

Construction d'un modèle hydrologique couplant retenues de substitution et irrigation pour estimer l'impact cumulé à l'échelle régionale.

Construction of a hydrological model construction coupling farm dams and irrigation to estimate the cumulative impact on a regional scale.

Nathan Pellerin, Flora Branger, Jean Philippe Vidal, Louise Mimeau, Ninon Brown.

INRAE Riverly, 5 rue de la Doua, 69100 Villeurbanne

RÉSUMÉ

Les retenues de substitution représentent une solution controversée pour assurer l'approvisionnement en eau des besoins agricoles estivaux, en s'appuyant sur des prélèvements effectués en période hivernale. Les connaissances actuelles sur leur impact cumulé à l'échelle du bassin versant, leur influence sur la qualité écologique des cours d'eau et leur durabilité en tant que solution pérenne restent insuffisantes. L'étude vise à questionner la durabilité des retenues de substitution au sens éco-hydrologique, sous changement global et à l'échelle régionale, afin de répondre à des enjeux de réglementation nationale. Pour cela, la modélisation hydrologique distribuée JAMS-J2000 est déployée à l'échelle régionale des bassins versants du Rhône et de la Loire et permet de simuler des climats passés, présents et futurs. Une composante retenues de substitution qui vise à représenter des retenues à des fins d'irrigation est intégrée à notre modélisation. Les caractéristiques physiques (volume, profondeur, porosité) ainsi que les modes de gestion d'alimentation (ruissellement de surface, prélèvement dans la nappe ou dans la rivière) et de restitution (saisonnalité, règles de restriction d'eau) dans la retenue sont modulables et permettent l'exploration de l'ensemble des typologies de réservoirs visées par notre étude. La composante retenues de substitution est couplée à une composante irrigation afin de permettre le prélèvement direct de l'eau d'irrigation depuis la retenue. La validation du couplage s'appuie sur des bilans hydrologiques, sur l'amélioration du modèle J2000 et sur une comparaison avec des données de prélèvements.

ABSTRACT

Farm dams are a controversial solution to ensure water supply for summer agricultural needs, relying on withdrawals made during the winter period. Current knowledge about their cumulative impact at the watershed scale, their influence on the ecological quality of rivers, and their sustainability as a long-term solution remains insufficient. The aim of this study is to investigate the sustainability of farm dams from an eco-hydrological perspective, under global change and at the regional scale, in order to respond to national regulatory issues. The distributed hydrological model JAMS-J2000 is implemented at the regional scale for the Rhône and Loire watersheds, simulating past, present, and future climates. A substitution reservoir component, designed to represent reservoirs used for irrigation purposes, is included in our modeling. The physical characteristics (volume, depth, porosity) as well as the management modes for supply (surface runoff, groundwater or river abstraction) and restitution (seasonality, water restriction rules) in the reservoir can be modulated, enabling exploration of all the reservoir typologies targeted by our study. The farm dams component is coupled with the irrigation component to enable direct withdrawal of irrigation water from the reservoir. Validation of the coupling is based on water balances, improvements to the J2000 model through the coupling, and comparisons with withdrawal data.

MOTS CLÉS

Couplage, Hydrologie, Irrigation, Modélisation, Retenues.

Coupling, Hydrology, Irrigation, Modeling, Farm dams.

1 INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le changement climatique augmente le risque de pénurie d'eau en raison de probabilités plus élevées d'occurrence de sécheresses et de vagues de chaleur, même en climat tempéré (IPCC 2022, Figure 13.3, p.1884). Les retenues d'eau dites de substitution, qui permettent de stocker de l'eau prélevée en hiver, que ce soit en versant, dans des cours d'eau ou dans la nappe, de façon à pouvoir l'utiliser en été, sont présentées par certains acteurs comme une stratégie d'adaptation pour l'agriculture face au changement climatique. L'efficacité de cette stratégie de stockage de l'eau est questionnée pour un réchauffement de l'ordre de 1,5°C en Europe, tel qu'observé aujourd'hui, ainsi que pour des degrés de réchauffement supérieurs (IPCC 2022, Figure AI.50a, p. 2885) tels que ceux définis dans la Trajectoire de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique¹. À l'heure actuelle, il n'existe ni réglementation ni doctrine claire au niveau national pour les acteurs de la gestion de l'eau sur cette question, ce qui complique la prise de décision et alimente les controverses².

Les connaissances sur le fonctionnement de ces retenues et leur impact à l'échelle du bassin versant sont encore très incomplètes. On sait qu'elles peuvent avoir un impact non négligeable sur le milieu aquatique selon leur configuration, leur distribution sur un bassin versant et leur exploitation (Nathan & Lowe 2012 ; Carluet et al. 2016 ; Habets et al. 2018), qu'elles peuvent provoquer paradoxalement une augmentation des besoins en eau du fait de l'augmentation de l'offre (Di Baldassarre et al. 2018), et que la quantification de leur impact sur la baisse de débit à l'exutoire n'est pas suffisante pour estimer leur impact écologique, dont l'analyse doit s'étendre à l'ensemble du réseau hydrographique (Grill et al. 2019 ; Morden et al. 2022). En France, les premiers travaux sur les retenues sont récents (Habets et al. 2014) et encore limités. Les travaux de recherche se focalisent encore à l'échelles de bassins versants de petite taille, de manière à disposer de données suffisantes, comme c'est le cas pour le travail de thèse de Nicolas Lebon (Lebon 2021 ; Lebon et al. 2022). Un gros effort de recensement des retenues a été entrepris à l'échelle nationale, soit par interrogation des acteurs sur certains territoires², soit à l'échelle nationale par télédétection (Carluet et al. 2017). Ce travail a abouti à la production d'un inventaire national des plans d'eau³. Cet inventaire ouvre ainsi l'étude à plus large échelle spatiale des retenues de substitution, pour tenter de répondre aux enjeux de réglementation nationale, en abordant la question de la durabilité des retenues au sens éco-hydrologique. L'implantation de retenues de substitution permettra-t-elle, dans un climat changeant, de fournir la quantité d'eau demandée, notamment pour l'irrigation, tout en permettant la préservation des milieux aquatiques ?

2 METHODE

Un changement d'échelle s'impose pour interroger l'impact de la multiplication des retenues de substitution sur le territoire français. La modélisation hydrologique distribuée JAMS-J2000 (Krause 2002) est employée pour y parvenir. Le domaine d'application couvre deux grands bassins versants français que sont le Rhône (Branger et al., 2016 ; Bonneau et al., 2022) et la Loire (Bonneau et al., 2022). Cette modélisation est capable de construire une vision d'ensemble du système, en tenant compte de l'hétérogénéité spatiale (du climat, des types de sol, des activités agricoles dominantes, des pratiques d'irrigation, des retenues et de leurs utilisations potentielles), tout en représentant l'ensemble des processus hydrologiques en jeu, notamment ceux liés à l'irrigation. Il en résulte que plusieurs variables hydrologiques d'intérêt, au-delà du seul débit à l'exutoire, peuvent être simulées : évapotranspiration, humidité des sols, recharge de la nappe, volume stocké dans les retenues, volume d'eau prélevé pour l'irrigation, débit tout au long du réseau hydrographique. Ces modèles J2000 comportent actuellement une composante basique de retenue de substitution, récemment développée (Branger et al., 2024), ainsi qu'une composante d'irrigation spatialisée. D'une manière générale, les modèles hydrologiques mis en œuvre ne couplent pas les retenues avec une composante d'irrigation (Fowler et al., 2015), ne permettant ni de moduler le besoin en eau en fonction des conditions climatiques, ni de quantifier la capacité des retenues à y répondre. Seul le travail de Lebon et al. (2022) intègre ce couplage à l'échelle d'un petit bassin dans le contexte spécifique du Sud-Ouest de la France. Le couplage de ces deux composantes et l'amélioration des composantes constituent les premières étapes de travail vers l'étude d'ensemble et le sujet de la présente communication.

¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/document-reference-TRACC.pdf>

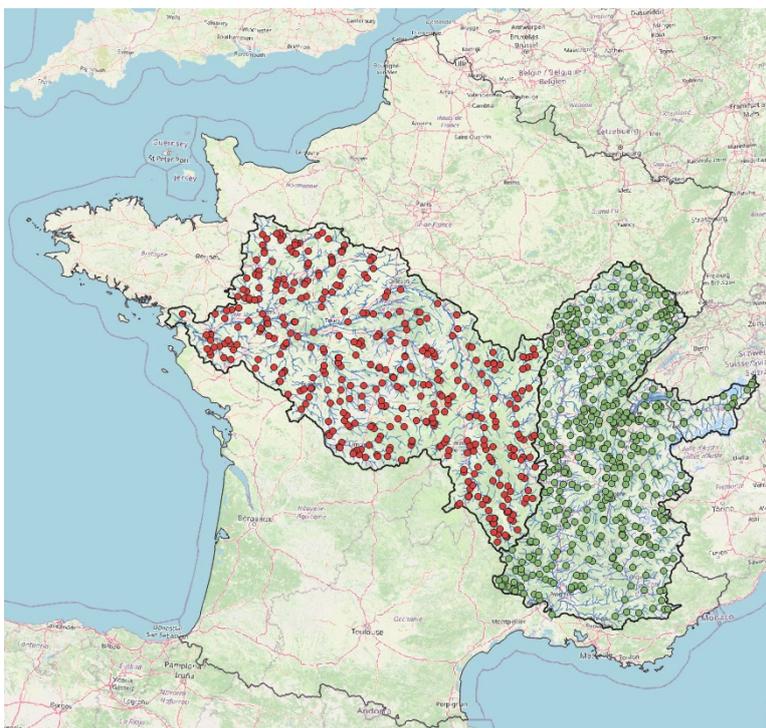
² <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/556>

³ <https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Affaires-0012714>

3 RESULTATS ATTENDUS

L'implémentation des composantes retenues de substitution et irrigation sera effectuée sur les bassins versants du Rhône et de la Loire. Les caractéristiques physiques (volume, profondeur, porosité) ainsi que les modes de gestion d'alimentation (ruissellement de surface, prélèvement dans la nappe ou dans la rivière) et de restitution (saisonnalité, lois de restriction d'eau) dans la retenue seront modulables et permettront l'exploration de l'ensemble des typologies de réservoirs visées par notre étude. Cette paramétrisation permettra d'ajuster les règles de prélèvement dans les retenues en fonction du type de culture irriguée (maïs, blé, tournesol, ...).

La validation de ce couplage reposera sur des bilans hydrologiques. Les performances statistiques des modèles J2000 Rhône et Loire seront analysées et comparées à celles des modèles non couplés, afin de mesurer l'apport de ce nouveau couplage vers une représentation plus réaliste. Les prélèvements en eau recensés annuellement à l'échelle nationale, disponibles dans la Banque Nationale des Prélèvements en Eau⁴, serviront de référence pour comparer les volumes d'irrigation simulés. Enfin, le modèle intégrera les Débits Objectifs d'Étiage (DOE), afin de contraindre les prélèvements conformément aux réglementations actuelles et futures.



Étendue de la modélisation JAMS-J2000 dans le cadre de l'étude des retenues de substitution (contour des bassins versant en noir ; stations hydrométriques représentées par des points (vert pour le bassin du Rhône et rouge pour le bassin de la Loire) ; réseau hydrographique en traits bleus).

BIBLIOGRAPHIE

- Bonneau, J., Branger, F., Vidal, J. P., Rabotin, M., & Sauquet, É. (2022). Impact du changement climatique sur l'hydrologie des bassins versants de la Loire et du Rhône: résultats préliminaires d'un modèle distribué à base physique. https://hal.inrae.fr/hal-03752772v1/file/Poster_bonneau_explore2_isrivers_v2.pdf
- Branger, F., Mimeau, L., Crochemore, L., Bonneau, J., Levêque, B., Sauquet, É., Montginoul, M., Rabotin, M. (2024), Usages de l'eau et changement climatique sur le bassin du Rhône : quantification de l'impact sur la ressource de différentes stratégies d'adaptation.
- Branger, F., Gouttevin, I., Tilmant, F., Cipriani, T., Barachet, C., Montginoul, M., ... & Leblois, E. (2016). Modélisation hydrologique distribuée du Rhône (Doctoral dissertation, irstea), <https://hal.inrae.fr/hal-02605058v1/file/pub00051555.pdf>.

⁴ <https://bnpe.eaufrance.fr/>

-
- Carluer N., Babut M., Belliard J., Bernez I., Burger-Leenhardt D., Dorioz J.M., Douez O., Dufour S., Grimaldi C., Habets F., Le Bissonnais Y., Molénat J., Rollet A.J., Rosset V., Sauvage S., Usseglio-Polatera P., Leblanc B. 2016. Expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues. Rapport de synthèse. 82 pp + annexes. <https://esco-impacts-cumules-retenues.hub.inrae.fr/content/download/148/1383?version=1>.
- Carluer N., Babut M., Belliard J., Bernez I., Leblanc B., Burger-Leenhardt D., Dorioz J.M., Douez O., Dufour S., Grimaldi S., Habets F., Le Bissonnais Y., Molénat J., Rollet A.J., Rosset V., Sauvage S., Usseglio-Polatera P., 2017. Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. Expertise scientifique collective (Irstea). Agence française pour la biodiversité – Collection Comprendre pour agir. 200 pages. <https://professionnels.ofb.fr/index.php/fr/doc-comprendre-agir/impact-cumule-retenues-deau-milieu-aquatique-expertise-scientifique-collective>
- Di Baldassarre, G., Wanders, N., AghaKouchak, A., Kuil, L., Ramecroft, S., Veldkamp, T. I., ... & Van Loon, A. F. (2018). Water shortages worsened by reservoir effects. *Nature Sustainability*, 1(11), 617-622, <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>.
- Fowler, K., Morden, R., Lowe, L., & Nathan, R. (2015). Advances in assessing the impact of hillside farm dams on streamflow. *Australasian Journal of Water Resources*, 19(2), 96-108, <https://doi.org/10.1080/13241583.2015.1116182>.
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., ... & Zarfl, C. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215-221, <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>.
- Habets, F., Philippe, E., Martin, E., David, C. H., & Leseur, F. (2014). Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10), 4207-4222, <https://doi.org/10.5194/hess-18-4207-2014>.
- Habets, F., Molénat, J., Carluer, N., Douez, O., & Leenhardt, D. (2018). The cumulative impacts of small reservoirs on hydrology: A review. *Science of the Total Environment*, 643, 850-867, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.188>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Krause, P. (2002). Quantifying the impact of land use changes on the water balance of large catchments using the J2000 model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27(9-10), 663-673, [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00051-7).
- Lebon, N. (2021). Modéliser et analyser l'effet cumulé agro-hydrologique des retenues d'eau dans les bassins versants agricoles (Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro), <https://www.theses.fr/2021NSAM0048>.
- Lebon, N., Dagès, C., Burger-Leenhardt, D., & Molénat, J. (2022). A new agro-hydrological catchment model to assess the cumulative impact of small reservoirs. *Environmental Modelling & Software*, 153, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105409>.
- Morden, R., Horne, A., Bond, N. R., Nathan, R., & Olden, J. D. (2022). Small artificial impoundments have big implications for hydrology and freshwater biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(3), 141-146, <https://doi.org/10.1002/fee.2454>.
- Nathan, R., & Lowe, L. (2012). The hydrologic impacts of farm dams. *Australasian Journal of Water Resources*, 16(1), 75-83, <https://doi.org/10.7158/13241583.2>.