modèle PRESAGES G et PRESAGES SD en validation pour P Loterr et ETP Safran (17 bassins versants)

#### 2.4. Intégration des données sur les usages de l'eau dans la modélisation

Les données sur les prélèvements d'eau et les restitutions dans le bassin versant proviennent de la base de données de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) disponibles pour la période 2012-2019. Elles seront utilisées dans PRESAGES SD à une échelle journalière pour naturaliser les débits observés.

Un premier travail de naturalisation a porté sur les débits de la Plaine à Raon-l'Étape [La Trouche], influencés par le barrage de Vieux-Pré (Fig. 3). En effet, dans PRESAGES SD le débit de la Meurthe à Lunéville est composé de la somme des débits de la Plaine à Raon-l'Étape [La Trouche] et de la Meurthe à Raon-l'Étape et de l'apport du bassin versant intermédiaire (Fig. 3, gauche). L'hydrogramme des débits de la Plaine (Fig. 3, droite) en 2003 illustre l'influence des lâchers du barrage de Vieux-Pré, également visible en aval à la station de Lunéville. Sur ces bassins, la relation pluie-débit est donc altérée par la présence de l'ouvrage et une naturalisation des écoulements permet d'améliorer les simulations des débits par le modèle. Les débits influencés de la Plaine ont donc été naturalisés à partir d'une modélisation consistant à caler le modèle sur les débits naturels observés pendant la période antérieure à l'influence (1971-1982), puis à transposer l'ensemble des paramètres obtenus à la période influencée.

La figure 3b présente les hydrogrammes simulés des bassins amont qui composeront les écoulements de la Meurthe à Lunéville dans le modèle SD : les débits simulés de la Meurthe à Raon-l'Étape et les débits simulés naturalisés de la Plaine à Raon-l'Étape [La Trouche]. L'une des perspectives de cette étude est de poursuivre la naturalisation aux stations aval où la propagation des lâchers du barrage est encore visible (ex. la Meurthe à Lunéville).



**Figure 3.** Gauche : Configuration du bassin versant de la Meurthe à Lunéville dans PRESAGES SD, droite : Hydrogrammes de la Plaine à Raon-l'Étape [La Trouche], la Meurthe à Raon-l'Étape et la Meurthe à Lunéville pendant l'été 2003

## Conclusion

Ce travail permet d'établir un premier lien entre la baisse des écoulements de la Moselle plus marquée dans le massif vosgien et l'augmentation de la température et de l'ETP plus importante dans cette partie amont du bassin versant. Les deux ETP utilisées (Oudin et Penman-Monteith) montrent une augmentation de la demande évaporatoire mais avec une intensité différente, ce qui pose une problématique scientifique sur la formulation de l'ETP la plus adaptée pour la modélisation pluie-débit dans le contexte actuel de changement climatique (augmentation du CO<sub>2</sub> et de la température). Les premiers résultats de cette étude confirment que l'ETP Oudin, habituellement utilisée comme donnée d'entrée du modèle PRESAGES, paraît moins adaptée que l'ETP Penman-Monteith sur les années récentes.

Pour mieux prendre en compte ces variations, la version semi-distribuée du modèle PRESAGES est développée. L'objectif de cette version est de considérer l'hétérogénéité spatiale des processus hydro-climatiques et d'intégrer les influences humaines à une échelle plus fine. PRESAGES SD présente des résultats prometteurs en validation. Ces résultats diffèrent d'une période climatique à une autre, il est indispensable de tester la robustesse des deux structures du modèle PRESAGES dans des conditions climatiques contrastées. Pour le développement de la version semi-distribuée du modèle PRESAGES, l'intégration de différentes données d'entrée dans le modèle (influences humaines, incertitudes ...) permettra d'améliorer ses performances.

## Remerciement :

Nos vifs remerciements vont à l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) pour leur soutien financier. Nous remercions également le SCHAPI pour les données hydrométriques, Météo France pour les données SAFRAN, l'AERM, VNF et EDF pour la fourniture de données de prélèvement et de restitution.

## Bibliographie

- Delus, C., Francois, D., Ollive, V., Gille, E., 2018. Reconstitution des sécheresses dans le bassin versant de la Moselle depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. *BSGLg*, **70(1)**, 85–98.
- El Khalfi, H., Delus, C., Drogue, G., Lebaut, S., Manceau, L., François, D., 2022. Low flow characterization and forecasting in a non-stationary context. *IAHS-AISH Scientific Assembly 2022*, Montpellier, France, 29 May–3 Jun 2022, IAHS2022-623.
- Guehl, J.-M., Picon, C., Vivin P., Cochard, H., Aussenac, G., 1999. Forêts et augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> : effets bénéfiques ou adverses ? *Revue forestière française*, **2**, 254-265.
- Lang, C., Freyermuth, A., Gille E., François, D., 2006. Le dispositif PRESAGES (PREvisions et Simulations pour l'Annonce et la Gestion des Etiages Sévères) : des outils pour évaluer et prévoir les étiages. *Géocarrefour*, vol. **81 (1)**, 15-24.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *J. Hydrol.*, **303 (1–4)**, 290–306.
- Perrin, C. and the CIPRHES Team, 2022. Integrated chain for the hydrometeorological forecasting of low flows and droughts in France. The CIPRHES project. *IAHS-AISH Scientific Assembly 2022*, Montpellier, France, 29 May–3 Jun 2022, IAHS2022-665.
- Shaw, S.B., Riha, S.J., 2011. Assessing temperature-based PET equations under a changing climate in temperate, deciduous forests. *Hydrol. Process.*, **25**, 1466–1478.
- Thirel, G., Collet, L., Rousset, F., François, D., Gailhard, J., Le Lay, M., Perrin, C., Samacoits, R., Terrier, M., Vidal, J.-P., Wagner, J.-P., Delaigue, O., 2021. Projet CHIMERE 21. CHiers - Meuse : Evolution du RégimE hydrologique au 21e siècle. INRAE UR HYCAR; Météo-France; EDF-DTG; Université de Lorraine (Metz); INRAE UR-Riverly; Dreal Grand-Est. Rapport de fin de projet, 152 pages.
- Tilmant, F., Nicolle, P., Bourgin, F., Besson, F., Delaigue, O., Etchevers, P., Francois, D., Le Lay, M., Perrin, C., Rousset, Thiéry, D., Magand, C., Leurent, T., Jacob, E., 2020. PREMHYCE : un outil opérationnel pour la prévision des étiages. *La Houille Blanche* 2020, **5**, 37–44.

Vidal, J.P., Martin, E., Franchisteguy, L., Baillon, M., Soubeyroux, J.M., 2010. A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *Int. J. Climatol*, **30** (11), 1627–1644.